



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI – UNIVATES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PRÉ-FABRICADO EM  
CONCRETO ARMADO PARA VEDAÇÃO, COM NÚCLEO  
COMPOSTO POR MATERIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

Luise Lourensini

Lajeado, dezembro de 2017

Luise Lourensini

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PRÉ-FABRICADO EM  
CONCRETO ARMADO PARA VEDAÇÃO, COM NÚCLEO  
COMPOSTO POR MATERIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

Trabalho de Conclusão de Curso II (TCCII),  
apresentado no Centro de Ciências Exatas e  
Tecnológicas, da Universidade do Vale do Taquari -  
Univates, como requisito parcial para obtenção do  
grau de bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Rodrigo Spinelli

Lajeado, dezembro de 2017

Luise Lourensini

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEL PRÉ-FABRICADO EM  
CONCRETO ARMADO PARA VEDAÇÃO, COM NÚCLEO  
COMPOSTO POR MATERIAL PARA ISOLAMENTO TÉRMICO**

A Banca examinadora abaixo aprovou a Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Etapa II, da Universidade do Vale do Taquari – Univates, como parte da exigência para a obtenção do grau de bacharela em Engenharia Civil:

Prof. Me. Rodrigo Spinelli – Orientador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Me. Vagner Gonçalves Wojcickoski - Avaliador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Prof. Me. Marcelo Freitas Ferreira - Avaliador

Universidade do Vale do Taquari – Univates

Lajeado, dezembro de 2017

## RESUMO

A modernização e racionalização da matéria prima se tornaram necessárias para evitar impactos ambientais e desperdício de recursos financeiros. Portanto, as buscas por técnicas inovadoras se tornam relevantes no mercado tão competitivo da construção civil. A proposta deste estudo é o desenvolvimento de um painel pré-fabricado aliado ao conceito sanduíche, visando minorar o desperdício de materiais e o descarte de resíduos. As principais características desta técnica construtiva são redução do tempo da execução, qualidade final do elemento antes de sua aplicação na edificação e por estar aliado ao conceito sanduiche e possuir núcleo com a função de isolamento térmico, elevará as propriedades térmicas da envolvente da edificação. Por isso, o estudo tem o princípio de analisar ensaios laboratoriais e quantificar o desempenho térmico a fim de comparar o mesmo com um painel pré-fabricado de concreto. O intuito deste estudo é apresentar o painel sanduiche como uma alternativa de substituição do painel convencional, devido ao desempenho térmico promovido pelo núcleo isolante.

**Palavras-chaves:** Painéis pré-fabricados; Isolamento térmico; Racionalização; Painel sanduíche; Desempenho térmico.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Traços de concreto .....	59
Tabela 2 – Índice de Absorvidade ( $\alpha$ ), Índice de Radiação Solar (I) e horário.....	73
Tabela 3 – Resultado ensaio de compressão traços de concreto .....	74
Tabela 4 – Resultado do teste de resistência à tração na flexão dos painéis. ....	75
Tabela 5 – Resistência do painel ( $R_t$ ), Resistência Térmica Total ( $R_T$ ) e Transmitância térmica (U).....	77
Tabela 6 – Transmitância térmica (U).....	78
Tabela 7 – Configuração das seis combinações propostas .....	79
Tabela 8 – Carga térmica total (W) das seis combinações .....	79

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estacas nas fundações do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro.....	19
Figura 2 – Exemplo de estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto .....	24
Figura 3 – Dimensões de painéis para sistemas de parede (fechamento).....	25
Figura 4 – Seção do painel maciço .....	29
Figura 5 – Seção do painel alveolar.....	29
Figura 6 – Seção do painel nervurado .....	30
Figura 7 – Seção do painel sanduíche .....	30
Figura 8 – Seção do painel de parede dupla .....	31
Figura 9 – Seção do painel reticulado misto.....	31
Figura 10 – Valores de cobrimentos estipulados pela norma .....	32
Figura 11 – Classe de agressividade ambiental .....	33
Figura 12 – Classe de agressividade e qualidade do concreto.....	34
Figura 13 – Variáveis para definição da largura efetiva no caso de forças concentradas .....	36
Figura 14 – Variáveis para definição da largura efetiva no caso de momentos concentradas ..	37
Figura 15 – Valores para espessura em função do comprimento e altura do painel .....	39
Figura 16 – Tolerâncias para produção de painéis pré-moldados .....	40
Figura 17 – Modelos de conectores utilizados em painel sanduíche.....	46
Figura 18 – Valores de resistência térmica superficial interna e externa .....	48
Figura 19 – Valores de condutividade térmica dos materiais ( $\lambda$ ) .....	49
Figura 20 – Valores de condutividade térmica dos materiais ( $\lambda$ ) (Continuação da Figura 19)	50
Figura 21 – Representação dos painéis pré-fabricados .....	56
Figura 22 – Cortes A-A e B-B dos painéis pré-fabricados sanduíche.....	56
Figura 23 – Estrutura dos painéis pré-fabricados sanduíche .....	57

Figura 24 – Representação externa e interior dos painéis pré-fabricados sanduíche .....	57
Figura 25 – Placas de EPS e poliuretano compradas da empresa Termobras .....	58
Figura 26 – Corpos de prova de um traço de concreto .....	60
Figura 27 – Tela Q138 Gerdau .....	60
Figura 28 – Formas de compensado naval .....	61
Figura 29 – Moldagem painel maciço .....	62
Figura 30 – Moldagem painel EPS .....	63
Figura 31 – Moldagem painel poliuretano .....	63
Figura 32 – Ensaio de resistência à tração na flexão .....	64
Figura 33 – Representação da estrutura para realização do ensaio .....	65
Figura 34 – Ruptura fora do terço médio .....	66
Figura 35 – Planta baixa da edificação .....	70
Figura 36 – Corte AA da edificação .....	71
Figura 37 – Corte BB da edificação .....	71

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comparação da resistência à tração na flexão dos painéis .....	76
Gráfico 2 – Comparação da Transmitância térmica (U) dos painéis.....	77
Gráfico 3 – Porcentagem de carga térmica em cada combinação .....	80
Gráfico 4 – Comparação da carga térmica total parede Norte .....	81
Gráfico 5 – Comparação da carga térmica total parede Sul .....	81
Gráfico 6 – Comparação da carga térmica total parede Leste .....	82
Gráfico 7 – Comparação da carga térmica total parede Oeste .....	82
Gráfico 8 – Comparação da carga térmica total cobertura .....	82
Gráfico 9 – Comparação da Carga Térmica Total das combinações .....	83



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

°C	Graus célsius
$\lambda$	Condutividade térmica
c	Calor específico
ABCI	Associação Brasileira da Construção Industrializada
Abrainc	Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias
ARI	Alta resistência inicial
BNH	Banco Nacional da Habitação
CA	Concreto armado
CAA	Classes de agressividade ambiental
cm	Centímetros
CP	Cimento Portland
EPS	Poliestireno Expandido
Kg	Quilogramas
KN	QuiloNewton
LATEC	Laboratório de Tecnologias da Construção

min	Minutos
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
N	Newton
NBR	Norma Brasileira
°	Graus
PCI	Instituto de Concreto Pré-moldado
$R_{se}$	Resistência superficial externa
$R_{si}$	Resistência superficial interna
$R_T$	Resistência térmica total
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
$\alpha$	Absorvidade
$\rho$	Coefficientes de refletividade

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 Objetivos.....	14
1.2 Objetivos específicos.....	14
1.3 Justificativa .....	15
1.4 Estrutura .....	15
1.5 Delimitações do presente trabalho .....	16
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>17</b>
2.1 História dos pré-fabricados de concreto no Brasil e no mundo .....	17
2.2 Pré-fabricados de concreto, racionalização e produtividade .....	20
2.3 Painéis pré-fabricados de concreto .....	22
2.3.1 Generalidades dos painéis pré-fabricados.....	22
2.3.2 Requisitos exigidos por norma .....	28
2.3.2.1 Classificação e requisitos gerais .....	28
2.3.2.2 Dimensionamento dos painéis .....	35
2.3.2.3 Premissas de dimensionamento de painéis não estruturais .....	38
2.3.2.4 Métodos de produção .....	40
2.4 Painel sanduíche .....	43
2.4.1 Painel sanduíche, vantagens e desvantagens.....	44
2.4.2 Tipos de painéis.....	45
2.5 Conforto e desempenho térmico.....	47
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>53</b>
3.1 Tipo de pesquisa .....	54
3.2 Painéis pré-fabricados.....	54
3.2.1 Localização .....	54
3.2.2 Estruturas dos painéis pré-fabricados.....	55
3.2.3 Execução dos painéis pré-fabricados .....	58
3.2.4 Ensaio de resistência à tração na flexão .....	64
3.2.5 Cálculo da transmitância .....	67
3.3 Análise de desempenho térmico de uma edificação industrial .....	69
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>74</b>
4.1 Traço de concreto .....	74

<b>4.2 Resistência à tração na flexão dos painéis .....</b>	<b>75</b>
<b>4.3 Transmitância térmica .....</b>	<b>77</b>
<b>4.4 Carga térmica .....</b>	<b>78</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O ser humano busca incessantemente novas conquistas, avanços tecnológicos e científicos, em toda a sua prepotência busca até a “imortalidade”, com a técnica de criogenia. Fantástico, inovador e surpreendente são adjetivos que lhe cabem se a referência for direcionada a tais fatos, porém ações inconsequentes referentes ao meio ambiente o tiram de tal patamar.

