

DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS SANDWICH PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO ARMADO DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO 2

Araujo Dias da Silva Filho

Relatório Final apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Construção.

Bragança – PT
Fevereiro 21/22

DIMENSIONAMENTO DE PAINÉIS SANDWICH PRÉ-FABRICADOS EM BETÃO ARMADO DE ACORDO COM O EUROCÓDIGO 2

Araujo Dias da Silva Filho

Relatório Final apresentado à Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, para a Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia da Construção.

Orientador: Manuel Teixeira Braz César

Bragança – PT
Fevereiro 21/22

*Aos meus pais,
pelo indescritível apoio.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me tirou do fundo do poço e me faz/fez chegar além do que eu conseguiria imaginar, me surpreendendo a cada novo dia.

Com a conclusão deste trabalho quero agradecer aqueles que foram importantes durante todo o processo de estudo e realização desse relatório final de projeto.

Aos professores, Igor Cezar Silva Braga, Ivandro José de Freitas Rocha e Robson de Oliveira Felix, que tanto me ensinaram exemplos de verdadeiros profissionais.

Ao meu orientador, Prof. Manuel Teixeira Braz César, sem o mesmo, esse trabalho seria impossível, pela disponibilidade, exigência, paciência e partilha de conhecimentos.

A cidade de Bragança, e também a Portugal que me acolheu tão bem nesse período em que aqui estive para a realização desse estudo.

Ao Instituto Politécnico de Bragança - IPB, que com sua qualidade e excelência de ensino muito contribuiu para minha formação acadêmica, pessoal e profissional.

A Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, da qual sou um orgulhoso aluno, pelas oportunidades que me proporcionou.

Aos amigos da minha cidade de Barro Alto - GO, que de longe torceram por mim, e aos de Bragança que de perto me ajudaram.

Aos meus familiares, de quem senti muita falta, pelo afeto e preocupação no período acadêmico.

E finalmente ao meu filho, Araujo Neto, gostaria de dizer meu muito obrigado por tudo.

RESUMO

O recurso a sistemas de fachadas pré-fabricadas no ramo da Construção Civil tem-se revelado uma opção eficaz, apresentando-se como uma solução avançada no sentido de garantir vantagens ao nível da qualidade e da produtividade. A introdução de painéis de GRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) no mercado da construção trouxe vantagens ao setor uma vez que compatibiliza as vantagens da pré-fabricação leve, elevados níveis de desempenho e uma grande amplitude em termos de formas e acabamentos.

No presente trabalho, estudou-se a aplicação, em nível de produção, armazenamento, elevação, transporte e montagem. Definiu-se materiais para satisfazer a aparência visual e estética, bem como as normas do EUROCODE 2.

Verificou o comportamento térmico, em relação as exigências de habitabilidade, bem como o mesmo em relação ao estrutural, assegurando de acordo com o EUROCODE 2.

A presente dissertação pretende analisar a utilização de fibra de vidro como elemento de ligação, baseado no seu desempenho estrutural e comportamento térmico.

Palavras-chave: Painéis sanduíche, Betão pré-fabricados, Paineis de Fachadas, Paineis de Betão.

ABSTRACT

The use of prefabricated facade systems in the Civil Construction sector has proved to be an effective option, presenting itself as an advanced solution in terms of guaranteeing advantages in terms of quality and productivity. The introduction of GRC (Glass Fiber Reinforced Concrete) panels in the construction market has brought advantages to the sector since it combines the advantages of lightweight prefabrication, high levels of performance and a wide range of shapes and finishes.

In the present work, the application was studied, in terms of production, storage, elevation, transport and assembly. Materials were defined to meet the visual and aesthetic appearance, as well as EUROCODE 2 standards.

It verified the thermal behavior, in relation to the habitability requirements, as well as the same in relation to the structural one, ensuring in accordance with EUROCODE 2.

This dissertation intends to analyze the use of fiberglass as a bonding element, based on its structural performance and thermal behavior.

Keywords: Sandwich Panels, Precast Concrete, Facade Panel, Concrete Panel.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Enquadramento do tema	15
1.2 Objetivos.....	16
1.3 Plano de trabalho	16
2. CARACTERÍSTICAS GERAIS	18
2.1 Estado de arte.....	18
2.2 Tipologias e formas estruturais dos painéis sanduíche	21
2.2.1 Descrição dos painéis sanduíche.....	21
2.2.2 Configuração de lâminas	22
2.2.3 Configuração de material do núcleo	22
2.3 Exemplos de obras com painéis de fachada pré-fabricados	22
2.4 Regulamentação aplicável a painéis sanduíche em Portugal.....	25
3. CONCEPÇÃO DE PAINÉIS DE FACHADA EM BETÃO PRÉ-FABRICADO	27
3.1 Produção.....	27
3.1.1 Moldes	27
3.1.2 Betonagem.....	27
3.2 Armazenamento	28
3.3 Transporte	29
3.4 Elevação e montagem.....	30
4. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO VISUAL	31
4.1 Estética	31
4.2 Tipos de acabamento.....	31
4.2.1 Textura.....	31
4.2.2 Cor.....	32
4.2.3 Revestimento.....	33
4.3 Geometria	34
5. EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE	35
5.1 Comportamento térmico.....	35

5.1.1 Conservação de energia	35
5.1.2 Transmissão de calor	35
5.1.3 Isolamento térmico	37
5.1.4 Pontes térmicas	38
5.2 Permeabilidade.....	40
6. EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA	41
6.1 Comportamento estrutural.....	41
6.2 Ligações	41
6.3 Fixações	42
6.3.1 Tipos de Fixações	43
6.3.2 Formas de Fixações.....	46
7. CASO DE ESTUDO	47
7.1 Descrição do caso	47
7.2 Geometria	47
7.3 Comportamento estrutural.....	47
7.4 Comportamento térmico.....	54
8. Conclusões e sugestões para desenvolvimentos futuros.....	58
8.1 Principais conclusões.....	58
8.2 Desenvolvimentos futuros	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Parede de adobe - Foto de Elio Moroni Filho	18
Figura 2 - Fachada em alvenaria (hometeka 2014)	18
Figura 3- Fachada em painéis de vidro (ideiasdecor 2021)	19
Figura 4 - Casa de Fernando Namora - (https://moraremportugal.com)	19
Figura 5 - Síntese aproximada da evolução das paredes em Portugal	20
Figura 6 - Edifício Essenza - Porto (Empresa FARCIMAR, 2018).....	20
Figura 7- CELBI-Fábrica de Celulose de Leirosa - Figueira da Foz (Empresa FARCIMAR,2008) .20	
Figura 8- Constituição de um painel sanduíche (Marques, 2012)	22
Figura 9- Bancada Norte do Estádio da Mata Real (FARCIMAR,2014)	23
Figura 10 - Centro Escolar de Folgosa (FARCIMAR, 2014)	24
Figura 11 - Edifício de Comité Olímpico-Maputo (FARCIMAR, 2015).....	24
Figura 12 - Escola Internacional de Covilhã (FARCIMAR, 2008)	24
Figura 13 - Detalhamento do molde (José Rui Pinto, 2021)	27
Figura 14 - Betonagem da camada inferior (José Rui Pinto, 2021).....	28
Figura 15- Betonagem da camada superior (José Rui Pinto, 2021)	28
Figura 16 - Regularização do betão (José Rui Pinto, 2021).....	28
Figura 17- Armazenamento dos painéis (José Rui Pinto, 2021)	29
Figura 18 - Cuidados no transporte dos painéis (José Rui Pinto, 2021).....	29
Figura 19 - Montagem dos painéis (José Rui Pinto, 2021).....	30
Figura 20- Painéis com textura amarela (Empresa FARCIMAR).....	31
Figura 21- Painéis com texturas rusticas (Empresa FARCIMAR)	32
Figura 22 - Painéis em betão branco texturado (Empresa FARCIMAR).....	32
Figura 23 - Painéis com pigmentação vermelha (Imagem de Fernando Guerra).....	33
Figura 24 - Painéis em betão fosco (Imagem de Giorgio Marafioti)	33
Figura 25 – Painéis com pigmentação (Imagem de Juan Solano Ojasi).....	33
Figura 26 - Coloração dos granitos	34
Figura 27 - Revestimento cerâmico	34
Figura 28 - Revestimento em pedra natural	34
Figura 29 - Processo ilustrativo da transmissão de calor	36
Figura 30 - Exemplos de zonas de ligação da envolvente	38
Figura 31 - Ponte térmica plana	39
Figura 32 - Pontes térmicas linear	39
Figura 33 - Termográfica de pontes térmicas num edifício	39
Figura 34 - Exemplo pontes térmicas Painéis Sanduíche (Marques, 2012)	40
Figura 35 - Junta entre painel e pilar (Marques,2012).....	40
Figura 36 - Tipo de Conectores no painel de sanduíche (Marques,2012)	41
Figura 37 - Conectores em perfil de alumínio (José Rui Pinto, 2021).....	42

Figura 38 - Ligador modelo Spa (Marques,2012)	42
Figura 39 - Pormenor ligação modelo Spa (Marques,2012)	42
Figura 40 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com um pilar pré-fabricado (José Rui Pinto, 2021)	43
Figura 41 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com um pilar “in situ” (José Rui Pinto,2021)	44
Figura 42 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com uma viga pré-fabricada (José Rui Pinto,2021)	44
Figura 43 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com uma viga caleira pré-fabricada (José Rui Pinto,2021)	44
Figura 44 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com um perfil metálico (José Rui Pinto, 2021)	45
Figura 45 - Pormenor de fixação entre painéis (José Rui Pinto, 2021)	45
Figura 46 – Pormenor (José Rui Pinto, 2021)	45
Figura 47 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado suspenso (José Rui Pinto, 2021)	46
Figura 48 - Pormenor (José Rui Pinto, 2021)	46
Figura 49 - Geometria do painel	47
Figura 50 - Pormenor do painel para cálculo	48
Figura 51 - Geometria e armadura do painel	53
Figura 52 - Junta entre painéis	54
Figura 53 - Esquema das resistências térmicas da parede	55
Figura 54 - Esquema de resistência térmica da parede	55

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1 - Limitações dos transportes	29
Tabela 2- Resistências térmicas superficial (FTCI, 2020)	37
Tabela 3 - Parâmetros de cálculo dos elementos do painel e ligações	54
Tabela 4 - Áreas do painel para calculo	55
Tabela 5 - Resultado do comportamento térmico	57

ACRÔNIMOS E ABREVIATURAS

ACC – Betão auto clavado

EC2 – Euro código 2

EPS – Poliestireno expandido moldado

FEF – Espuma elastomérica flexível

GRC – Betão reforçado com fibra de vidro

ICB – Aglomerado de cortiça expandida

ITE – Informação Técnica de Edifícios

LFC – Laboratório de Física das Construções

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NIT – Nota de Informação Técnica

PEF – Espuma de polietileno expandido extrudido

PIR – Espuma rígida de poli-isocianurato

PUR – Espuma rígida de poliuretano

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

XPS – Poliestireno expandido extrudido

SÍMBOLOS

$1/h_e$ – resistência térmica superficial exterior

$1/h_i$ – resistência térmica superficial interior

$1/h_i; 1/h_e$ – resistência térmica superficial interior e exterior, respectivamente

A – área

A_c – área da secção transversal do pilar

A_{ct} – área de betão tracionada antes da fendilhação

A_i – área de cada zona parcial homogênea (em superfície) em que se subdivide o

A_p – área útil de pavimento do edifício

A_s – armadura principal

A_{sl} – área de armadura de tração

A_{sw} – área da secção transversal das armaduras de esforço transverso

b – largura total da secção transversal

b_w – menor espessura na altura útil d da alma da secção

d – altura útil da armadura tracionada ou altura útil da armadura de betão

d_g – dimensão máxima do agregado
 dT/dx – gradiente de temperatura
 e_j – espessura da camada homogênea j
 f_{bd} – tensão de rotura da aderência
 f_c – fator de concentração de perdas térmicas
 f_{cd} – valor de cálculo da tensão de rotura do betão a compressão
 f_{ck} – tensão característica do betão a compressão
 f_{ctd} – valor de cálculo da resistência do betão a tração, sendo considerada
 f_{ctm} – valor médio da resistência a tração do betão
 f_{ctm} – valor médio da resistência a tração do betão
 f_{yd} – valor de cálculo da tensão de cedência a tração do aço das armaduras no betão
 f_{yk} – valor característico da tensão de cedência do aço
 f_{ywd} – valor de cálculo da tensão de cedência das armaduras de esforço transversal
G – Ações permanentes
 h – altura total da secção
 h_1 – condutância superficial interior
 I_a – índice de isolamento sonoro para os sons de condução aérea
 I_t – inércia térmica
K – coeficiente de transmissão térmica
 K_{cr} – coeficiente de transmissão térmica em superfície corrente
 K_i – coeficiente de transmissão térmica de cada zona parcial homogênea (em superfície)
 K_{max} – coeficiente de transmissão térmica máximo
 K_{min} – coeficiente de transmissão térmica mínimo
 $l_{b_{rqd}}$ – comprimento de amarração de cálculo
 $l_{bd,min}$ – comprimento de amarração de cálculo mínimo
 $l_{vão\ maior}$ – maior vão da laje
 $l_{vão\ menor}$ – menor vão da laje
M – momento quase-permanente
 $m_1 ; m_2$ – massa dos respectivos panos
 M_i – massa superficial útil do elemento i
 M_{Rd} – momento flector a resistir pela armadura
Q – Ações variáveis
R – índice de redução sonora
 R_{45} – isolamento sonoro médio das paredes exteriores dos edifícios
 R_{ar} – resistência térmica de espaços de ar não ventilados
 R_j – resistência térmica da camada homogênea j

R_m – índice de redução sonora médio
 R_w – estimativa do isolamento aos sons aéreos, em função da massa da parede
 S – distância entre varões
 s – espaçamento das armaduras de esforço transverso, medido ao longo do eixo do
 S_i – área de cada uma das parcelas
 T – temperatura absoluta do corpo negro
 t_e – temperatura do ambiente exterior
 t_i – temperatura do ambiente interior
 t_{si} – temperatura superficial do paramento interior do elemento
 $V_{rd,c}$ – valor de resistência do esforço transverso
 $W_{incidente}$ – energia sonora incidente
 $W_{transmitida}$ – energia sonora transmitida
 z – braço do binário das forças interiores
 α_1 – tem em conta o efeito da forma dos varões admitindo um recobrimento adequado
 α_2 – tem em conta o efeito do recobrimento mínimo
 α_3 – tem em conta o efeito de cintagem das armaduras transversais
 α_4 – tem em conta a influência de um ou mais varões transversais soldados
 α_5 – tem em conta o efeito da pressão ortogonal ao plano de fendimento ao longo do
 α_{cw} – coeficiente que tem em conta o estado de tensão no banzo comprimido
 θ – ângulo formado pela armadura de esforço transverso com o eixo da viga
 λ_j – coeficiente de condutibilidade térmica da camada homogênea j
 μ – desfasamento temporal dos picos de temperatura
 v_1 – coeficiente de redução da resistência do betão fendilhado por esforço transverso
 ρ_m – fator de heterogeneidade de temperatura superficial
 σ – constante de Stefan-Boltzmann
 σ_s – tensão máxima admissível na armadura imediatamente depois da fendilhação
 σ_{sd} – tensão de cedência de cálculo do aço
 τ – fator de temperatura superficial
 τ_i – fator de transmissão sonora de cada elemento
 φ – amortecimento da onda de calor
 ϕ – diâmetro da armadura longitudinal
 ϕ_s – diâmetro modificado máximo dos varões
 ϕ_s^* – diâmetro máximo dos varões
 ω – percentagem Mecânica de Mecânica de Armadura

1. INTRODUÇÃO

Diante das inovações e necessidades recorrentes da sociedade, o homem viu-se na posição de otimizar e simplificar os métodos construtivos e as estruturas das edificações de pequeno e grande porte. Um exemplo foi a construção do Estádio San Nicola, que se localiza em Bari, Itália, construído entre 1987 e 1990, sendo uma referência de modelo estrutural (OLIVEIRA, 2015).

Segundo Telles (2017), nos últimos anos com as ampliações da construção civil, a grande demanda e a carência de métodos construtivos que fossem mais eficientes e acelerados, houve a necessidade do desenvolvimento e a aprimoração de tais estratégias no ramo construtivo, principalmente aquelas que envolvem novos produtos e que se referem às construções de grande porte.

Essas inovações influenciam no canteiro de obra, pois as peças estruturais estão cada vez mais estreitas, não ocupando o mesmo espaço e tornando-se possível a organização. Perante aos materiais pré-moldados, a construção civil teve um avanço no aumento de controle de qualidade tornando o processo quase industrial (DUARTE; ELMIR; PITOL, 2016).

Diante deste cenário, os engenheiros observaram que o método do concreto moldado *in loco*, era mais lento em comparação a outros procedimentos. Com isso, buscando agilizar essas etapas foi-se criado peças estruturais pré-fabricadas como: vigas, lajes, pilares, entre outros elementos (DUARTE; ELMIR; PITOL, 2016).

É dever do profissional conhecer e apresentar a seus clientes, novas tecnologias, bem como métodos viáveis, analisando a melhor escolha dentro da realidade e da situação para qual foi contratado, ou seja, apresentar um leque de possibilidades que muitas vezes não é de conhecimento dos clientes e de profissionais da área da construção (SABBATINI, 1989).

Um empreendimento depende de muitos itens que possuem grandes relevâncias, influenciando e colaborando para o custo. Onde a quantificação, valorização, identificação, análise e descrição, estão inseridas na técnica orçamentária que requer habilidade técnica e bastante atenção (MATTOS, 2006).

1.1 Enquadramento do tema

O estudo de viabilidade econômica destes processos construtivos dar-se-á de suma importância para a sociedade conhecer e adotar o melhor método para a construção, trazendo consigo a realidade, demonstrando pontos positivos e negativos a fim de uma melhor compreensão do todo, podendo assim realizar escolhas importantes com intuito de prever um melhor orçamento e alcançar bons resultados.

No caso dos painéis sanduíche apresenta uma vasta possibilidade em relação a eficiência em vários aspectos. Seu acabamento é um dos destaque, já que possui uma grande variedade de escolha do arquiteto. Este método construtivo vem se destacando com uma grande e vasta rede de

crescimento no mercado, devido seu custo-benefício está acima da média em relação a outros meios construtivo, a alvenaria é um dos exemplo. Os painéis sanduíches possui um acelerado processo de execução, tornando uma obra mais rápida e ágil no processo construtivo. Devido essa redução de prazo, os pré-fabricados vem se destacando no mercado, envolvendo menos colaboradores, menos custos, agilidade e com probabilidade de acidentes menores.

1.2 Objetivos

O estímulo para este trabalho é trazer conhecimento dos processos construtivos de painéis sanduíche através dos seguintes objetivos:

- I. Estudar o conceito de painéis sanduíches em betão pré-fabricados, produção, armazenamento, elevação, transporte e montagem, além dos aspectos inerentes e condicionantes;
- II. Retratar os materiais normalmente utilizados ao nível de estética, relacionando as suas propriedades com as exigências de conforto visual;
- III. Analisar o comportamento térmico e de estanqueidade, em relação as exigências de habitabilidade.

1.3 Plano de trabalho

A dissertação encontra-se organizada em 8 capítulos, sendo o primeiro a presente introdução e o último as devidas conclusões.

No capítulo 2, apresenta-se uma descrição dos painéis de fachada pré-fabricados em betão, mais comuns em edifícios, dando uma maior relevância as opções existentes no mercado atual.

No capítulo 3, são introduzidas práticas na concepção de painéis de fachada na construção civil, focando a produção de peças pré-fabricadas, a elevação de painéis em fábrica, o seu transporte e a montagem destes elementos de fachada.

No capítulo 4, expõem-se as diversas exigências de conforto visual nomeadamente no que diz respeito a estética de painéis de fachada em betão pré-fabricado, os diversos tipos de acabamentos, a geometria das peças e os vãos que os painéis estão sujeitos.

O capítulo 5, é dedicado as exigências de habitabilidade, nomeadamente ao comportamento térmico dando ênfase a conservação de energia, transmissão de calor, as exigências ao nível da inércia térmica, isolamento térmico e as pontes térmicas nestas peças pré-fabricadas, fazendo também uma abordagem à permeabilidade.

No capítulo 6, analisaremos as características estruturais dos painéis, elegendo o comportamento estrutural, as ações, fixações e as ligações a qual os elementos estão sujeitos.

No capítulo 7, é introduzido um caso de estudo, onde analisam-se os resultados em função da viabilidade econômica que derivaram do seu comportamento estrutural e comportamento térmico.

No capítulo 8, enunciam-se as conclusões do estudo, enunciando sugestões para eventuais desenvolvimentos futuros.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

2.1 Estado de arte

De modo geral, aconteceu uma grande evolução na aplicação de fachadas, antigamente constituíam-se de paredes rústicas e com grandes espessuras, enquanto hoje são feitas com materiais mais eficientes proporcionando espessuras mais finas e esbeltas.

No Brasil, via-se paredes feitas de argila com enchimento de palhas e madeiras (paredes de adobe) conforme figura 1, por volta do século XVII surgiu no nordeste brasileiro os primeiros tijolos maciço e de barro, feito de forma artesanal, no século XIX houve uma grande popularização para o tijolo cerâmico, onde vieram os tijolos cerâmicos furados conforme figura 2.

No século XIX, surgiu o betão no mercado, assim, evoluindo a construção civil até chegar nos pré-fabricados, onde abriu um leque de oportunidades em todas as áreas da construção. Com essa diversidade, pode ser feito qualquer construção a partir de peças pré-fabricadas ou parte delas, no caso de fachadas sanduíche em betão por exemplo.

Nos dias de hoje o Brasil está em grande avanço, se adaptando a novas tecnologias e materiais mais eficientes, leves e com custo benefício de eficiências energéticas, melhor aproveitamento do espaço e leveza na estrutura, como: painéis sanduíches, aço, painéis de vidro, entre outros conforme figura 3.



Figura 1 - Paredes de adobe - Foto de Elio Moroni Filho



Figura 2 - Fachada em alvenaria (hometeka 2014)



Figura 3- Fachada em painéis de vidro (ideiasdecor 2021)

Em 2013 entrou em vigor a Norma ABNT NBR 15575:2013, que estabelece critérios de desempenho para edificações habitacionais e determina quais são os requisitos mínimos de uma edificação para o usuário, com o objetivo de garantir conforto, acessibilidade, estabilidade, durabilidade e segurança.

Em Portugal, começou-se em fachadas feitas de pedra, com arquitetura rustica, conforme figura 4. Nos anos 50 iniciou-se a construção com duas camadas, sendo pedra e alvenaria de tijolos lado a lado. Já nos anos 60, parou-se de usar pedras para a utilização de paredes duplas constituídas somente por alvenarias em tijolos furados. Aos anos 80, com o surgimento do isolamento térmico, as paredes externas era constituídas por duas camadas de alvenarias em tijolos com uma camada de isolamento entre as paredes. Em 1991 entra em vigor do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro (RCCTE,1990), surgindo vários tipos de isolamentos, ficando mais eficiente energeticamente as fachadas.

Já está à disposição no mercado português, vários pré-moldados em diversas áreas da construção e renovação, vale ressaltar os painéis sanduíches, onde já possui edifícios construídos com os mesmos, no caso do edifício Essenza em Porto, conforme figura 6 e figura 7.



Figura 4 - Casa de Fernando Namora - (<https://moraremportugal.com>)

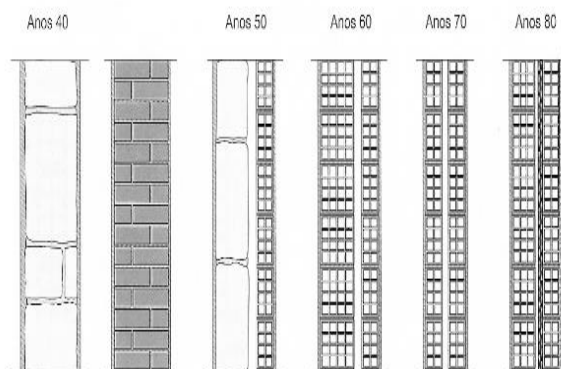


Figura 5 - Síntese aproximada da evolução das paredes em Portugal



Figura 6 - Edifício Essenza - Porto (Empresa FARCIMAR, 2018)

Os pré-fabricados vem se destacando nas construções atuais, devido à falta de mão de obra para alvenaria, trazendo assim uma maior agilidade no processo construtivo e economicamente atrativo e vantajoso.



Figura 7- CELBI-Fábrica de Celulose de Leirosa - Figueira da Foz (Empresa FARCIMAR,2008)

Existe duas maneiras de se fazer uma fachada à base de betão, blocos de betão e painéis, utilizando blocos de concreto, que é a forma evolutiva da construção de adobe. Os painéis de betão pré-fabricados está em destaque no mercado nos dias de hoje, apresentado a fabricação com adição de agregados para melhorias na eficiência final, um exemplo é a fibra de vidro, formando o GRC

(Glass Fiber Reinforced Concrete).