A extração sem limites, o uso abusivo de recursos naturais, poluição do ar, da água, sonora, desmatamentos, entre tantas outras ações fazem com que o homem seja o responsável pela situação em que o planeta se encontra.

No Brasil, ações inconsequentes referentes ao meio ambiente vêm acompanhadas de um cenário político deplorável tendo como consequência crise política e econômica que atinge vários setores, principalmente o da construção civil.

A construção civil, no Brasil, teve um período em elevação, quando inúmeras construções foram direcionadas a Copa do Mundo e as Olimpíadas. O programa Minha Casa Minha Vida, foi fator decisivo para elevar índices nesse setor, porém o que se verifica agora é uma queda significativa, pois a crise política e econômica do país, onde grandes empresas estão sendo investigadas por corrupção, acarretam na queda de investimentos nesse setor (SANTOS JR.; GAFFNEY; RIBEIRO, 2015).

Existe sim, no setor, um grande potencial para reaquecer a economia do país, o próprio governo apresentou a alguns meses medidas no programa Minha Casa Minha Vida que, segundo o presidente da Associação Brasileira de Incorporadoras Imobiliárias (Abrainc),

Rubens Menin, visam contratar 610 mil novas moradias neste ano, movimentando assim toda a cadeia da construção civil e gerando empregos (BRASIL, 2017).

Por ser um país em desenvolvimento, o Brasil apresenta problemas em vários setores, e na construção civil não é diferente. A mão de obra desqualificada vem pareada com desperdício de material no quesito relevante a melhoria e avanço na construção civil. A extração de matéria prima sem controle, poluição por descarte de materiais em locais impróprios acarretam em um desperdício de recursos financeiros, pois há necessidade de maiores investimentos para suprir carências e ou reverter danos ambientais, quando possível.

Soluções para alavancar a melhoria e crescimento nesse setor devem ser priorizadas a fim de obter resultados desejáveis. Mão de obra qualificada é o abre alas de um desfile que se integra a um cenário visado não apenas em avanços como também em ações preventivas, que priorizem a preservação do meio ambiente. Diante disso se faz necessário a racionalização da construção, reaproveitando os materiais e evitando o seu desperdício. O gerenciamento de recursos disponíveis é importante para que tudo seja integrado e os objetivos atingidos.

Diante da necessidade de que essas medidas sejam aplicadas, o pré-fabricado<sup>1</sup> de concreto supre as carências do setor da construção civil por ser uma obra organizada, por ter um controle de matéria prima e de qualidade em todas as etapas, desde a fabricação dos elementos na fábrica até a montagem destes na obra. A redução no tempo de construção e a mão de obra qualificada são pontos que disparam os índices quando aplicados aos benefícios do uso de pré-fabricado de concreto.

Um dos itens pré-fabricados com vasto campo de aplicação no setor e muito pouco explorado é o painel utilizado na execução de vedações de fachadas e paredes internas de edificações sejam elas do tipo industrial, comercial ou residencial.

Atualmente no Brasil, assim como os demais itens pré-fabricados, os painéis têm sido utilizados, em grande parte, na execução de fachadas de prédios industriais. Esta aplicação agiliza a produtividade no processo de construção, agrega valor comercial ao empreendimento e reduz consideravelmente os custos da edificação (ALMEIDA, 2010).

---

<sup>1</sup> “Fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra” (REVEL, *apud* SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005, p. 3).

Assim como os pré-fabricados, outro item que vem aumentando seu uso são os painéis do tipo sanduíche, que são capazes de conciliar eficiência estrutural com um peso próprio reduzido, e também são capazes de obter excelente desempenho térmico e acústico (FONSÊCA, 1994).

Sabe-se que, as pesquisas referentes aos painéis do tipo sanduíche aliados ao sistema pré-fabricado, ainda são muito limitadas, principalmente levando-se em conta as informações desta técnica no âmbito nacional, porém levando-se em consideração o vasto campo de aplicação destes painéis é necessário que novas pesquisas sejam feitas a fim de contribuir ainda mais com este sistema construtivo que muito pode contribuir ao setor da construção civil.

## **1.1 Objetivos**

Este trabalho tem como objetivo o estudo de painéis pré-fabricados para serem aplicados na vedação de fachadas e paredes internas de edificações, sejam elas industriais, comerciais e residenciais, visando eficiência energética. Aliado aos painéis pré-fabricados, também serão abordados os painéis do tipo sanduíche aplicados nas edificações. Serão abordados alguns conceitos e desempenhos de ambos os tipos de painéis.

## **1.2 Objetivos específicos**

- Desenvolvimento de um painel pré-fabricado de concreto aplicando a metodologia dos painéis do tipo sanduíche para aplicação do mesmo em vedações de edificações industriais, comerciais e residenciais;
- Análise de desempenho térmico do painel desenvolvido a partir de cálculos estipulados por normas;
- Comparação da resistência à aplicação de carga entre o painel desenvolvido e um painel pré-fabricado de vedação disponível no mercado.

### **1.3 Justificativa**

Diante do cenário atual mundial onde existe a preocupação com a extração exagerada de recursos naturais, torna-se evidente a necessidade de se reconsiderar conceitos qualificando ainda mais os setores. Na construção civil a necessidade de racionalização de materiais e recursos financeiros, bem como a qualificação da mão-de-obra e dos processos construtivos tornam-se ainda mais necessários para que o setor atenda as exigências do cenário atual. Justifica-se assim o desenvolvimento do presente trabalho que envolve itens industrializados que contribuem para a racionalização de materiais e qualidade dos elementos bem como a utilização de sistemas que auxiliam no desempenho térmico das edificações.

### **1.4 Estrutura**

Este trabalho tem seu segundo capítulo formado pelo referencial teórico. Este por sua vez inicia abordando a história dos elementos pré-fabricados no Brasil e no mundo, expondo um pouco de sua aplicação ao longo dos anos.

Posteriormente são abordados os aspectos de racionalização e produtividade oferecidos pelo sistema pré-fabricado.

Dando seguimento ao referencial teórico, são abordadas as generalidades dos painéis pré-fabricados, que abrangem suas aplicações, métodos construtivos, vantagens, desvantagens, elementos de fixação, juntas entre elementos e desempenho.

Na sequência o texto é direcionado aos requisitos exigidos por norma para os painéis pré-fabricados de concreto. Esta etapa aborda premissas de classificação e requisitos gerais, dimensionamento e métodos de produção.

A seguir o texto aborda o sistema de painéis sanduíche, sua aplicação, composição da estrutura, vantagens, desvantagens e modelos.

Por fim o referencial aborda o conforto e desempenho térmico. Nesta etapa destaca-se a resistência térmica superficial e a condutividade térmica dos materiais que são elementos



utilizados no cálculo da transmitância térmica que é um dos itens avaliados nos painéis desenvolvidos no presente trabalho.

A metodologia é apresentada no capítulo três onde são definidos os métodos e projetos adotados no trabalho para desenvolvimento dos painéis e conseqüentemente para atingir os objetivos propostos.

No capítulo quatro é exposta a análise e discussão dos resultados onde são expostos os dados obtidos no teste de carga realizado em laboratório e a análise de desempenho térmico.

Por fim no capítulo cinco são apresentadas as considerações finais que abrangem conclusões sobre o presente estudo e os resultados obtidos no capítulo anterior.

### **1.5 Delimitações do presente trabalho**

O presente trabalho tem como tema a aplicação do sistema sanduíche nos painéis pré-fabricados de concreto utilizados em vedação de edificações industriais, comerciais e residenciais.

O estudo tem a finalidade de comparar o desempenho térmico entre os painéis maciços de concreto pré-fabricados e os desenvolvidos neste trabalho que utilizam o conceito sanduíche com núcleo isolante de EPS e poliuretano.

Também foi realizado um teste de carga nos painéis para comparar a resistência de tração na flexão entre os mesmos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 História dos pré-fabricados de concreto no Brasil e no mundo

Um dos conceitos que podemos utilizar sobre industrialização é o que a define como um processo capaz de modernizar os métodos de produção de determinada sociedade. Este processo de modernização sempre vem acompanhado da inclusão de novas tecnologias e contribui para o desenvolvimento econômico (GASPARETTO JUNIOR, [201?]).