Painéis pré-fabricados são economicamente interessantes comparados à outras opções no mercado, devido a facilidade na hora de sua montagem, outra vantagem é que não possui um padrão de fabricação, cada empresa adapta as necessidades dos clientes com seus métodos construtivos, levando em consideração a forma de montagem e transporte.

Com a utilização da fibra de vidro como agregado, tem alta resistência e o peso dos painéis são reduzidos, assim, pode ser feita uma escolha mais ampla no acabamento exterior, como o uso de materiais pensando em nível ambiental.

Todo edifício deve cumprir exigências de funcionamento, tais como:

- Exigências de segurança
 - Segurança estrutural;
 - Segurança na ocupação e uso;
 - Segurança em fase de incêndio;
- Exigências de habitabilidade
 - Equilíbrio higrotérmico;
 - Condições de higiene;
 - Conforto visual ;
 - Conforto acústico;
 - Estanqueidade à água, ar e poeiras;
 - Disponibilidade de espaço;
- Exigências de economia
 - Durabilidade
 - Limitação do custo global

2.2 Tipologias e formas estruturais dos painéis sanduíche

2.2.1 Descrição dos painéis sanduíche

Os painéis pré-fabricados podem ser encontrados no modelos: auto clavado, betão com agregados leves, betão armado e em GRC, ou seja, betão reforçado com fibra de vidro. Os painéis quando utilizados em fachadas, possui uma vasta possibilidade para a arquitetura. Normalmente o fabricante com o uso do projeto arquitetônico e indicação do projetista, fabrica as respectivas peças para perfeita utilização, conforme figura 8.

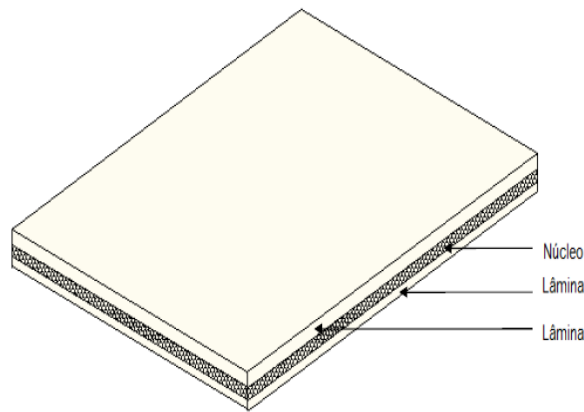


Figura 8- Constituição de um painel sanduíche (Marques, 2012)

Os painéis são fabricados em 3 camadas, utilizando o betão como matéria prima principal. A camada exterior é constituída por betão armado e tem como finalidade manter a resistência do painel. Logo a camada interior, também realizada em betão armado, tem como finalidade de revestimento, entre as duas camadas possui uma camada utilizada como preenchimento, sendo assim é normal a escolha de um material para fazer a função de isolamento térmico e acústico, fazendo com que o painel se torna mais eficiente energeticamente.

2.2.2 Configuração de lâminas

Devido a facilidade e eficiência na hora da fabricação dos painéis e no acabamento, as lâminas normalmente são planas, mas em ocasiões específicas também podem ser fabricadas com superfícies não planas, vai depender do projetista através das exigências de seus respectivos clientes.

2.2.3 Configuração de material do núcleo

O núcleo como mencionado é utilizado para atender os requisitos em relação ao isolamento térmico e acústico. Existem diversos materiais disponíveis no mercado, entre elas, os mais usados são: lã mineral, lã de rocha e lã de vidro, aglomerado de cortiça expandida (ICB), aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos, poliestireno expandido moldado (EPS), poliestireno expandido extrudido (XPS), espuma rígida de poliuretano (PUR), espuma rígida de poli-isocianurato (PIR), espuma polietileno expandido extrudido (PEF), grânulos leves ou fibras soltas e espuma elastomérica flexível (FEF). Vale ressaltar que neste caso específico de painéis, são materiais escolhidos para ser utilizados sempre entre as duas camadas de betão, ou seja, no núcleo do painel.

2.3 Exemplos de obras com painéis de fachada pré-fabricados

Hoje os painéis são muitos utilizados em toda parte do mundo, sendo referência, em inúmeras construções distribuídas no mundo, por isso é possível citar algumas construções de grande expressões feita pela empresa FARCIMAR, uma empresa referência em Portugal, que vem realizando vários trabalhos nacionais e até mesmo no exterior.

A bancada norte do Estádio da Mata Real, situado em Paços de Ferreira-Portugal, é uma das obras já feitas pela empresa podendo ser melhor observada conforme a figura 9; Centro Escolar de Folgosa, situada em Folgosa-Portugal conforme figura 10; Edifício do Comité Olímpico, em Maputo-Moçambique, conforme figura 11; Escola Internacional de Covilhã, em Covilhã-Portugal, conforme figura 12, entre outras obras de baixa expressão.



Figura 9- Bancada Norte do Estádio da Mata Real (FARCIMAR,2014)





Figura 10 - Centro Escolar de Folgosa (FARCIMAR, 2014)



Figura 11 - Edifício de Comité Olímpico-Maputo (FARCIMAR, 2015)

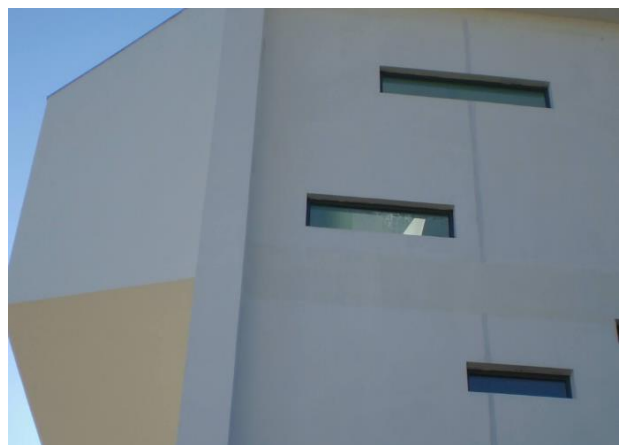


Figura 12 - Escola Internacional de Covilhã (FARCIMAR, 2008)

2.4 Regulamentação aplicável a painéis sanduíche em Portugal

A regulamentação aplicada e utilizada em Portugal relativa a estruturas pré-fabricadas de betão, a Norma Europeia designada por ENV 1992-1-3, EUROCÓDIGO 2 parte 1-3 (EC2, 1994). Esta norma contém o conjunto de regras e técnicas a cumprir na pré-fabricação de estruturas em betão e seguida em todos os países membros da União Europeia. O EC2 parte 1-3, complementa a ENV 1992 1-1 (EC2, 1992) nos aspectos particulares de peças e estruturas pré-fabricadas de betão, e estabelece os princípios base para o projeto e pormenorização de estruturas de edifícios executados parcial ou totalmente com peças pré-fabricadas. A parte 1-3 do EC2 é constituída pelos seguintes pontos de base para dimensionamento, propriedades dos materiais, dimensionamento de secções e elementos, disposições construtivas, execução dos trabalhos e controlo de qualidade.

Com o intuito de salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico em edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no inverno quer no verão, surge legislação adequada a realidade nos dias que correm. O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), assenta no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vem a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no inverno quer no verão e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais, existência e uso.

O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrangem também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade interior surge também com requisitos relativamente aos caudais mínimos do ar interior por tipo de atividade e a concentrações máximas dos principais poluentes (edifícios existentes).

A norma EN ISO 10211-1, estabelece valores para um tipo de ponte térmica linear. A norma EN 13370, valor de ψ para as perdas lineares de elementos da envolvente exterior em contato com o terreno. A norma EN 12207, estabelece classes de permeabilidade ao ar. A norma NP1037-1 cujo cumprimento possibilita que a taxa de renovação horária de ar seja considerada, para fins de verificação regulamentar, como 0,6 renovações por hora. A norma ISO 6946:2007 propõe uma metodologia simplificada que impõe o cálculo de limites superiores e inferiores da resistência térmica das soluções.

Vale ressaltar a Portaria nº42/2019, obriga que os edifícios de necessidades quase nulas de energia tenham uma classe energética A ou A+, sendo esta classificação obrigatória para os edifícios na propriedade de uma entidade pública e a ser ocupados por uma entidade pública a partir de 31 de janeiro de 2019 (dia seguinte à publicação da referida Portaria em Diário da República),

e para os restantes edifícios abrangidos pelo RECS a partir de 1 de janeiro de 2021, é claramente um sinal do legislador com vista a melhorar a eficiência energética dos edifícios, dando o próprio Estado o primeiro sinal nesse sentido, e permitindo que o setor privado tenha quase dois anos para se adaptar a este novo patamar de exigência, isso influencia nas escolhas ideais dos materiais para constituir as fachadas, tornando os painéis sanduíches cada vez mais eficientes financeiramente e energeticamente.

3. CONCEPÇÃO DE PAINÉIS DE FACHADA EM BETÃO PRÉ-FABRICADO

3.1 Produção

3.1.1 Moldes

Os moldes são feitos com o tamanho da peça maior disponível no fabricante e possui acessórios de redução para atender tamanhos menores de painéis, sendo que os mesmos tem material resistente para a betonagem e as vibrações, normalmente produzido de maneira que se tem um bom uso e uma fácil desmontagem.

Para se ter um ótimo resultado, os moldes passam por revisões constantes além de características específicas na fabricação do mesmo, como o reforço lateral, e com as juntas bem estancadas para não ocorrer vazamento de finos, entre outros.

As vibrações podem ser feitas com equipamentos vibrando a própria mesa onde se encontra o molde ou por vibradores manuais.



Figura 13 - Detalhamento do molde (José Rui Pinto, 2021)

3.1.2 Betonagem

A betonagem tem que ser feita de modo a atender todas as especificações, como: espaçamento de recobrimento, armaduras e acessórios nos seus devidos lugares, espaçamento das armaduras, entre outros. Podendo fazer uma vibração adequada, se for o caso do vibrador manual, o mesmo terá acesso em todas as partes sem restrições, obtendo faces lisas e homogêneas.

Deve ter um bom dimensionamento das peças, levando em consideração a resistência do betão, normalmente se usa C30/37 como classe mínima do betão, em razão de obter elevadas resistências a curto prazo, proporcionando uma rápida desmoldagem. Também vale ressaltar, que deve ser feita análise das propriedades do betão, garantido as proporções corretas dos agregados, betão e teor de água.

A cura deve ser feita com rigorosos cuidados, um dele é prevenir a rápida perda da humidade, proporcionando micro fissurações. A prevenção pode ser feita com membranas de cura, assim conseguindo benefícios com respeito as tensões de rotura.

A desmoldagem é feita através de elevação dos painéis, com seus devidos cuidados para que não danifiquem os mesmos.



Figura 14 - Betonagem da camada inferior (José Rui Pinto, 2021)



Figura 15- Betonagem da camada superior (José Rui Pinto, 2021)



Figura 16 - Regularização do betão (José Rui Pinto, 2021)

3.2 Armazenamento

O armazenamento é executado em paletes, cavaletes de madeira ou metálicos, para garantir uma eventual dano nas peças e também uma proteção contra choques e fissuras.



Figura 17- Armazenamento dos painéis (José Rui Pinto, 2021)

3.3 Transporte

Os painéis são transportados em caminhões, escorados sobre os cavaletes de madeiras ou metais. Nestes cavaletes são colocados borrachas para evitar contatos diretos das peças aos cavaletes, evitando danos nas mesmas. O transporte é o processo mais delicado dos painéis, deve levar em consideração na hora do dimensionamento as condicionantes para que possam resistir a ações dinâmicas. Esse transporte para as obras são organizados por causa do dimensionamento e limites de peso suportados pelos caminhões.

Tabela 1 - Limitações dos transportes

Tipo de transporte	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Peso (ton)
Normal	Dentro dos limites do veículos	Dentro dos limites do veículos	4,2	40
Licença anual	19	3,5	4,6	60
Carro piloto	32,5	4,5	5	60
Carro piloto e G.N.R.	>32,50	>4,5	>5	>60



Figura 18 - Cuidados no transporte dos painéis (José Rui Pinto, 2021)

3.4 Elevação e montagem

A elevação é realizada através de caminhões grua ou guias, com seus devidos cuidados, para que não danifiquem as peças. O fabricante fornece o peso das peças afim de escolher o meio de elevação adequado para levantar os painéis. Os painéis possuem acessórios que serão utilizados para a elevação dos mesmos.

Por sua vez e não menos importante, a montagem do painéis deverá ser executada fixando os painéis aos pontos de apoios devidamente estruturados antes da montagem, de tal maneira é essencial que se faça com cuidado assegurando a qualidade final no acabamento.



Figura 19 - Montagem dos painéis (José Rui Pinto, 2021)

4. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO VISUAL

4.1 Estética

Por mais que os painéis sanduíches possuam eficiência energética e aparência já de acabamento, pode ser usado combinações envolvendo revestimento externo, para melhorar a aparência conforme cada projetista. Os painéis são aptos a receber combinações com praticamente todos os revestimentos disponíveis no mercado.

4.2 Tipos de acabamento

Normalmente usa-se acabamento tipo textura, devido a boa aparência e o baixo custo em relação aos outros acabamentos. Pode ser utilizado placas de pedras, seixo, elementos cerâmicos, pinturas, entre vários outros.

Muitos projetistas aderem pelos painéis sanduíche com betão já que esse vem sendo muito utilizados nos dias de hoje, as decorações em elementos visuais com aspectos rústicos é uma das grandes opções de acabamento. Os fabricantes dão a opção para o cliente, escolhas de matérias e cores, para o acabamento sair totalmente pronto na hora da fabricação.

4.2.1 Textura

As texturas podem ser feitas de várias maneiras e formas dentre elas, limpeza com jato de areia, lavagem com jato de água, retardador de superfície, textura mate, granfino, grafiato e textura rústica.

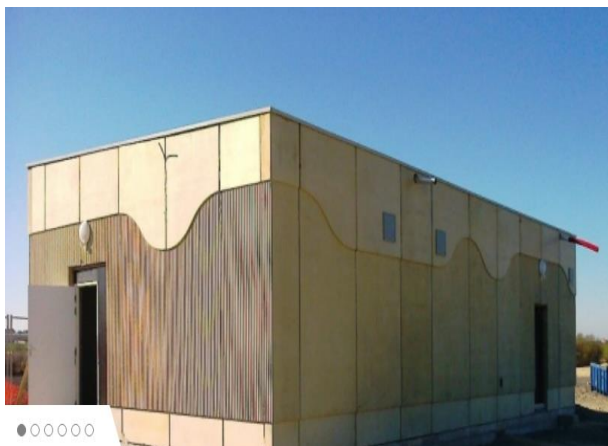


Figura 20- Painéis com textura amarela (Empresa FARCIMAR)



Figura 21- Painéis com texturas rústicas (Empresa FARCIMAR)



Figura 22 - Painéis em betão branco texturado (Empresa FARCIMAR)

O mais utilizado é o limpeza com jato de areia, assim consegue deixar os agregados finos em uma superfície mais fina e com o betão a boa aparência. Uma boa forma de deixar a fachada com boa aparência e com custo em revestimento muito baixo.

4.2.2 Cor

Com as tecnologias presente no mercado podemos afirmar que pode ser usado praticamente qualquer coloração nos painéis, com isso abre uma vasta escolha ao projetista e garante um satisfatório visual para o proprietário da obra e seus utilizadores.

Uma técnica muito usada é adicionar pigmentação ao betão, criando efeitos de coloração. O resultado final, vem da influência entre a mistura, nível de aderência ou vibração, formando uma grande possibilidades ao resultado da coloração final.



Figura 23 - Painéis com pigmentação vermelha (Imagem de Fernando Guerra)



Figura 24 - Painéis em betão fosco (Imagem de Giorgio Marafioti)



Figura 25 – Painéis com pigmentação (Imagem de Juan Solano Ojasi)

4.2.3 Revestimento

Pode ser feito praticamente todas as combinações possíveis de revestimento do mercado com os painéis, normalmente esses revestimentos são fixados na própria fabricação dos painéis, colocando os mesmos, no fundo dos moldes e assim incorporado ao painel. Cada revestimento tem sua própria técnica de fixação nos painéis.



Figura 26 - Coloração dos granitos (Abreu 2020)



Figura 27 - Revestimento cerâmico (Abreu 2020)

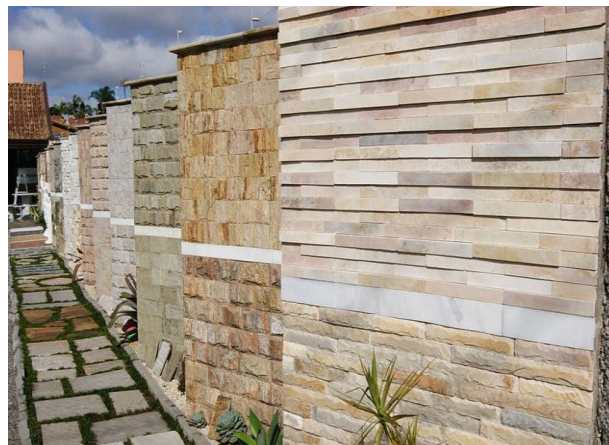


Figura 28 - Revestimento em pedra natural (Abreu 2020)

4.3 Geometria

A geometria dos painéis foi pensada para facilidade de montagem e transporte, assim as obras não sofrem aumentos nos preços e nem fique fora do padrão de uma construção. Mesmo com essas limitações em dimensões, os projetistas ficam com uma grande variedades de possibilidades na hora de realizar seu projeto.

5. EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE

5.1 Comportamento térmico

Com as normas do NZEB (Nearly Zero Energy Building) em vigor o comportamento térmico ficou ainda mais importante em uma habitação, tornando essencial um bom dimensionamento para reduzir o uso de necessidade para aquecimento e/ou arrefecimento. Com essa norma, não só Portugal, mas toda Europa firma o compromisso em construir construções com gasto de energia quase nulos.

Em breve, todos países terão que aderir os mesmos sistemas, inclusive o Brasil, que vem mostrando a falta de energia elétrica em várias regiões do país em diversos meses do ano. Um aspecto que favorece essas mudanças nas construção é o próprio mercado, que tem uma vasta tecnologia em diversos materiais para suprir as necessidades dos projetistas.

5.1.1 Conservação de energia

Conforto térmico nos edifícios tem sido cada vez mais solicitados atualmente, devido ao avanço na tecnologia, os projetistas precisam reduzir ainda mais as trocas de calor com ambientes externos. De fato, os edifícios da atualidade vem se mostrando cada vez mais eficientes ao nível de conforto higrotérmico, fazendo que os mesmos possuem o devido conforto térmicos durante cada nova estações.

5.1.2 Transmissão de calor

A transmissão de calor pode acontecer por várias ações, quando se fala em transmissão em relação a interior com exterior de um edifício, possui três que são comum:

- Condução é um fenômeno de transmissão de calor entre duas zonas com temperaturas diferentes, podendo ocorrer em corpos sólidos ou fluidos. A transmissão de calor é regida pela lei de Fourier, expressa por:

$$Q_x = \lambda * A * \frac{dT}{dx}$$

E que calcula a taxa de transferência de calor em função da condutividade térmica λ (W/(m.°C)), da área A (m²) e do gradiente de temperatura (dT/dx).

- A convecção é o mecanismo de transmissão de calor típico dos fluidos, dado que ocorre na presença dos movimentos destes. A Lei de Newton determina que a taxa de transferência de calor é proporcional a área e a diferença de temperatura, isto é:

$$Q = h. A. (T_s - T_f)$$

Onde: h representa a radiação não necessita de meio de transporte dado que todos os corpos emitem e recebem radiação em função da sua temperatura absoluta.

T_F : temperatura do ambiente;

T_s : temperatura da superfície do objeto;

- A radiação emitida por um corpo negro (corpo radiante puro) é dada pela expressão:

$$Q = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

Onde: σ é a constante de Stefan-Boltzmann, de valor $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, A é a área em m^2 e T a temperatura absoluta do corpo negro, em Kelvin .

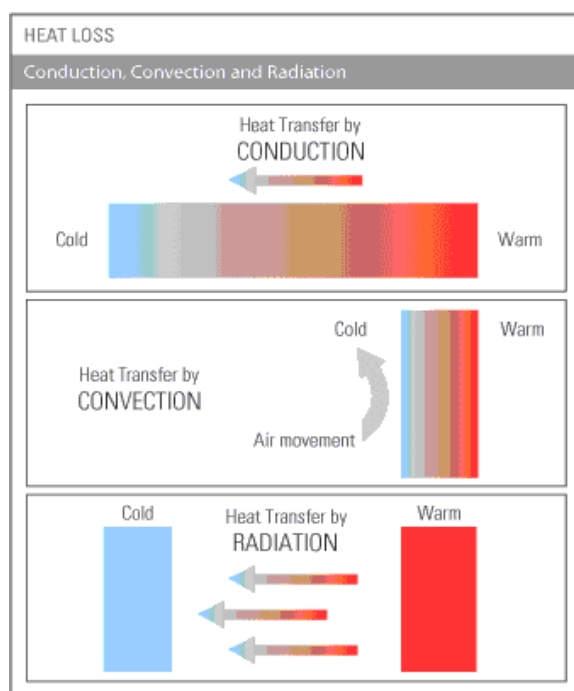


Figura 29 - Processo ilustrativo da transmissão de calor (Abreu 2020)

Em nível de projeto, o projetista possui dois parâmetros que são fundamentais para medir um desempenho energético de um edifício, o coeficiente de transmissão térmica e a resistência térmica superficial. O coeficiente de transmissão térmica pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

Onde:

R_{si} : Resistência térmica interior [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$].

R_{se} : Resistência térmica exterior [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$].

R_j : Resistência térmica da camada j [$\text{m}^2 \cdot \text{C}/\text{W}$].

Já a resistência térmica superficial está sujeita a uma variação em função dos materiais apresentados na superfície, velocidade do ar e até mesmo do próprio posicionamento da superfície. Com ele calcula os efeitos de convecção e da radiação levando em consideração alguns aspectos que pode ser visto a seguir.

Tabela 2- Resistências térmicas superficial (FTCI, 2020)

Sentido do fluxo de calor	Resistência Térmica Superficial [m ² .°C/W].		
	Exterior (Rse)	Local não aquecido (Rse)	Interior (Rsi)
Horizontal	0,04	0,13	0,13
Vertical ascendente	0,04	0,10	0,10
Vertical descendente	0,04	0,17	0,17
(1) Aplicável a paredes (até mais ou menos 30º com a vertical). (2) Aplicável a coberturas e pavimentos. (3) Os valores indicados traduzem o facto de, no caso do cálculo do coeficiente de transmissão de um elemento que separa um local não aquecido de um local aquecido, se adoptar $R_{se} = R_{si}$.			

A resistência térmica de uma camada homogênea obtém-se através da seguinte expressão:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}$$

Onde:

e_j : Espessura da camada homogênea j [m]

λ_j : Coeficiente de condutividade térmica da camada j [W/(m.°C)].

Uma grande facilidade nos dias de hoje é que os próprios fabricantes já fornecem os valores dos coeficientes, reduzindo o tempo de projeto e usando números mais eficientes, devido os mesmos terem vindos de vários ensaios laboratoriais.

5.1.3 Isolamento térmico

Existe muitas opções de isolamentos no mercado, quase todos podem ser utilizados na fabricação de painéis sanduíches nesses normalmente se usa o XPS, um isolamento com boa aderência ao betão e com custo benefício muito bom. A condutividade térmica do XPS é de 0,0037 [W/(m.°C)], com uma massa volêmica aparente que varia entre 25 a 40 [kg/m³].

Mesmo sabendo que o coeficiente de transmissão térmico de uma parede exterior não pode passar de 0,35 [W/(m.°C)] segundo a norma vigente, o isolante térmico a nível de Portugal é escolhido referente a região no qual o projeto vai ser executado. Está escolha varia conforme cada região do país, e refere-se ao clima de algumas regiões por terem o comportamento térmico diferente das demais, o que acontece tipicamente com a região do Algarve em relação ao norte do país, sendo assim fica a responsabilidade do projetista a escolha do isolamento térmico que vai

atender melhor os requisitos do edifícios em cada região.

5.1.4 Pontes térmicas

Nas zonas de ligação, elas distorcem-se e adquirem componentes bidimensionais. Essas linhas de fluxo tendem escapar pela zona de menor resistência térmica. As temperaturas também sofrem uma alteração nessas zona tornando-as mais baixas que na zona corrente.

Nas zonas particulares; cunhais, transição entre elementos constituídos por materiais distintos, o fluxo tem componentes bi/tridimensionais, as perdas de calor são intensificadas e existe um acréscimo de perda de calor em relação à perdas pela zona corrente.

Nestas zonas o comportamento térmico dos elementos é diferente. Veja se como exemplo, a imagem 30 do corte horizontal de uma parede de alvenaria de tijolo e de um pilar em betão armado que a intercepta, bem como o corte de um pilar em zona de ligação entre duas paredes exteriores.