Na construção civil pré-fabricação têm o seguinte significado: “fabricação de certo elemento antes do seu posicionamento final na obra” (REVEL, *apud* SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005, p. 3).

Revel *apud* Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) menciona que o sistema de pré-fabricação é aplicado a elementos fabricados em indústrias, onde os materiais utilizados são rigorosamente selecionados, fabricados e em seguida as peças prontas são transportadas à obra onde ocorrerá a montagem da edificação.

Em uma pesquisa, Vasconcellos (*apud* SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005) constatou que a data inicial da pré-moldagem não pode ser exata uma vez que o nascimento do concreto armado ocorreu a partir de elementos produzidos fora de seu local de instalação. Para o autor pode-se concluir que os elementos pré-fabricados surgiram com o nascimento da técnica de concreto armado.

Para Ordonéz (*apud* SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005) a história da pré-fabricação na construção civil e a sua utilização mais intensa em concreto ocorreu após a

Segunda Guerra Mundial principalmente da Europa devido a destruição causada pela guerra. Neste período a necessidade de se construir diversos edifícios, tanto habitacionais quanto escolares, hospitais, industriais, pontes e outros era inevitável. Sendo assim, a velocidade de construção e a racionalização das etapas de construção dos pré-fabricados foram fatores determinantes para sua utilização.

A utilização do concreto pré-fabricado pode ser dividida em três períodos:

- 1º Período de 1950 a 1970: Após a Segunda Guerra Mundial, quando existiu a necessidade de reconstruir em caráter de urgência edificações industriais, habitacionais, de moradia e hospitais houve a urgência de se construir com pré-fabricados adotando-se conceitos dos setores da indústria com o uso de peças iguais produzindo itens em série destes elementos (SALLAS, *apud* SENDEN, 2015).

- 2º Período de 1970 a 1980: Período de rejeição do sistema pré-fabricado. Isso aconteceu após diversos acidentes em edifícios que utilizavam grandes painéis pré-fabricados. Nesse período ocorreu revisão nos conceitos dos métodos construtivos de grandes elementos (SALLAS, *apud* SENDEN, 2015).

- 3º Período pós 1980: A construção pré-fabricada começa a se consolidar. A criação de técnicas e tecnologias aliadas ao processo de fabricação auxiliam o setor. Empresas se unem para padronização dos elementos garantindo que elementos de diferentes fabricantes sejam compatíveis entre si (SALLAS, *apud* SENDEN, 2015).

Elliot (*apud* SENDEN, 2015, p. 4) menciona que “atualmente vivemos em um sistema flexibilizado onde não mais os elementos são padronizados, mas os projetos possuem flexibilidade para adequar as necessidades arquitetônicas de projeto”.

O Brasil, ao contrário da Europa, não sofreu devastações pós-guerras, não havendo necessidade de executar em larga escala e de forma rápida diversos tipos de obras. Vasconcelos (*apud* SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, 2005) ressalta que o primeiro uso de elementos pré-fabricados no país, foi na construção do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro. Christiani-Nielsen, empresa do setor civil, de origem dinamarquesa e com filial no Brasil, foi responsável pelo empreendimento em 1926, aplicando diversos elementos pré-fabricados, dentre eles, as estacas nas fundações e as cercas no perímetro do espaço destinado

ao hipódromo. Nesta obra, o canteiro de pré-fabricação precisou ser detalhadamente planejado para não prolongar em excesso o tempo de construção.

Figura 1 – Estacas nas fundações do hipódromo da Gávea, no Rio de Janeiro



Fonte: Emilia Machado (*apud* LEONARDI, 2016, texto digital).

Senden (2015) menciona que em 1961 a utilização de pré-fabricados se deu principalmente em obras públicas que foram realizadas pela Construtora Marna do Paraná.

Pesquisas da Associação Brasileira da Construção Industrializada (ABCI) (*apud* SERRA; FERREIRA; PIGOZZO, (2005, p. 6) mencionam que, a racionalização e a industrialização só começaram a ter importância no início dos anos 60. A pesquisa também caracteriza as experiências anteriores como “eventos atípicos e sem continuidade”.

Serra, Ferreira e Pigozzo (2005) mencionam ainda que, nos anos 50, o aumento da população atingiu índices elevados, o que gerou um déficit habitacional no país. Dessa forma, foi criado o Banco Nacional da Habitação (BNH) a fim de incentivar o setor da construção civil.

Segundo a ABCI (*apud* OLIVEIRA, 2002) não existiu no Brasil uma política de desenvolvimento tecnológico para o setor da construção industrializada. A utilização de elementos pré-fabricados até o início da década de noventa se deu a partir da movimentação dos empresários que procuravam diminuir os custos e o tempo na realização de seus negócios.

Na segunda metade da década de 70, o banco BNH adotou novas diretrizes para o setor, reorientando sua atuação para o atendimento das camadas de menor poder aquisitivo passando a estimular, ainda que timidamente, a introdução de novas tecnologias, como a construção com elementos pré-fabricados de concreto (SERRA, FERREIRA; PIGOZZO, 2005, p. 6).

Uma pesquisa realizada por Albuquerque e El Debs (2005), de metodologia similar à aplicada nos Estados Unidos, com participação de fabricantes e projetistas de estruturas cujo principal objetivo era colher informações sobre a utilização dos pré-moldados em edifícios de distintos pavimentos no Brasil, mostrou que, em média, 70% das obras que utilizam o conceito de pré-moldados são concebidas para a utilização do sistema de estruturas moldadas in loco, sendo posteriormente adaptadas para uso do sistema pré-fabricado.

## **2.2 Pré-fabricados de concreto, racionalização e produtividade**

Os pré-fabricados na construção civil fazem parte do setor de itens industrializados que surgiram para racionalizar os materiais utilizados e tornar o processo construtivo mais produtivo aumentando assim sua qualidade final e maximizando os lucros.

A construção civil evoluiu muito nos últimos anos e a produção racionalizada com qualidade se tornou vital entre as empresas que atuam no competitivo mercado mundial. Hoje o consumidor consciente de seus direitos e preocupado com as questões ambientais faz com que as empresas passem por rigorosas adaptações a fim de atender estas exigências.

Trigo (*apud* BRUMATTI, 2008, p. 14) menciona que “a racionalização pressupõe a organização, a planificação, a verificação e as técnicas adequadas à melhoria da qualidade e ao acréscimo de produtividade”.

Rosso (*apud* BRUMATTI, 2008, p. 14) complementa a ideia, afirmando que “agir contra os desperdícios de materiais e mão-de-obra e utilizar mais eficientemente o capital” são passos importantes para que se possa racionalizar a construção civil. O autor ainda menciona

que, “isso se faz por meio da aplicação de princípios de planejamento e gerenciamento, com objetivo de eliminar a casualidade das decisões”.

Racionalização é um processo capaz de aperfeiçoar o uso dos recursos, sejam eles, humanos, de materiais, organizacionais, tecnológicos e financeiros. Desta forma é possível atingir objetivos pré-determinados nos índices de desenvolvimento de cada país de acordo com sua realidade socioeconômica (SABBATINI, *apud* BRUMATTI, 2008).

Brumatti (2008) acredita que diante destas definições, é importante que a racionalização esteja presente em todas as etapas, desde as fases iniciais até a sua conclusão.

Brumatti (2008, p. 14) declara que a racionalização construtiva se define pela “introdução de alterações que têm por objetivo um melhor aproveitamento dos recursos disponíveis em todas as fases dos empreendimentos, sem uma mudança radical na base tecnológica”. O autor também acredita que embora clara esta definição torna difícil estipular categorias de racionalização do sistema.

Ainda segundo Brumatti (2008, p. 15) “o efeito aprendizagem, efeito continuidade e efeito concentração elevam consideravelmente a produtividade da mão-de-obra de um serviço”. Com isto o autor sugere que quanto mais repetitivo for o trabalho e menor o número de pausas entre os ciclos, mais experiência será adquirida pela mão-de-obra melhorando assim o desempenho da mesma.

Não basta que o canteiro seja repetitivo, há necessidade de que os operários desloquem-se sem interrupção de uma tarefa para outra; ainda mais, dentro da própria tarefa, não pode haver paradas devido à falta de materiais, falta de detalhamento construtivo, interferência com outras tarefas, desbalanceamento e falta de elementos na equipe de trabalho, ou ingerência de causas naturais como chuvas, etc. (HEINECK *apud* BRUMATTI, 2008, p. 15).

Diante do que foi exposto acima, podemos dizer que os pré-moldados atendem em todos os aspectos os conceitos de racionalização e produtividade, tornando-se assim um instrumento de melhoria no setor da construção civil.