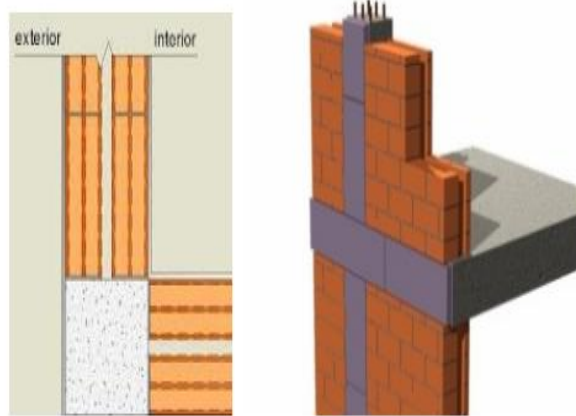


Figura 30 - Exemplos de zonas de ligação da envolvente (Abreu 2020)

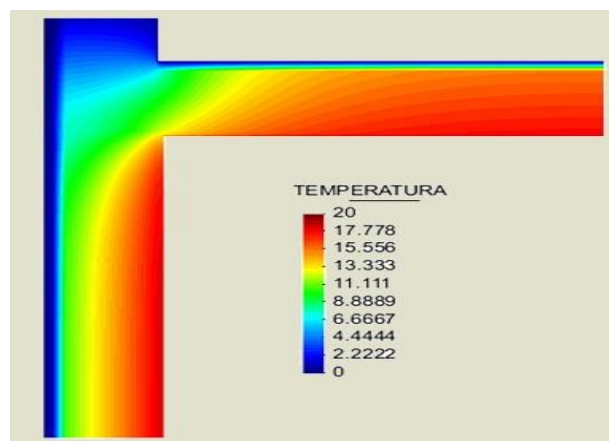


Figura 31 - Gráfico de cores nas pontes térmicas (Abreu 2020)

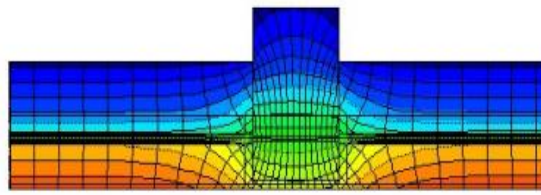


Figura 32 - Ponte térmica plana (Abreu 2020)

As pontes térmicas linear podem ser classificadas em linhas de fluxo de calor e isotérmicas em zona de ponte térmica como: parede dupla isolada termicamente interrompida por pilar de betão armado, ligação entre duas paredes com pilar de canto, ligação entre caixilharia e parapeito.

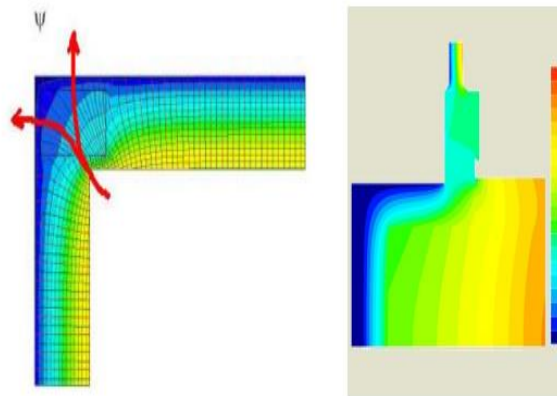


Figura 33 - Pontes térmicas linear (Abreu 2020)



Figura 34 - Termográfica de pontes térmicas num edifício (Abreu 2020)

Nos dias de hoje, os edifícios tem isolamentos térmicos isolando as pontes térmicas, mas mesmo assim é difícil homogeneizar ao longo de toda envolvente. Um exemplo são as portas e

janelas, dificilmente vai eliminar uma ponte térmica nessas áreas, como exemplo a figura 34.

Ainda no dimensionamento, são feitos pormenores para escolher as melhores opções de reforços e isolamentos, para minimizar os efeitos nessas zonas. Outro aspecto também é a humidade, normalmente surge associado as pontes térmicas. Esta humidade pode causas inúmeros problemas no edifício, entre eles: gastos adicionais em manutenção, problemas de durabilidade dos materiais, redução do conforto e o aparecimento de fungos, limitando a vida útil do edifício. Uma maneira bastante eficiente para diminuir esses aspectos, é a colocação do isolamento até as extremidades dos painéis, assim diminui-se as pontes térmicas e as umidades, conforme figura 35.

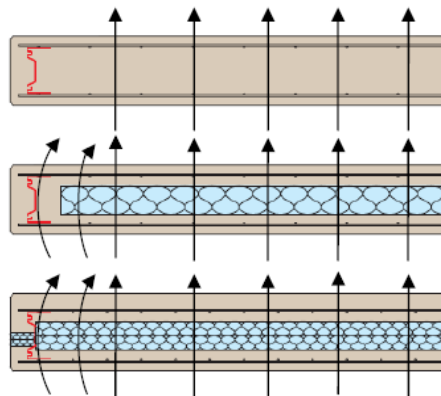


Figura 35 - Exemplo pontes térmicas Painéis Sanduíche (Marques, 2012)

5.2 Permeabilidade

As permeabilizações acontece entre a junção de um painel com outro painel e/ou na junção do painel com um elemento estrutural, por isso é fundamental que estanque as juntas, mais com atenção no processo, evitando as tensões devido as movimentações. Normalmente usa-se junta projetada, assim evitando tensões e estaqueando a água e o ar.

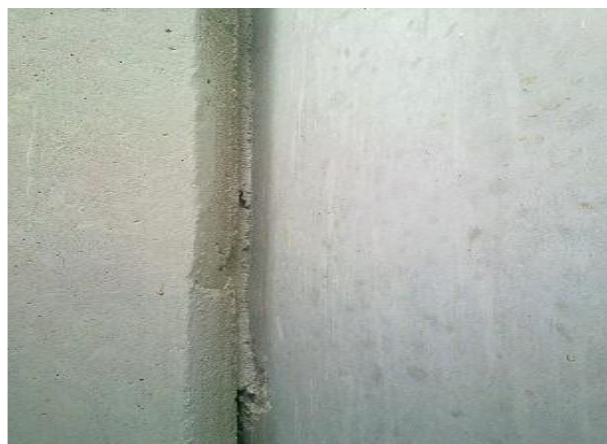


Figura 36 - Junta entre painel e pilar (Marques,2012)

6. EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA

6.1 Comportamento estrutural

Os painéis sanduíches sofrem tanto esforços verticais como horizontais, fazendo que seu lado exterior fique responsável para resistir estes esforços.

- **Ações horizontais**

As horizontais são causados pela ação do vento, assim o dimensionamento é equivalente a uma laje, em geral usa-se malhasol como armadura.

- **Ações verticais**

Os esforços verticais provem de seu peso próprio e esforços dinâmicos na hora do transporte e montagem. O dimensionamento baseia-se ao EC2, levando em consideração a armadura mínima, em caso o valor de dimensionamento seja inferior ao informado.

6.2 Ligações

Na estrutura do painel sanduíche contém duas camadas em betão com uma camada de isolamento no seu intermediário, estas camadas são unidas através de ligações, cumprindo diversos requisitos relacionado a resistência, ductilidade e durabilidade. Essas ligações serão realizadas através de conectores e armaduras transversais.

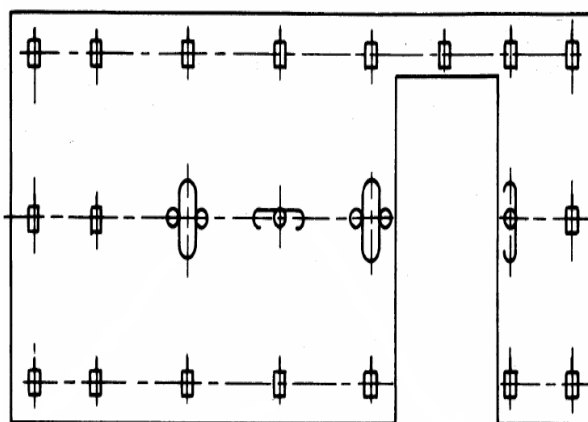


Figura 37 - Tipo de Conectores no painel de sanduíche (Marques,2012)



Figura 38 - Conectores em perfil de alumínio (José Rui Pinto, 2021)

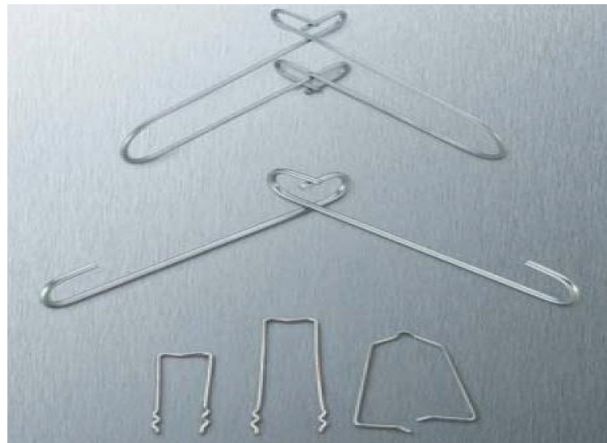


Figura 39 - Ligador modelo Spa (Marques,2012)

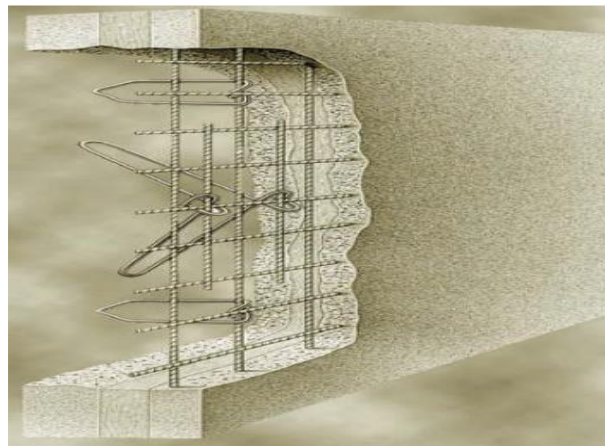


Figura 40 - Pormenor ligação modelo Spa (Marques,2012)

6.3 Fixações

Os fixadores é a interação entre o painel e os elementos estruturais. Essas fixações são projetadas juntamente com o projeto estrutural, assim sendo executada em conjunto com o mesmo. Os elementos de fixação possui uma grande importância no conjunto, sendo responsável da transferência de carga dos painéis para os elementos estruturais. O pontos mais relevante em relação aos fixadores, são as suas devidas exigências, entre elas, ductilidade, resistência mecânica e corrosão.

Freqüentemente os metais são os escolhidos como fixadores, devido a sua alta resistência e ductilidade. Por mais que o mercado oferece uma vasta escolha de materiais, eles levam em consideração o fator da corrosão. Os mais comuns de serem usados são: aço inoxidável, aço carbono relacionado a alguns recobrimentos e aço patinado. O painel é fixado lateralmente e verticalmente, com finalidade a suportar as forças laterais e deformações diferenciais.

- Fixação de alinhamento
 - Contribui para o alinhamento do painel na montagem.
 - Impedir o deslocamento relativo, entre os painéis.
 - São fixados de forma soldada e/ou aparafusada.
- Fixação de apoio lateral
 - Assegurar a transmissão das forças horizontais devidas à ação do vento.
 - As fixações de apoio lateral, grande parte das vezes são projetadas para funcionarem como fixadores de alinhamento.
 - São fixados de forma soldada e/ou aparafusada.
- Fixação de apoio vertical
 - Assegurar a transmissão do peso próprio para a estrutura de suporte.
 - Impedir o deslocamento relativo entre os painéis.
 - São fixados de forma soldada e/ou aparafusada.

6.3.1 Tipos de Fixações

- Fixação entre o painel e o pilar.

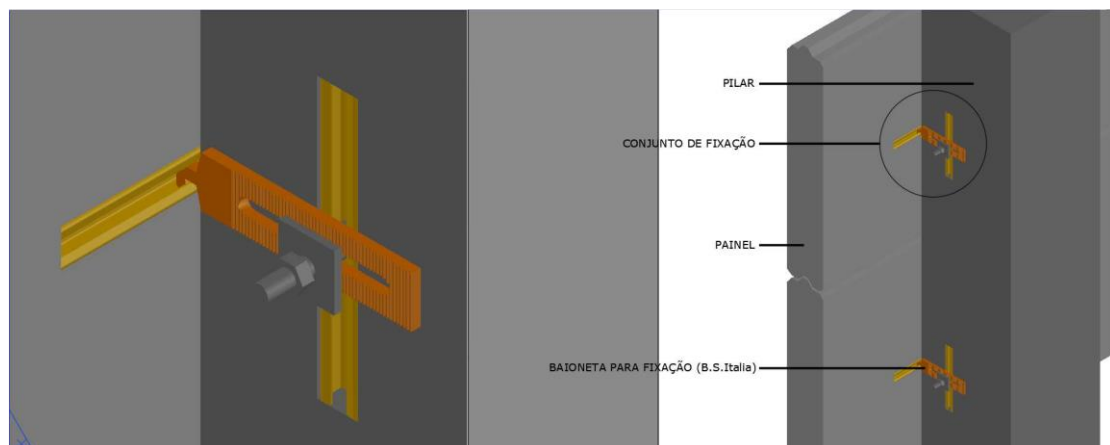


Figura 41 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com um pilar pré-fabricado (José Rui Pinto, 2021)

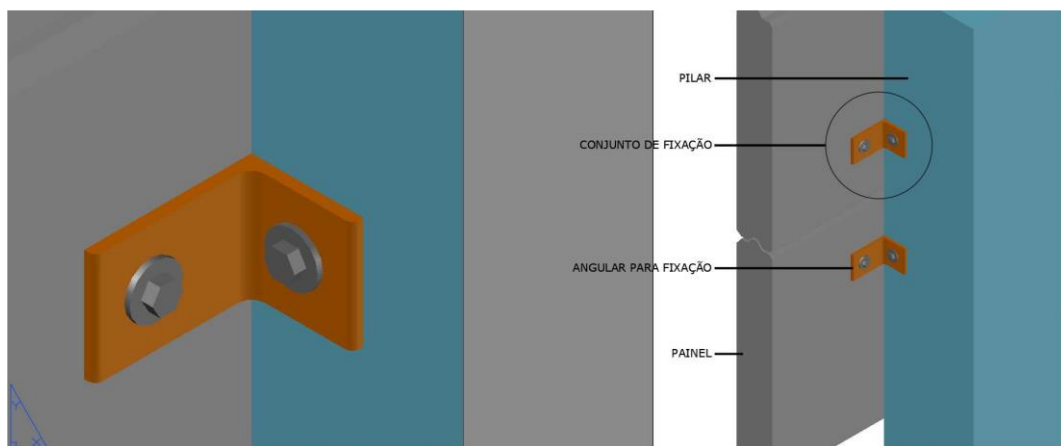


Figura 42 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com um pilar “in situ” (José Rui Pinto,2021)

- Fixação entre painel e viga.

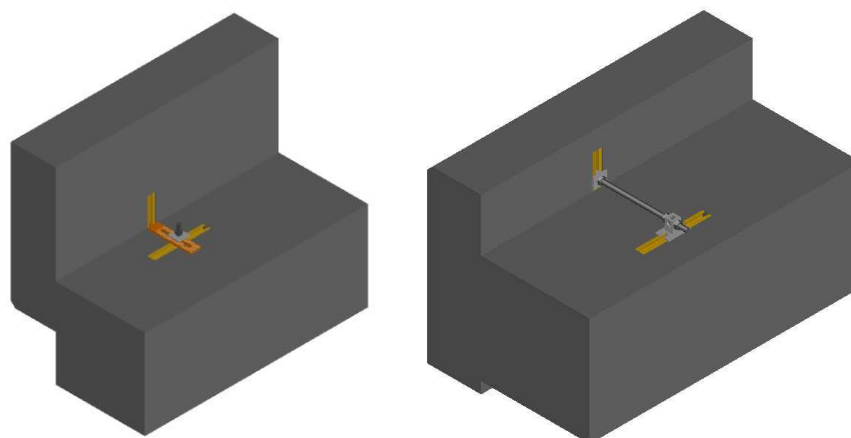


Figura 43 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com uma viga pré-fabricada (José Rui Pinto,2021)

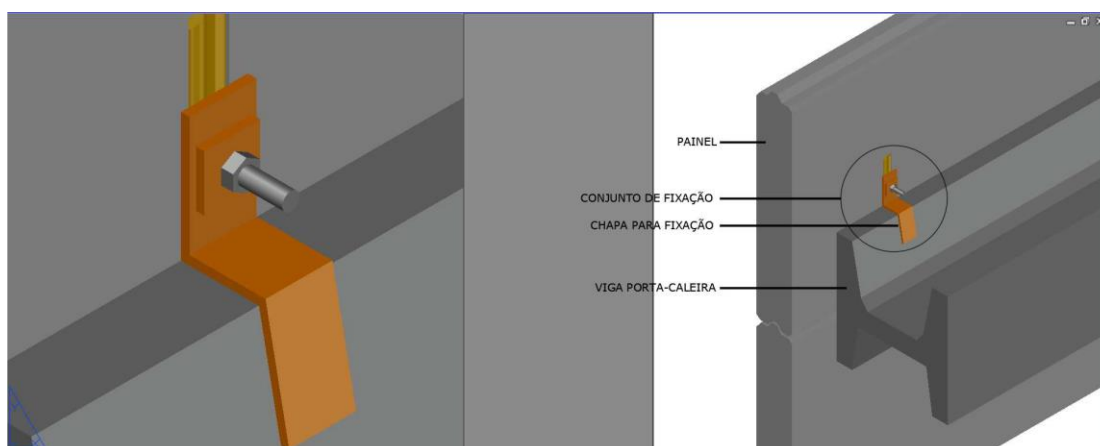


Figura 44 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com uma viga caleira pré-fabricada (José Rui Pinto,2021)

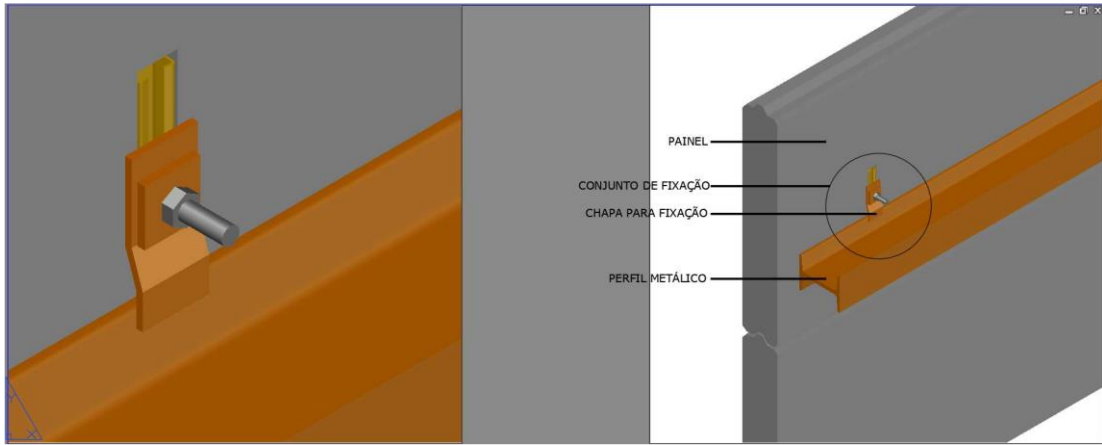


Figura 45 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado com um perfil metálico (José Rui Pinto, 2021)

- Fixações entre painéis.

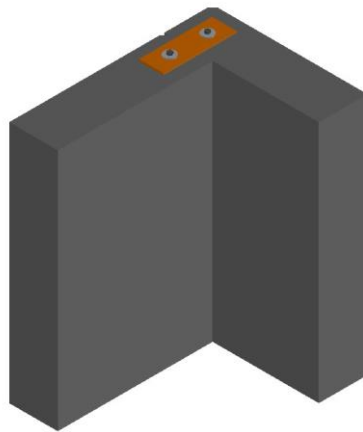


Figura 46 - Pormenor de fixação entre painéis (José Rui Pinto, 2021)

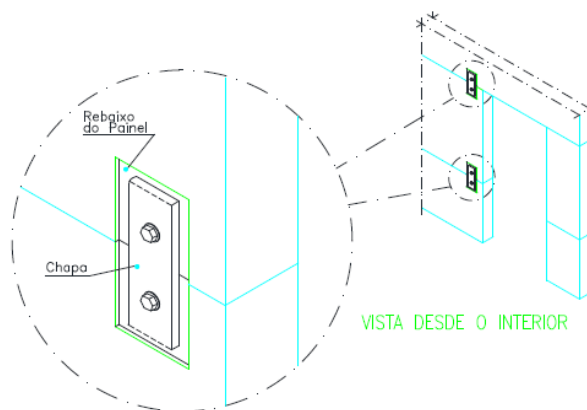


Figura 47 – Pormenor (José Rui Pinto, 2021)

- Fixação de painel suspenso.

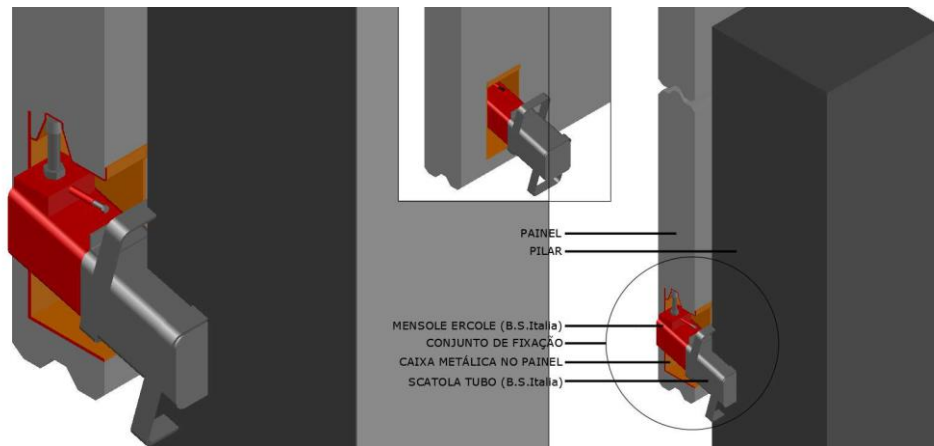


Figura 48 - Pormenor de fixação de um painel pré-fabricado suspenso (José Rui Pinto, 2021)



Figura 49 - Pormenor (José Rui Pinto, 2021)

6.3.2 Formas de Fixações

- Fixações soldadas

As fixações soldadas tem mais eficiência e ajuste facilitado em várias situações. A durabilidade e o desempenho da solda depende da harmonia dos materiais soldados e da qualidade de execução. (Marques,2012).

- Fixações aparafusadas

As fixações aparafusadas são executadas de maneiras simples, tornando o processo com mais eficiência e agilidade. Uma boa vantagem é regulagem após o painel já se encontrar em seu devido lugar e uma possibilidade regulagem futura.

7. CASO DE ESTUDO

7.1 Descrição do caso

O caso em estudo desta dissertação, consiste do dimensionamento de painel sanduíche em betão pré-fabricado segundo o EC2, considerando o comportamento térmico e estrutural. O comportamento estrutural, será realizado os estados limites últimos e de utilização e esforços transversos. Já o comportamento térmico, levando em consideração os aspectos construtivos e as possíveis pontes térmicas, será dimensionado com dispositivo de ligação à fibra de vidro.

Os materiais a ser usado será o betão C30/37, aço A500 NR e o isolamento térmico XPS.

7.2 Geometria

O painel possui uma geometria com comprimento de 5m , altura 2,90m e uma espessura de 0,23m. A lâmina exterior representa uma espessura de 0,05m, a lâmina interior tem espessura de 0,10m e o isolamento térmico possui 0,08m.

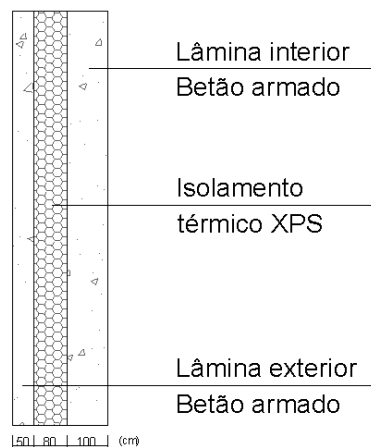


Figura 50 - Geometria do painel (Autoria própria)

7.3 Comportamento estrutural

- Estado limite último

Betão C30/37

Aço A500 NR

Valor médio da resistência a tração do betão;

$$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$$

Deformação específica de escoamento do aço;

$$\varepsilon_{yd} = 2,18 \times 10^{-3}$$

Tensão de cálculo resistente à compressão do betão;

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Resistência de cálculo do aço à tração;

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 435 \text{ MPa}$$

- Ações

Cargas permanentes

Peso próprio lâmina interior;

$$P.P = b \times h \times f_{ctm} = 25 \times 0,10 \times 2,90 = 7,25 \text{ KN/m}$$

Peso próprio lâmina exterior;

$$P.P = b \times h \times f_{ctm} = 25 \times 0,05 \times 2,90 = 3,625 \text{ KN/m}$$

Peso próprio do isolamento;

Peso próprio do isolamento XPS

$$y_{xps} = 3,6 \text{ KN/m}^2$$

$$P.P = b \times y_{xps} = 0,08 \times 3,6 = 0,288 \text{ KN/m}$$

$$\sum \text{peso próprio} = 11,163 \text{ KN/m}$$

Combinações de ações

Considerando que não existe sobrecarga nos painéis;

$$\gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q = 1,50$$

$$P_p = 1,35 \times 11,163 + 1,50 \times 0 = 15,07 \text{ KN/m}$$

Esquema de cálculo

O painel é dividido em quatro pontos, devido os pontos 3 e 4 fixados para fazer o levantamento do painel, formando assim um sistema de calculo em forma de treliça, segundo a figura 51.