## 2.3 Painéis pré-fabricados de concreto

### 2.3.1 Generalidades dos painéis pré-fabricados

Os painéis pré-fabricados de concreto tiveram suas primeiras aplicações no Brasil, no início dos anos 70, porém sua popularização só aconteceu nos últimos 10 anos. Este tipo de sistema permite que as especificações de cada projeto arquitetônico se unam à praticidade e tecnologia oferecida por ele (CIOCCHI, 2003).

Para Silva (2009) o sistema tem ganhado cada vez mais espaço no setor pois são economicamente viáveis por reduzirem os custos provenientes do desperdício de materiais, muito comum no sistema convencional, bem como por reduzir a quantidade de mão-de-obra no canteiro. O sistema também atende os cronogramas cada vez mais exigentes hoje em dia, respeitando a liberdade dos projetos arquitetônicos e trazendo soluções rápidas aos projetos complementares como o projeto elétrico e o projeto hidráulico.

Há autores que descrevem que, o uso de painéis pré-fabricados é mais caro se comparado ao sistema tradicional. Engenheiro civil, Fábio Martins Garcia (*apud* CIOCCHI, 2003, texto digital) menciona que, “os painéis são caros porque existem muitos tipos de fôrmas e uma baixa repetição dos modelos”. Mas há também quem defenda o uso dos mesmos e ainda acredite que a diversidade dos painéis como a disponibilidade de cores, texturas, modulação e dimensões agregue ainda mais para a utilização dos mesmos. Para o arquiteto Geraldo Serra (*apud* CIOCCHI, 2003, texto digital) “antes os pré-fabricados tinham uma repetição exaustiva de uma tipologia construtiva. A fabricação está cada vez menos associada a valores como produção seriada, uniformidade e monotonia”

Ciocchi (2003) cita que, os elementos são produzidos a partir das dimensões solicitadas pelo projeto, tornando possível a personalização dos mesmos com o uso de peças mais esbeltas de diferentes formas, assim é possível saber o custo, prazo e qualidade final do empreendimento antes mesmo das peças chegarem ao canteiro para serem montadas.

Claro que o uso de peças padrões sem muitos detalhes para serem aplicadas em diversos locais da obra favorece o custo do painel por reduzir os gastos com formas para produção dos mesmos, mas deve-se salientar que hoje em dia o conceito de que elementos

pré-fabricados ser associado somente a obras sem padrão arquitetônico elaborado, destinados a galpões ou estruturas industriais não é mais válido (LOURENSINI, 2016).

Outro fator que deve ser considerado é a segurança que o sistema oferece em relação aos funcionários no canteiro de obra. A instalação dos painéis é feita por pessoas treinadas, geralmente, da própria empresa fabricante, com o auxílio de equipamentos especiais para a função, é o caso dos guindastes utilizados no içamento das peças. Estes fatores contribuem para a redução de mão-de-obra sem treinamento no canteiro diminuindo assim os riscos de acidentes na etapa de construção do empreendimento (LOURENSINI, 2016).

A utilização dos painéis pré-fabricados deve ser pensada desde o início do projeto afim de se aproveitar ao máximo o potencial oferecido pelo sistema. Deve-se avaliar o sistema estrutural a ser utilizado, bem como a modulação das peças e as ligações entre os painéis e a estrutura que será adotada (SILVA, 2009).

Acker (2002) descreve que, os painéis em si podem ser do tipo estrutural ou somente de vedação. As fachadas formadas por painel estrutural possuem função dupla, decorativa e estrutural. Elas devem suportar todas as cargas provenientes dos pavimentos e dos painéis superiores. Esse sistema é economicamente viável uma vez que é dispensável o uso de estrutura constituída por pilares e vigas. Além disso a construção fica protegida internamente desde o início da obra.

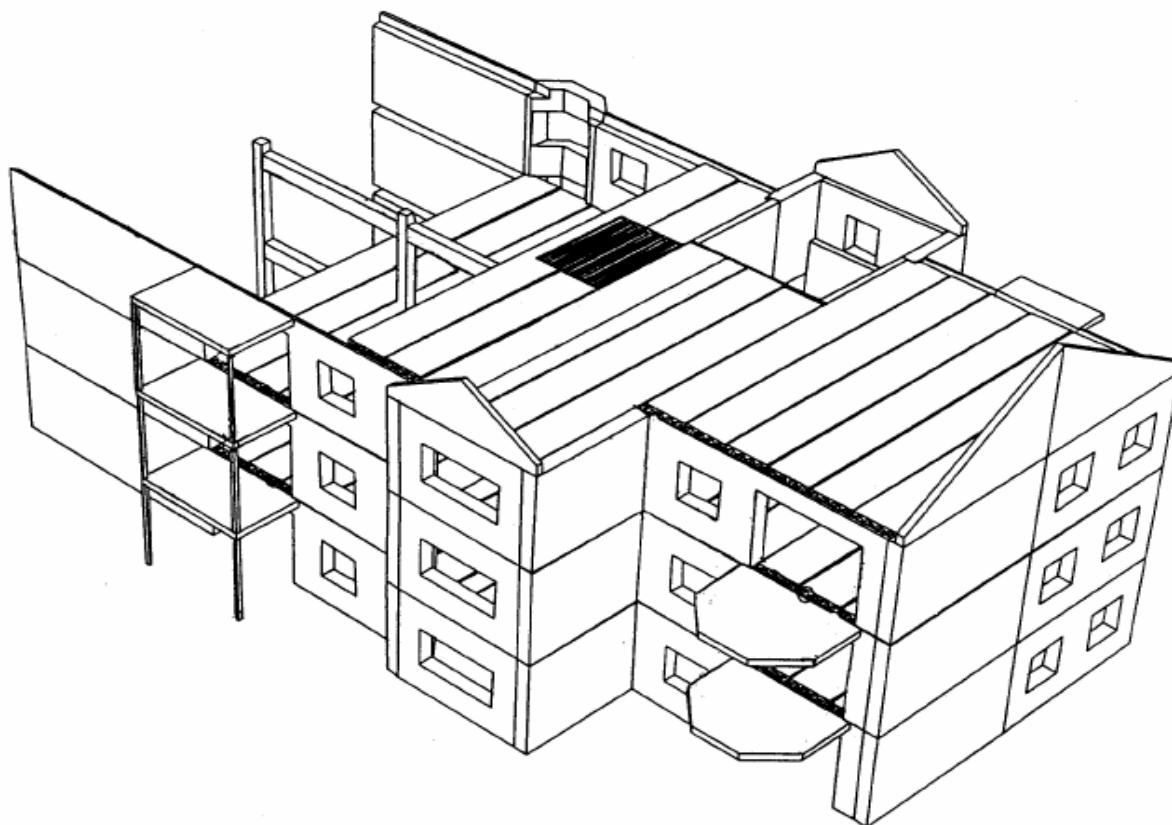
Os painéis estruturais possuem basicamente dois tipos de armadura: simples e centralizada ou dupla, conforme projeto estrutural elaborado para cada empreendimento. O cobrimento de concreto das armaduras é garantido pelo posicionamento de espaçadores plásticos nas telas. No caso de painéis com duas telas, o espaçamento entre as telas é garantido com o uso de separador tipo “caranguejo” em aço. A resistência mínima do concreto, na desenforma, é de 8 MPa. Após desenforma os painéis são transportados e armazenados para serem curados (aspersão de água) por um período mínimo de 48 horas. Após esse prazo os painéis estão liberados para serem montados em seus locais definitivos (SILVA, 2011, texto digital).

De acordo com Simão (2014) os painéis usados para fechamentos ou acabamentos não tem função estrutural e desta forma precisam ser apoiados em uma estrutura composta por vigas e pilares, geralmente de concreto pré-fabricado, mas que também pode ser de concreto moldado no local ou em estruturas metálicas. Estes painéis são elementos maciços de concreto, cuja espessura pode variar de 8,0 a 15,0cm, com modulação de até 15,0m (distância entre eixos de pilares). Segundo a empresa, dependendo de sua espessura, os painéis podem conter armadura central, periférica nas bordas do painel e em volta das aberturas das portas e



janelas. As armaduras devem ser posicionadas de modo que suportem os esforços provenientes da ação do vento, peso próprio, transporte e manuseio ou de elementos estruturais apoiados nos mesmos, como terças de cobertura.

Figura 2 – Exemplo de estrutura de painéis combinada com estrutura em esqueleto



Fonte: Acker (2002, p. 13).

As dimensões dos painéis variam de acordo com sua aplicação e solicitações feitas por normas. A espessura depende dos requisitos para atender o desempenho de estabilidade estrutural, térmico, acústico e de resistência ao fogo. O comprimento por sua vez é definido pelas dimensões exigidas em projeto, mas o projetista deve levar em consideração os equipamentos para produção, a questão de transporte entre a fábrica e o canteiro de obras e os equipamentos para montagem dos painéis no empreendimento (ACKER, 2002).