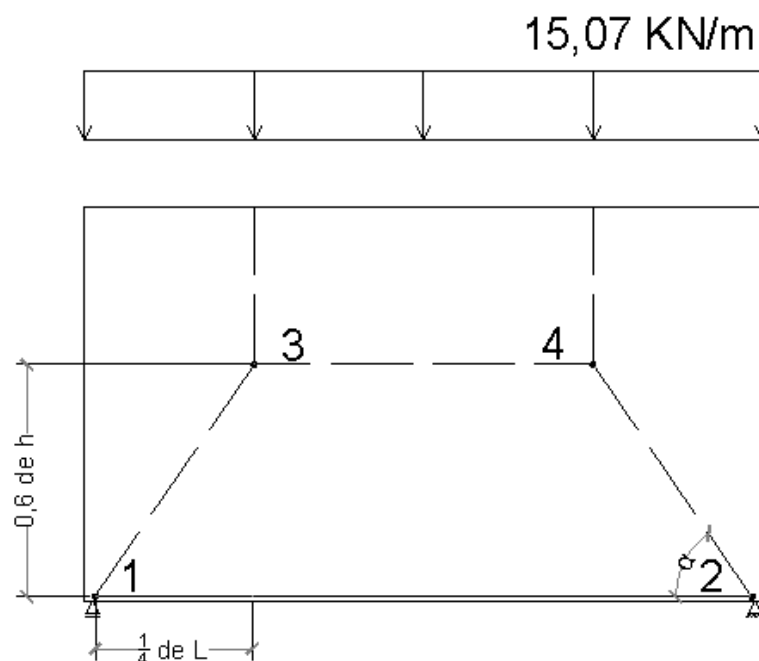


Figura 51 - Pormenor do painel para cálculo

- Dimensionamento da armadura inferior

$$Z \approx 0,6 \times h = 1,35 \text{ m}$$

Equilíbrio no nó 1

$$F_t = \frac{R}{Z} * \frac{L}{4} = \frac{37,675 \times \frac{5}{4}}{1,74} = 27,07 \text{ KN}$$

De acordo com o modelo de cálculo, a armadura correspondente ao tirante inferior pode ser obtida através do equilíbrio no nó 1.

$$A_s = \frac{F_t}{F_{yd}} = \frac{27,07}{43,50} = 0,62 \text{ cm}^2$$

A armadura mínima será determinada de acordo com a clausula 9.2.1.1(1) da Norma NP EN1992-1-1:2010 (elementos secundários com possibilidade de rotura frágil).

$$A_{s,min} = 1,2 \times A_s = 1,2 \times 0,62 = 0,74 \text{ cm}^2$$

(adota-se uma armadura de 2Ø8 com total de 1.01 cm²)

Em seguida procede-se à verificação da capacidade resistente das escoras e dos nós do modelo de escoras e tirantes. A tensão nas escoras pode ser verificada através da seguinte expressão (cláusula 6.5.2 da NP EN1992-1-1:2010):

$$\sigma_{Rd} = 1 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 1 \times \left(1 - \frac{30}{250}\right) \times 20 = 17,60 \text{ MPa}$$

Assim, as escoras possuem capacidade resistente suficiente uma vez que não é ultrapassado o valor limite da resistência à compressão do betão.

No caso dos nós será necessário verificar a capacidade resistente dos nós 1 e 2 (do tipo CCT (compressão, compressão e tração) sujeitos a forças de compressão e tração) e dos nós 3 e 4 (do tipo CCC (compressão, compressão e compressão) sujeitos a forças de compressão).

A capacidade resistente dos nós 1 e 2 não será verificada uma vez que estes nós se localizam nas zonas de apoio do painel sendo que se assumimos que a dimensão do apoio é suficiente para garantir a capacidade resistente à compressão (tensões de compressão no betão).

A capacidade resistente dos nós 3 e 4 fica garantida se a tensão de compressão não ultrapassar o valor limite da resistência à compressão do betão (cláusula 6.5.4 da NP EN1992-1-1:2010):

$$\sigma_{Rd} = 1 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 1 \times \left(1 - \frac{30}{250}\right) \times 20 = 17,60 \text{ MPa}$$

- Dimensionamento da armadura na face

A armadura das faces será dimensionada considerando que o elemento corresponde a uma viga-parede (cláusula 9.7 da NP EN1992-1-1:2010). Neste caso será dimensionada uma malha (rede ortogonal) com a seguinte armadura por face:

$$A_{s,db\ min} = 0,1\% \times A_c = \frac{0,1}{100} \times 0,05 \times 10^4 = 0,5\ cm^2/m$$

$$\text{Sendo que } A_{s,db\ min} \geq 1,5\ cm^2/m$$

O espaçamento das armaduras será:

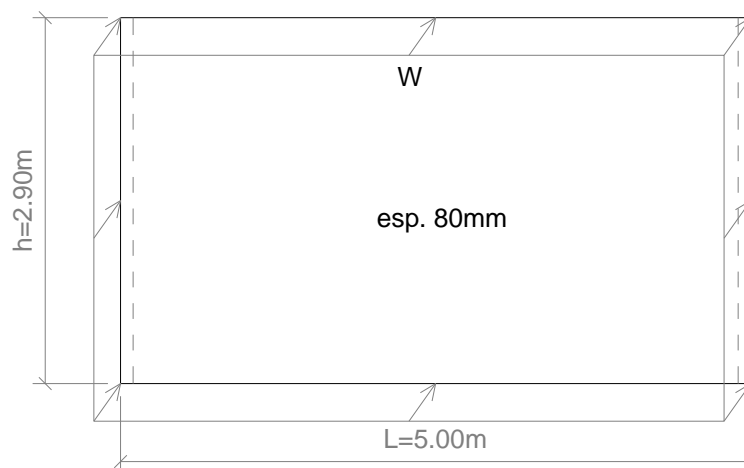
$$s \leq 2 \times esp = 2 \times 0,05 = 0,10\ m\ (\text{em cada direção})$$

$$\text{Sendo que } s \leq 0,30\ m\ (\text{em cada direção})$$

Assim, a malha de armadura será constituída por uma rede ortogonal de varões Ø6 com afastamento de 0.10m (ou uma rede eletrossoldada AQ50).

O painel será dimensionado considerando que a ação do vento na direção perpendicular ao painel, neste caso o painel está apoiado nos pilares laterais.

Assim, o sistema estrutural é equivalente a uma laje apoiada nas extremidades como ilustrado na figura a seguir.



A quantificação da ação do vento depende da localização (zoneamento do território), orografia, da geometria do edifício e de eventuais aberturas nas fachadas. Na ausência de informação sobre estes dados, assume-se um valor característico da pressão dinâmica do vento $W_k = 1.0\text{kN/m}^2$ (este valor deverá ser ajustado para cada projeto).

O valor de cálculo da ação do vento será:

$$W_{ed} = \gamma_{Wk} \times W_k = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ KN/m}^2$$

Nesta configuração estrutural, e para vento que provoque pressão, a armadura para o ELU (estado limite último) de flexão perpendicular ao painel será obtida considerando que a capacidade resistente da camada interior. Assim, a verificação ao ELU de flexão será realizada considerando apenas uma malha de armadura localizada no centro da camada interior.

Os dados para o dimensionamento são os seguintes:

- Materiais

Betão C30/37

Aço A500 NR

- Recobrimento

40 mm

- Altura útil

$$d = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ m}$$

O momento fletor máximo para um elemento simplesmente apoiado com carga distribuída ocorre a meio vão e é dado por:

$$M_{ed} = \frac{W_{ed} \times L^2}{8} = \frac{1,5 \times 5^2}{8} = 4,69 \text{ KN.m/m}$$

A armadura correspondente será:

$$\mu = \frac{M_{ed}}{b \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{4,69}{1 \times 0,05^2 \times \frac{30000}{1,5}} = 0,0938$$

$$w = \mu \times (1 + \mu) = 0,0938 \times (1 + 0,0938) = 0,1026$$

$$A_s = w \times b \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,1026 \times 1 \times 0,05 \times \frac{\frac{30}{1,5}}{\frac{500}{1,15}} = 2,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

A armadura mínima será obtida através de:

$$A_{s,min} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b \times d = 0,26 \times \frac{2,9}{500} \times 1 \times 0,05 = 0,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Com } A_{s,min} \geq 0,0013 \times b \times d = 0,0013 \times 1 \times 0,05 = 0,65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

A armadura máxima será dada por:

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 1 \times 0,1 = 40 \text{ cm}^2/m$$

A armadura mínima para o controlo da fendilhação será dada por (cláusula 7.3.2 da NP EN1992-1-1:2010)

$$A_{s,min} \times \sigma_s = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times A_c$$

que no caso de flexão simples para uma largura unitária será:

$$A_{s,min} = 0,4 \times \frac{f_{ct,eff}}{f_{yk}} \times A_c = 0,4 \times \frac{1}{500} \times 1 \times 0,1 = 0,72 \text{ cm}^2/m$$

Considerando a utilização das armaduras previamente calculadas e uma vez que a espessura da laje/camada é inferior a 200 mm, não será necessário adotar medidas específicas para o controlo da fendilhação (cláusula 7.3.3 da NP EN1992-1-1:2010).

Assim, a armadura a adotar será $A_s = 2.36 \text{ cm}^2/m$ ($\emptyset 6//0.10$ ou rede eletrossoldada AR60).

A verificação do painel ao ELU de esforço transversal será realizada considerando a capacidade resistente da camada interior. O esforço transversal máximo de cálculo será:

$$V_{Ed} = \frac{W_{Ed} \times L}{2} = \frac{1,5 \times 5}{2} = 3,75 \text{ KN/m}$$

A capacidade resistente da camada interior sem armadura específica de esforço transversal será ($\emptyset 6//0.10$ com $A_s = 2.36 \text{ cm}^2/m$)

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \times k \times (100 \times \rho_l \times f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \times \sigma_{cp} \right] \times b_w \times d$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \times \left(1 + \sqrt{\frac{200}{50}} \right) \times \left(100 \times \frac{2,36}{100 \times 5} \times 30 \right)^{\frac{1}{3}} \right] \times 1000 \times 50 \times 10^{-4}$$

$$V_{Rd,c} = 4,355 \text{ KN/m}$$

Com:

$$V_{Rd,c} \geq V_{Rd,min} = v_{min} \times b_w \times d = \left(0,035 \times k^{\frac{2}{3}} \times f_{ck}^{\frac{1}{2}} \right) \times b_w \times d$$

$$V_{Rd,min} = \left(0,035 \times 2^{\frac{2}{3}} \times 30^{\frac{1}{2}} \right) \times 1000 \times 50 \times 10^{-3} = 15,22 \text{ KN/m}$$

7.4 Comportamento térmico

Nesta seção será apresentado o procedimento de cálculo do coeficiente de transmissão térmica do painel tipo de acordo com a Norma ISO 6946:2007 (Marques, 2012). Neste caso foram consideradas ligações em fibra de vidro. Os parâmetros considerados no cálculo estão indicados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros de cálculo dos elementos do painel e ligações

Especificações das ligações entre elementos do painel sanduíche			
Elemento	Espessura (m)	Condutividade térmica, valor de cálculo λ (W/m.°C)	Resistência térmica da camada (W/m ² .°C)
Painel sanduíche			
Lâmina interior de betão armado	0,10	2	0,05
Isolamento térmico de XPS	0,08	0,037	2,162
Lâmina exterior de betão armado	0,05	2	0,025
Ligações em fibra de vidro			
Ligação de fibra de vidro	0,19	0,5	0,380
Juntas entre os painéis			
Mástique	0,016	0,5	0,032
Cordão de Neoprene	0,016	0,23	0,070

A área da secção dos dispositivos que atravessam o isolamento térmico é de 0,007 m². Para a determinação do coeficiente de transmissão térmica é necessário determinar os limites superior e inferior. Consideram-se dois painéis sobrepostos com ligação macho-fêmea, junta de 3 cm e remate com cordão de neoprene e mástique (Figura 53).