Acker (2002) fornece no Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto uma tabela contendo as dimensões mais comuns para os painéis. Estes valores são apresentados na tabela a seguir:

Figura 3 – Dimensões de painéis para sistemas de parede (fechamento)

Aplicação	Espessura (mm)	Comprimento máximo (m)	Altura (m)
Painéis estruturais: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ com lajes armadas em duas direções</li> <li>▪ com lajes armadas em uma direção</li> </ul>	180 – 240 150 – 200	6.00 – 14.00	3.00 – 4.50
Painéis não-estruturais:	80 – 150 (180)	6.00 – 14.00	3.00 – 3.30
Poços de elevador e de escada:	180 – 200	6.00 – 14.00	3.00 – 4.00

Fonte: Acker (2002, p. 97).

Deve-se tomar cuidado durante a concepção da edificação para que a estrutura seja modular para que a fachada receba o maior número possível de painéis com o mesmo padrão construtivo. A utilização de detalhes arquitetônicos especiais não está descartada, porém deve-se tomar cuidado para que as peças atendam aos requisitos de modelagem do concreto (CORSINI, 2011).

Corsini (2011) menciona que, projeto também deve prever a compatibilidade de todos os elementos como por exemplo entre os painéis e a estrutura. Isso deve ser analisado pois quando trabalhamos com uma estrutura convencional a mesma não está preparada para receber os painéis, portanto é necessário que alguns ajustes sejam feitos indicando, por exemplo, aberturas para caixilhos e portas e insertos de apoio e ligação. Quando a estrutura também é pré-fabricada estes itens devem estar previstos em projeto diminuindo assim o risco de erros e atrasos na montagem dos elementos da estrutura.

Outro item mencionado por Acker (2002) as ligações entre elementos pré-moldados são um dos tópicos mais importantes no sistema. Elas devem suportar todas as forças atuantes bem como as ações indiretas resultantes da retração, fluência, movimentos térmicos, fogo, etc.

As fixações têm um papel muito importante no que diz respeito aos painéis pré-fabricados, pois são responsáveis pela interação painel-estrutura. São elas as responsáveis por garantir a segurança do painel na estrutura do empreendimento (OLIVEIRA, 2002).

Conforme Oliveira (2002, p. 34) “o propósito das fixações é transferir as cargas provenientes do painel para a estrutura-suporte, promovendo a estabilidade do conjunto, e absorver certas movimentações diferenciais entre painel e estrutura”.

Para tanto se deve levar em consideração na fase de projeto das fixações uma variedade de requisitos que garantam o que foi acima exposto. Acker (2002) lista, no Manual de Sistemas Pré-Fabricados de Concreto, os principais critérios de projeto que são a resistência, a influência proveniente de mudanças de volume, os movimentos, a ductilidade e a durabilidade.

É importante lembrar-se durante o projeto das tolerâncias dimensionais entre os elementos para evitar problemas durante a montagem da estrutura. Se necessário devem-se prever ajustes nas tolerâncias dimensionais das fixações para que possam ser realizados ajustes durante a montagem, facilitando assim o trabalho da equipe de montagem e o aproveitamento de todas as peças (ACKER, 2002).

Temoche-Esquivel *et al.* (2006) menciona que os dispositivos de fixação na maioria das vezes são metálicos. Estes por sua vez podem ser de aço carbono revestidos a partir de galvanização ou zincagem, aço patinável ou aço de baixa liga sem tratamento térmico ou de aço inoxidável com baixo teor de carbono que possuem boa resistência à corrosão. Estes dispositivos podem ser inseridos no painel antes ou depois da concretagem, porém a primeira opção é a mais utilizada.

O Instituto de Concreto Pré-moldado (PCI) (*apud* TEMOCHE-ESQUIVEL *et al.*, 2006) classifica as fixações em três grupos, são eles:

- Fixações de alinhamento: permitem o alinhamento das peças durante a montagem;
- Fixações de apoio vertical: suportam o peso próprio do painel;
- Fixações de apoio lateral: suportam as cargas horizontais.

A união entre os dispositivos de fixação é realizada através de parafusos ou solda. Quando esta é feita de forma aparafusada a montagem se torna mais eficiente, por ser praticamente imediata, possibilitando a liberação dos equipamentos de transporte vertical. Os ajustes entre os elementos podem ser realizados posteriormente quando se opta por ligações por parafusos (TEMOCHE-ESQUIVEL *et al.*, 2006).

Quanto a fixação soldada Oliveira (2002, p. 43) destaca que, as mesmas são eficientes e podem sofrer ajustes diante de várias situações. “O desempenho estrutural e a durabilidade

da solda dependem da habilidade da mão-de-obra e da compatibilidade entre os materiais que serão soldados”.

O PCI (*apud* OLIVEIRA, 2002, p. 43) menciona que, para que ocorra o bom desempenho da solda é necessário que algumas especificações sejam feitas em projeto. É necessário que critérios como “o tipo de solda, tamanho (dimensões), resistência, localização, tipo de eletrodo, aquecimento mínimo e, se crítico, a sequência de soldagem” sejam definidos durante o projeto.

Outro ponto são os limites formados entre os painéis pré-fabricados responsáveis pela criação de juntas que permitem as movimentações tanto dos painéis como da estrutura. Elas devem proporcionar alívio das tensões produzidas pelas variações de umidade e temperatura. As juntas devem ser o mais estanque possível. (TEMOCHE-ESQUIVEL *et al.*, 2006).

Segundo Oliveira (2002, p. 46) ao projetar as juntas deve-se levar em consideração os “requisitos de desempenho relativos à estanqueidade à água e ao ar, e à capacidade de absorver deformações sem introduzir tensões extras nos painéis”. Para isso é necessário um estudo da junta a ser utilizada bem como os materiais selantes que serão aplicados e, também é necessário definir as dimensões mínimas das juntas.

A localização das juntas é um fator que interfere diretamente na estanqueidade, na facilidade de preenchimento com o material selante escolhido e na capacidade de absorver as movimentações sem dissipar tensões. Deve-se atentar para que as juntas fiquem localizadas nas extremidades do painel. No caso de painéis com nervuras as juntas devem estar próximas das mesmas e das bordas (OLIVEIRA, 2002).

Oliveira (2002, p. 48) ainda menciona que, “deve-se, ainda, evitar juntas em superfícies inclinadas e, também, no meio da abertura de vãos, pois, nestes casos, fica difícil criar formas geométricas, tanto das juntas quanto do próprio painel”. Estes cuidados garantem que a água da chuva seja escoada para fora da face da fachada e da esquadria.

Martin (1977), Woolman (1994) e Freitas (1999) mencionam que podemos classificar o preenchimento de juntas em três categorias, conforme Oliveira (2002, p. 49):

- Juntas abertas: aquelas “cuja própria geometria e ou introdução de um dispositivo de drenagem garante a sua estanqueidade à água”;

- Juntas seladas: aquelas “preenchidas por um material selante que contribuirá com a sua estanqueidade e formará uma descontinuidade no conjunto, atenuando a dissipação de tensões para os elementos adjacentes”;

- Juntas coladas: aquelas “preenchidas com um tipo de material colante que criará uma monolitização entre os componentes, dissipando tensões para os elementos adjacentes”.

Diante da variedade de juntas é necessário prever na fase de projeto qual a junta a ser utilizada para atender todos os requisitos necessários.

Deve-se considerar enfim, para o bom desempenho dos painéis que os mesmos possuam uma série de características: planicidade, adaptação às geometrias da estrutura, resistência aos esforços atuantes, resistência térmica e acústica e leveza (CORSINI, 2011).

Para o dimensionamento dos painéis é necessário atender aos requisitos solicitados pela NBR 16475 (ABNT, 2017) Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos; NBR 6118 (ABNT, 2014) Projetos de estruturas de concreto – Procedimento; e NBR 9062 (ABNT, 2001) Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Esta última passou por revisão e foi atualizada em março deste ano, porém apenas alterações nas etapas de cálculos foram realizadas afim de atender as alterações feitas na NBR 6118 (ABNT, 2014), o restante permaneceu sem maiores alterações. Todas as especificações para dimensionamento, ligações entre elementos e tolerâncias adotadas deverão constar no projeto (CORSINI, 2011).

## **2.3.2 Requisitos exigidos por norma**

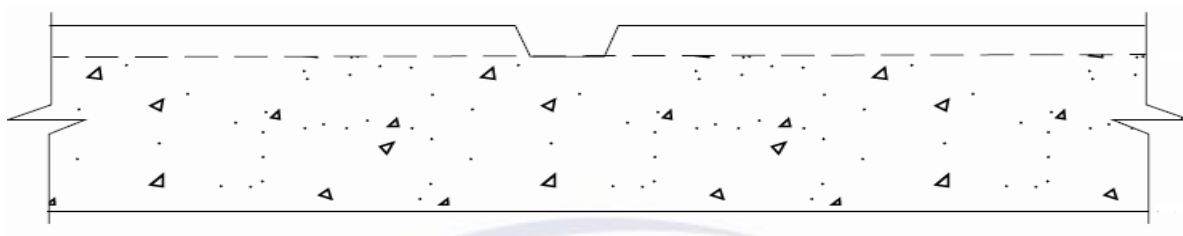
### **2.3.2.1 Classificação e requisitos gerais**

A NBR 16475 (ABNT, 2017) é responsável por estabelecer requisitos e procedimentos que devem ser atendidos no projeto, produção e montagem dos painéis de parede pré-moldados.

Segundo a referida norma, os painéis são classificados de acordo com a forma de sua seção transversal, sua aplicação, função estrutural ou função de acabamento. Quando os painéis são classificados de acordo com a seção transversal, estes podem ser maciços, alveolares, reticulados misto, sanduíche, nervurados e de placa dupla.

Para os painéis de parede maciços a NBR 16475 (ABNT, 2017) indica que os mesmos têm sua seção predominantemente retangular. Suas propriedades e geometria da seção transversal devem ser calculados levando em consideração a seção retangular líquida sem considerar os ressaltos da peça.

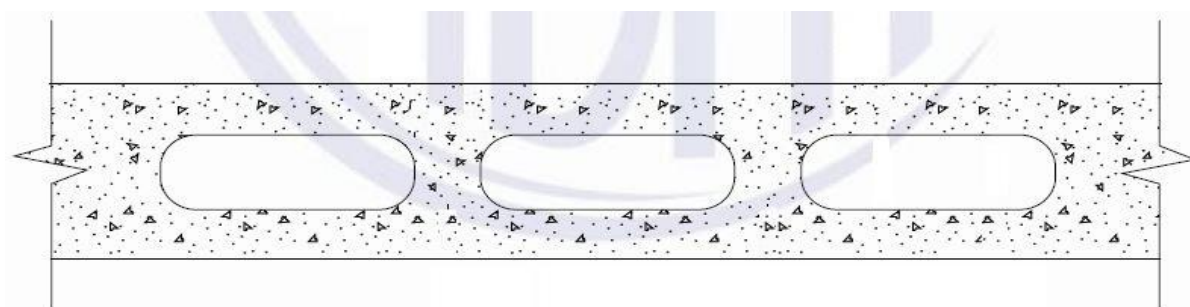
Figura 4 – Seção do painel maciço



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 5).

Quanto aos painéis com parede alveolar a geometria dos alvéolos é definida em função dos processos de fabricação adotados. Para critérios de cálculo devem-se desconsiderar os vazios deixados pelos alvéolos (NBR 16475, ABNT, 2017).

Figura 5 – Seção do painel alveolar



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 5).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) também indica que as nervuras presentes nas seções transversais dos painéis nervurados são responsáveis por aumentar a resistência e rigidez do painel.

Para cálculo da seção transversal é considerado o trecho da seção maciça do painel. As nervuras são consideradas no cálculo do coeficiente de flambagem, levando em consideração

o espaçamento entre as nervuras e altura do painel no caso dos painéis usados em paredes estruturais. No caso do painel de parede não estrutural as nervuras devem ser consideradas na determinação da espessura efetiva em função da inércia da seção (NBR 16475, ABNT, 2017).

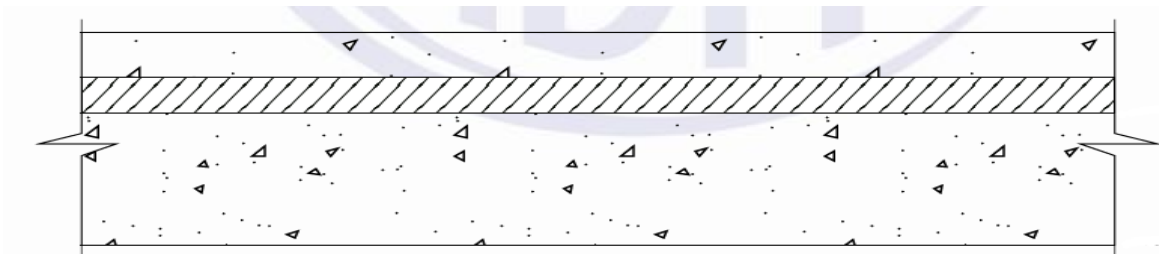
Figura 6 – Seção do painel nervurado



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 6).

Para os que utilizam o sistema sanduíche a NBR 16475 (ABNT, 2017) menciona painéis sem ligação rígida. Eles são formados pela composição de dois elementos maciços de concreto, preenchidos por material inerte entre eles. Nos cálculos de área, inércia e cobrimento deve-se considerar apenas a seção formada pelo elemento estrutural de concreto maciço desconsiderando os elementos sem finalidade estrutural.

Figura 7 – Seção do painel sanduíche



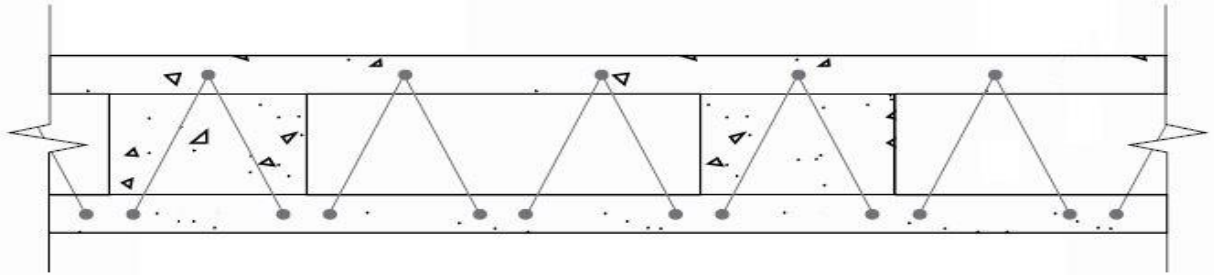
Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 6).

Outro tipo de painel descrito pela norma é o de parede dupla formado por “painéis maciços pré-moldados conectados por nervuras e/ou treliças” (NBR 16475, ABNT, 2017, p. 6).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) prevê que caso o núcleo seja preenchido por concreto estrutural o comportamento do painel será similar ao do painel maciço e deverá seguir as especificações do mesmo. Caso o preenchimento seja parcial o painel deverá atender os requisitos dos painéis alveolares não estruturais.

Quando a ligação é feita por treliças e estas auxiliarem no desempenho estrutural deve-se garantir que as mesmas sejam galvanizadas ou embebidas no concreto estrutural para atender os critérios de durabilidade (NBR 16475, ABNT, 2017).

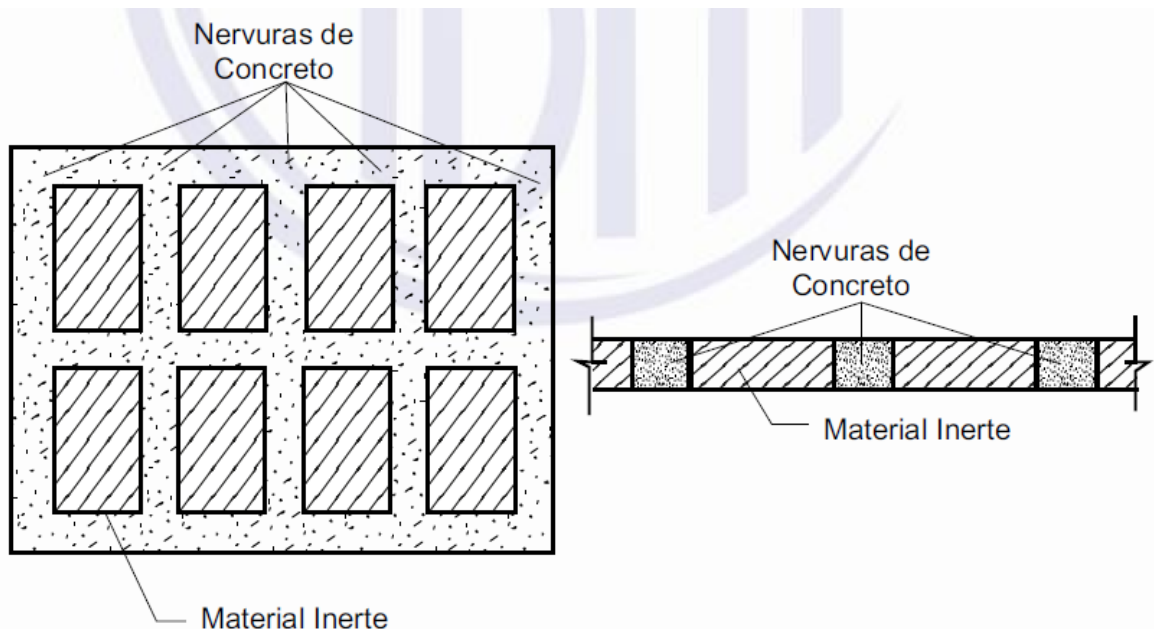
Figura 8 – Seção do painel de parede dupla



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 7).