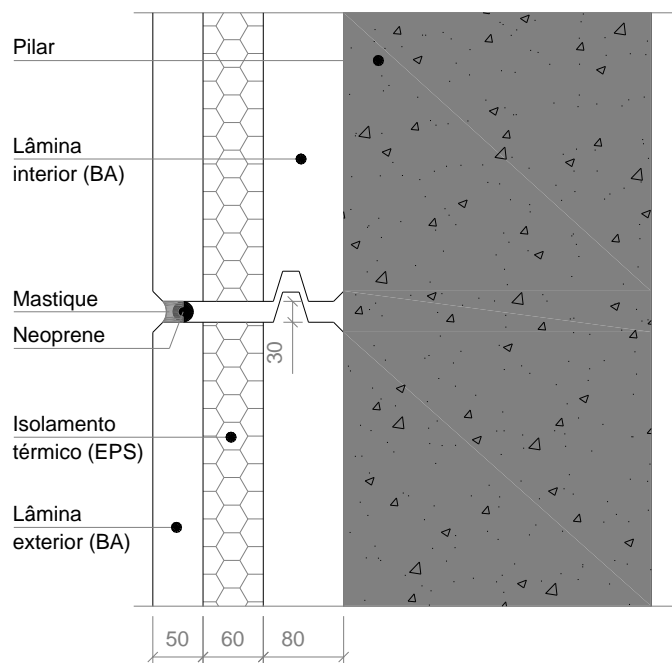


Figura 53 - Junta entre painéis

No caso do limite superior (R'_t) admite-se uma dimensão de um fluxo de calor perpendicular à superfície de elemento de acordo com o esquema das resistências térmicas da parede. Serão consideradas duas zonas térmicas F1 e F2, sendo que a primeira representa o painel e a segunda as ligações (as ligações são consideradas como zona térmica no cálculo, aplicando-se neste caso uma correção do coeficiente de transmissão térmica).

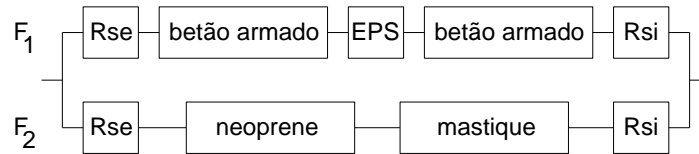


Figura 54 - Esquema das resistências térmicas da parede

As frações das áreas a utilizar no cálculo são as seguintes:

Tabela 4 - Áreas do painel para calculo

Medidas do painel				
Comprimento (m)	5	A seção (m ²)	13,44	100%
Altura (m)	2,9	A painel (m ²)	13,42	99,89
Largura (m)	0,23	A junta (m ²)	0,015	0,11

Assim, o limite superior será:

$$R'_t = \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}}$$

O limite inferior (R''_t) é determinado assumindo que todos os planos são paralelos à superfície dos elementos.

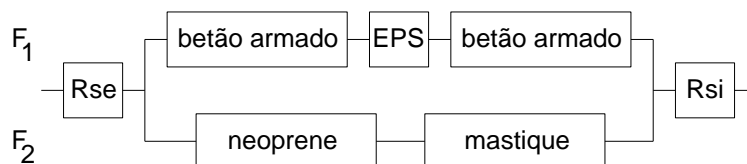


Figura 55 - Esquema de resistência térmica da parede

A resistência térmica será dada por:

$$R''_t = Rse + \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} + Rsi$$

A resistência térmica total do painel é dada por:

$$R_t = \frac{R'_t + R''_t}{2}$$

A relação entre os limites superior e inferior deve ser inferior a 1,50, ou seja:

$$\frac{R'_t}{R''_t} \leq 1,5$$

Assim, neste caso verifica-se a aplicabilidade da referida Norma.

É ainda necessário verificar a estimativa de erro que deve ser inferior a 20%:

$$e(\%) = \frac{R'_t - R''_t}{2 * R_t}$$

O Coeficiente de Transmissão Térmica das ligações em aço é dado por:

$$U = \frac{1}{R_t}$$

Este valor deve ser corrigido uma vez que a ligação em aço atravessa o isolamento térmico.

A correção é realizada através do seguinte fator de correção:

$$\Delta U_f = \alpha \times \lambda_f \times n_f \times A_f$$

com:

α : Fator de escala para fixações mecânicas.

λ_f : Condutibilidade térmica das fixações (W/m2.oC).

n_f : Número de fixações por metro quadrado que atravessa o isolamento térmico.

A_f : Área da secção dos dispositivos que atravessam o isolamento térmico [m²].

O valor do Coeficiente de Transmissão Térmica corrigido será:

$$U = \frac{1}{R_t} + \Delta U_f$$

Tabela 5 - Resultado do comportamento térmico

Comportamento Térmico		
R't (limite superior)	2,65 m ² .°C/W	
R''t (limite inferior)	2,46 m ² .°C/W	
Rt (resistência total do painel)	2,56 m ² .°C/W	
Verificação		
R't/R''t	1,08 m ² .°C/W	<= 1,5 ok
e (%) verificação do erro	3,72 %	<=20% ok
Coeficiente de Transmissão		
U (coeficiente de transmissão)	0,39 W/m ² .°C	

8. Conclusões e sugestões para desenvolvimentos futuros

8.1 Principais conclusões

Os painéis sanduíches em betão mostrou-se uma ótima e promissora solução, os mesmos apresentam uma grande possibilidade em acabamento, além de sua elevada resistência e durabilidade, eficiência na execução, bom custo-benefício e baixa manutenção. Esses tipos de painéis satisfaz todas as exigências do EUROCÓDIGO 2. Esta dissertação referiu-se a essas exigências a modo de equacionar os painéis.

Os painéis são fabricados em betão com agregados leves, no caso em estudo foi utilizado o GRC (betão reforçado com fibra de vidro). Mas os fabricantes normalmente fabrica os painéis conforme os projetos arquitetônicos.

A respeito ao acabamento, conclui-se que os painéis podem ser utilizados como fachadas em sua coloração aparente do betão, ou até mesmo utilizando texturas realizadas na sua própria fabricação. Ainda possui a grande diversidade de acabamento que pode ser adicionado tanto na fabricação dos painéis (mais comum) quanto após a execução.

As principais exigências a satisfazer pelas fachadas são de segurança, habitabilidade, conforto visual e tátil, adaptação à utilização normal, durabilidade e economia.

O comportamento estrutural dos painéis sanduíche, sofrem forças verticais e horizontais. Deste modo, quando se refere as forças verticais, os painéis podem ser comparados a uma viga ou parede, já a respeito das forças horizontais, os mesmos são comparados a uma laje. Em relação ao dimensionamento, os painéis sanduíche é formado por três lâminas, sendo uma exterior, uma lâmina interior e um núcleo central. A lâmina interior fica responsável para a resistência das solicitações.

O caso em análise, constitui em estabelecer o conceito e dimensionamento de painéis sanduíche em betão com adição de fibra de vidro.

Portanto, apresenta-se as principais conclusões do estudo:

- O custo-benefício dos painéis utilizando as ligações de vidro, resultou em uma excelente escolha, devido sua perda térmica ser muito baixa;
- Embora utilizando as juntas de vidro, os painéis apresentou uma resistência térmica de $0,39 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$;
- Ainda em relação a térmica, vale ressaltar a nível de Portugal, o painel dimensionado não cumpre a norma térmica vigente, sendo solicitado um revestimento para complementar a resistência térmica;
- Rapidez na execução, devido aos trabalhos de cofragem e escoramento praticamente não existirem, aumentando a segurança em obra;
- Melhor controle de gestão da obra e planejamento;

- Diminuir os custo de pessoal, devido à menor mão-de-obra necessária;
- Existe menos dependência das condições atmosféricas;
- Maior controle sob a área de estaleiro;
- Devido à construção em fabrica dos elementos, os custos de produção serão baixos, assim como os custos de manutenção;

8.2 Desenvolvimentos futuros

A presente dissertação tem potencial de base para futuros estudos no campo de painel sanduíche em betão. Uma vez que ainda precisa ser melhorado o comportamento térmico. Outro estudo promissor seria um desenvolvimento de um software, devido ao seu processo construtivo vir dominando cada dia mais o mercado e ainda não possuir um software para o dimensionamento do mesmo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, Maria I. L. M. D. de. Heat transfer mechanisms, apontamento de Física e Tecnologia da Construção I. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança 2020.

Decreto-Lei 40/1990 de 6 de Fevereiro. Diário da Republica I - Série A de 6 de Fevereiro de 1990.

Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril. Diário da Republica I - Série A de 4 de Abril de 2006.

DUARTE, E. L.; ELMIR, J. C. Jr.; PITOL, A. P. As principais vantagens e desvantagens da utilização de elementos pré-fabricados de concreto e seus processos de fabricação. Revista Construindo, Belo Horizonte, v.8, jan./jun. 2017.

EUROCÓDIGO 2, EN 1994-1-1: EUROCÓDIGO 2: Design of Concrete Structures - Part 1-3: General Rules - Precast Concrete Elements and Structures, ENV 1992-1-3, Brussels, Belgium, 1994.

EN ISO 10211-1; Thermal bridges in building constructions - Heat flows and surface temperatures. Part 1: General calculation methods.

EN ISO 10211-2; Thermal bridges in building constructions - Calculation of heat flows and surface temperatures. Part 2: Linear thermal bridges.

EN ISO 6946:1997 - Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method

Freitas, Vasco P. - Seleção exigencial de painéis pré-fabricados em betão da pré-gaia para aplicação em fachadas, Relatório . HT 171/01, pré-gaia - Sociedade de Pré-fabricação, S. A., Porto, Janeiro de 2002.

Freitas, Vasco Peixoto de Pinto Manuel. Metodologia para a Seleção Exigencial de Isolantes Térmicos. Nota de Informação Técnica. NIT_001. Porto, LFC/FEUP, 1997.

Hexcel Composites, Hex Web Honeycomb Attributes and Properties, catalogo da empresa Hexcel Composites, 1999.

Lima, Manuel António da Silva - Armazenamento de energia térmica em componentes de edifícios sobre os quais incide radiação solar direta, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto 1995.

Lucas, Jose A. Carvalho - Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes. ICT, Informação Técnica de Edifícios . ITE 25. Lisboa, LNEC, 1990.

Leite, M. Freitas M. Silva A., Sandwich construction, Apresentação IST, DesignStudio, 2004.

Lucio, Valter - Apontamentos Aulas Teóricas – Betão Armado I. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007.

Marques, Nuno Miguel Barreira – Painéis de fachada em betão pré-fabricados, Comportamento térmico e estrutural. Faculdade Nova de Lisboa, 2012.

Mascarenhas, Jorge - Sistemas de Construção - IX - Contributo do RCCTE, Detalhes construtivos sem pontes térmicas, Materiais básicos (6.a parte): o Betão. Livros Horizonte, 2008.

- MATTOS, D.A. Como preparar orçamentos de obras – SP. São Paulo, Universidade Federal da Bahia, 2006, 286p.
- Mendonça, Paulo - Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados, Universidade do Minho, 2005.
- OLIVEIRA, D. F. C. Concreto pré-moldado: processos executivos e análise de mercado. 2015. 61f. Monografia (Especialização em Construção Civil) Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- Pinto, José Rui – Pós-graduação em Pré-fabricados em betão. Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2021.
- Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI). (1989), Architectural Precast Concrete, 2nd ed., PCI, Chicago, IL.
- Pflug, J., Vangrimde, B., Verpoest, I., Bratfisch, P., Vandepitte, D., Continuously produced honeycomb cores, Proc. SAMPE 2003 , Long Beach, CA, USA, May 2003.
- Pinho, Fernando F. S - Principais Patologias em Paredes de Edifícios Antigos. REPAR 2000 - Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas. LNEC, Lisboa, Junho de 2000.
- SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia de 38 Construção Civil e Urbana) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- Santos, Andressa Pereira dos; Vieira, Sergio Vinicius Martins - Estudo de viabilidade econômica entre estrutura de concreto pré-fabricada e moldada *in loco* em edificação de grande porte. Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021.
- Santos, C. A. Pina dos; Matias, Luís – Coeficientes de Transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC, 2006, ITE 50.
- Saraiva, Filipe - Execução de Estruturas Pré-fabricadas em Betão - Instituto Superior técnico IST, Opway, Lisboa, 14 de Janeiro 2010.
- Silva , J.A Raimundo Mendes - APICER, CTCV e DEC-FCTUC - Manual de Alvenaria de Tijolo. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 2000.
- TELLES, A.A. Estudo comparativo entre métodos construtivos de concreto moldado im loco e concreto pré-fabricado, por meio da plataforma bim. 2017. 59f. Monografia de projeto final 2 – Faculdade de tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- Valério, Jorge Gustavo Marques Alface Pereira - Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes, IST - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.
- Van Acker, Arnold - The Design of Precast Concrete Structures, Consolis Technology, Belgium, 2003.