Por fim temos os painéis reticulados mistos que são formados por nervuras de concreto armado e entre estas nervuras o preenchimento é feito por material inerte. Estes painéis devem suportar esforços provenientes da desenforma, manuseio, transporte, montagem e vento. Para fins estruturais dos painéis considera-se apenas as seções nervuradas de concreto (NBR 16475, ABNT, 2017).

Figura 9 – Seção do painel reticulado misto



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 7).

Para a NBR 16475 (ABNT, 2017) o acabamento destes painéis é definido como bruto ou arquitetônico. Os que contêm acabamento bruto necessitam de algum tipo de acabamento



como pintura ou gesso, já os arquitetônicos já possuem, em pelo menos uma das faces, algum tipo de acabamento.

Em relação ao comportamento estrutural, os painéis fazem parte da estrutura, resistindo aos esforços locais e globais, como vedação, ou comportarem-se apenas como elementos de vedação (NBR 16475, ABNT, 2017).

Para o detalhamento da armadura a NBR 16475 (ABNT, 2017) estipula que o mesmo deve atender as especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014). Já os requisitos de proteção à corrosão e cobrimentos mínimos das armaduras dos painéis estruturais devem atender aos requisitos estabelecidos na NBR 9062 (ABNT, 2001) para pilares. Para os painéis não estruturais a NBR 16475 (ABNT, 2017) permite reduzir o cobrimento em 5mm, não permitindo que este seja inferior a 15mm. Este cobrimento “corresponde a distância da face da armadura até a superfície mais próxima do elemento ou contato com elemento inerte” (NBR 16475, ABNT, 2017, p. 9).

A NBR 9062 (ABNT, 2001) define a respeito do cobrimento que, os elementos que estiverem em meios não agressivos devem atender aos valores impostos na Tabela 3 – Cobrimentos - da referida norma. Caso os elementos estejam em meio medianamente agressivo ou muito úmidos estes devem seguir os valores da tabela acrescidos de 0,5cm.

Já para meios fortemente agressivos deve-se ter 3,5cm de cobrimento, no mínimo, sendo que, se este for maior do que 6cm, é necessária a colocação de armadura de pele complementar, que garanta o cobrimento mínimo de 3,5cm (NBR 9062, ABNT, 2001).

Os valores estipulados pela NBR 9062 (ABNT, 2001) na Tabela 3 - Cobrimentos - são apresentados a seguir:

Figura 10 – Valores de cobrimentos estipulados pela norma

Tipos de elementos pré-fabricados	Localização	
	No interior de edifícios	Ao ar livre
Lajes, mesas das vias T, placas de vedação não estruturais e elementos construtivos sujeitos a cargas até 3 kN/m <sup>2</sup>	1,0	11,5
Vigas, pilares, arco, nervuras das vigas T e placas de vedação estruturais	1,5	2,0

Fonte: NBR 9062 (ABNT, 2001, p. 31).

Estes valores são definidos para elementos pré-fabricados com resistência característica “não inferior a 25 MPa e consumo mínimo de 400 Kg de cimento por metro cúbico e fator água/cimento menor ou igual a 0,45” (NBR 9062, ABNT, 2001, p. 30).

Para definição das classes de agressividades ambientais são utilizados os requisitos apresentados na Tabela 6.1 - Classes de agressividade ambiental (CAA) - da NBR 6118 (ABNT, 2014). Estes requisitos são apresentados a seguir.

Figura 11 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 17).

A NBR 6118 (ABNT, 2014) também menciona que a durabilidade das estruturas depende das características, espessura e qualidade do concreto utilizado no cobrimento. O projeto deve estabelecer os parâmetros mínimos estabelecidos para o tipo e a classe de agressividade, e na falta destes requisitos a norma referida permite o uso dos dados estipulados na Tabela 7.1 - Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto - da mesma.

Figura 12 – Classe de agressividade e qualidade do concreto

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b, c</sup>	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014, p. 18).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) também determina que alguns cuidados com ações transitórias durante o saque da forma, o estoque e a montagem sejam tomados durante a fase de projeto. A referida norma ainda cita que muitas recomendações são feitas pela NBR 9062 (ABNT, 2001).

No processo de cálculo a NBR 9062 (ABNT, 2001) prevê que se apliquem as regras e processos relacionados às estruturas moldadas no local, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014). Nas estruturas, também devem ser observados os graus de liberdade adicionais, completos ou parciais, provocados pelos elementos pré-moldados. Ademais, deve-se organizar minuciosamente a estrutura para evitar o colapso progressivo.

Segundo a NBR 9062 (ABNT, 2001) deve-se levar em consideração todos os estágios por que possam passar os elementos, a fim de prevenir condições desfavoráveis em relação ao seu uso. Os estágios que exigem cuidados são: fabricação, manuseio, armazenamento, transporte, montagem e serviço (preliminar e final).

São mencionados na NBR 16475 (ABNT, 2017) parâmetros de dimensionamentos de esforços solicitantes e cargas verticais, porém por não fazerem parte do objetivo do trabalho estes tópicos não serão abordados.

Os painéis objeto de estudo nesta pesquisa são os pré-fabricados de concreto sem finalidade estrutural, somente de vedação. Estes painéis devem levar em consideração as ações horizontais que afetam o plano do painel. Estas ações são originadas pelo vento, desaprumo e colisão de veículos (NBR 16475, ABNT, 2017).

Para as ações do vento deve-se atender a NBR 6123 (ABNT, 2013c). No caso do desaprumo é aplicado a edifícios de múltiplos andares considerando um desaprumo global através de um ângulo que é calculado a partir de uma fórmula apresentada na NBR 16475 (ABNT, 2017). Quanto à colisão de veículos a mesma pode ser desconsiderada quando a edificação utilizar dispositivos de segurança contra colisões (NBR 16475, ABNT, 2017).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) também menciona que os painéis devem atender aos requisitos estabelecidos nas normas NBR 9062 (ABNT, 2001) e NBR 15200 (ABNT, 2012) considerando ainda as combinações de ações previstas da NBR 8681 (ABNT, 2004b). A capacidade resistente deve atender ainda a NBR 15575-2 (ABNT, 2013b).

Para desenvolvimento do painel utilizado neste trabalho estas cargas não serão levadas em consideração.

### 2.3.2.2 Dimensionamento dos painéis

A NBR 16475 (ABNT, 2017) faz algumas exigências quanto às dimensões dos painéis. Segundo a referida norma a espessura efetiva dos painéis, exceto os nervurados e reticulados de concreto que seguem determinações individuais, deve ser definida em função da inércia da seção transversal. Este valor é definido pela equação a seguir:

$$t_{ef} = \sqrt[3]{\frac{12 \cdot I_g}{L}} \quad (1)$$

Onde:

L: comprimento do painel;

$I_g$ : momento de inércia da seção do painel.

Para o painel de parede estrutural esta espessura deve ser igual ou maior que 10cm. A NBR 16475 (ABNT, 2017) permite que este valor chegue a 8cm, porém para edifícios

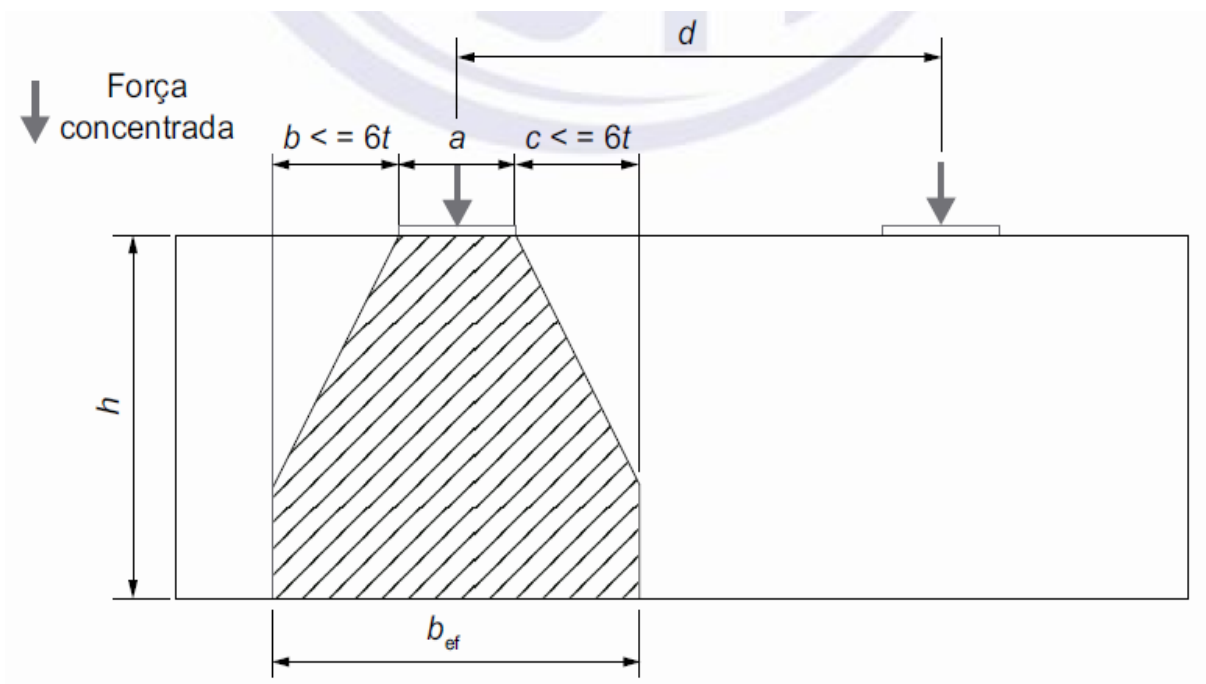
residenciais simplificados que são definidos pela norma como edifícios compostos por painéis pré-moldados estruturais de até cinco pavimentos.

Já a largura efetiva do painel, segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017) deve ser limitada pelo menor valor entre os requisitos listados a seguir.

- Para forças concentradas:

$$b_{ef} \leq \begin{cases} a + b + c \\ 0,4 \cdot h \\ d \end{cases} \quad (2)$$

Figura 13 – Variáveis para definição da largura efetiva no caso de forças concentradas

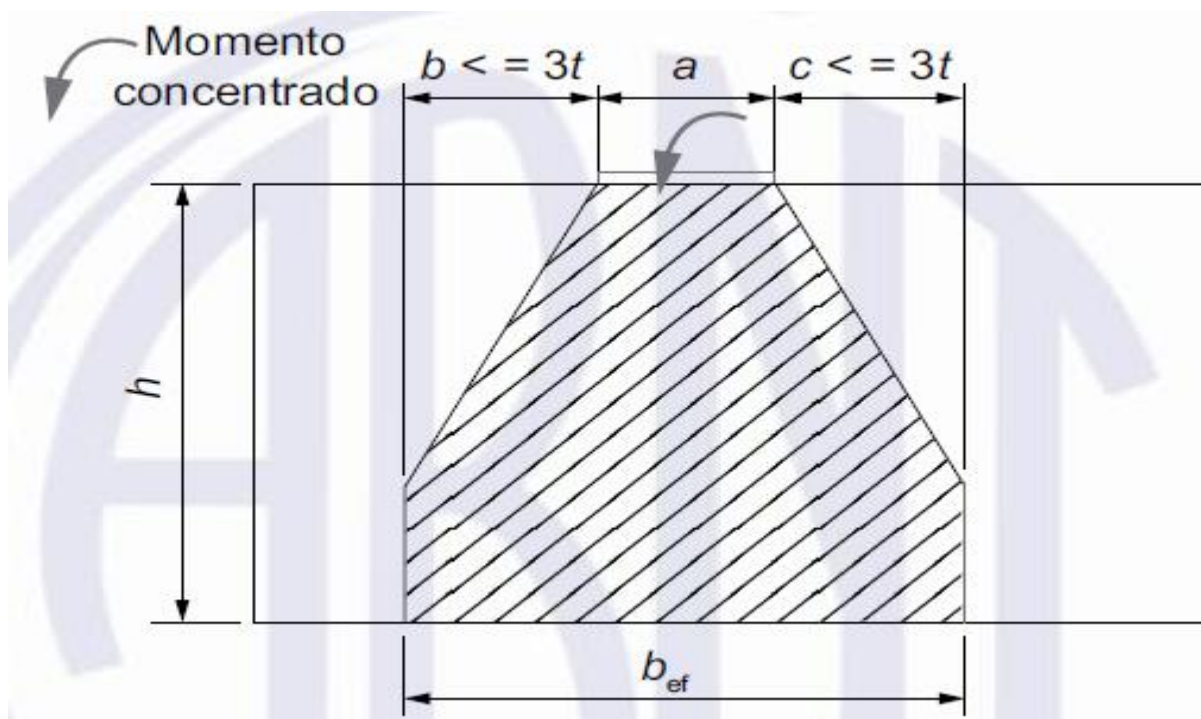


Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 18).

- Para momentos concentrados:

$$b_{ef} \leq a + b + c \quad (3)$$

Figura 14 – Variáveis para definição da largura efetiva no caso de momentos concentradas



Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 19).

O dimensionamento dos painéis também precisa abordar os limites de fissuração estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2014). Outro ponto são as tubulações de serviços que devem ser embutidas no painel apenas durante a fabricação (NBR 16475, ABNT, 2017).

As ligações em estruturas de painéis também precisam de atenção pois elas devem atender a diversos requisitos de desempenho definidos em projeto. São elas que devem transferir as forças atuantes entre os elementos possibilitando a interação dos mesmos como um sistema estrutural único (NBR 16475, ABNT, 2017).

Nos painéis de vedação, objeto de estudo deste trabalho, a NBR 16475 (ABNT, 2017) classifica as ligações quanto a função. Quando a ligação for de contraventamento estas devem possibilitar movimentações longitudinais, exceto quando o painel precisa contribuir com a rigidez global da estrutura. Quando se tratar de ligações de gravidade estas podem ou não possuir função de contraventamento simultaneamente e as ressalvas quanto as variações volumétricas e movimentações longitudinais assemelham-se as ligações de contraventamento. E por fim as ligações de alinhamento empregadas entre os painéis nas bordas que dependendo das movimentações diferenciais pode gerar inadequação visual e patologias que podem comprometer os materiais selantes usados nas juntas.

### 2.3.2.3 Premissas de dimensionamento de painéis não estruturais

Para dimensionamento dos painéis é importante estabelecer critérios que atendam aos requisitos estabelecidos pelas seções dos painéis. É importante respeitar também as dimensões mínimas estabelecidas pela norma e os esforços que atuarão nos painéis (NBR 16475, ABNT, 2017).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) menciona que as tensões solicitantes são determinadas de acordo com o contorno imposto pela estrutura pois as mesmas precisam adequar-se a possíveis deslocamentos e deformações.

Para o detalhamento da armadura a norma prevê que a mesma deve atender a ductilidade imposta pela flexão-composta do painel e pelas regiões de ancoragem. Para dimensionar as armaduras deve-se seguir as prescrições da NBR 6118 (ABNT, 2014) bem como requisitos impostos pela NBR 16475 (ABNT, 2017). É importante mencionar que para determinação da armadura mínima do painel não-estrutural não se aplicam os requisitos na NBR 6118/2014 (NBR 16475, ABNT, 2017).

A referida norma indica que a armadura do painel não-estrutural deve considerar os esforços das ações transitórias bem como as ações transversais ao plano do painel. Esta exigência só não é válida se os painéis forem apoiados uns sobre os outros, pois desta forma deve-se considerar as diretrizes dos painéis estruturais.

A NBR 16475 (ABNT, 2017) estipula na Tabela 7 – Recomendação de espessura do painel (em centímetros) em função das dimensões da superfície – valores para a espessura mínima em função do comprimento e altura do painel. Estes valores são recomendados para reduzir as deformações provenientes da fase de produção até a montagem final dos mesmos. Estes valores são apresentados a seguir.

Figura 15 – Valores para espessura em função do comprimento e altura do painel

Dimensões	Comprimento						
	m						
Altura m	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12
1,2	10	10	12,5	15	15	15	20
1,8	10	12,5	12,5	15	15	15	20
2,4	12,5	12,5	15	15	15	15	20
3,0	12,5	15	15	15	15	15	20
3,6	15	15	15	15	15	15	20

NOTA os valores apresentados na Tabela 7 podem ser alterados, desde que sejam respeitadas as tolerâncias de fabricação apresentadas em 17.6, não podendo ser inferiores aos limites definidos na Seção 10.

Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 36).

Os aços utilizados nos painéis devem atender aos requisitos das normas NBR 7480 (ABNT, 2007b) para barras e fios, NBR 7481 (ABNT, 1990) para telas soldadas e NBR 7482 (ABNT, 2008a) e NBR 7483 (ABNT, 2008b) para barras, fios e cordoalhas de aço utilizado em elementos de concreto protendido (NBR 16475, ABNT, 2017).

A seção mínima de aço das armaduras verticais e horizontais dos painéis de vedação corresponde a 0,06% da seção de concreto considerando aço CA-60. Para painéis estruturais e de vedação o espaçamento máximo permitido entre as barras é de 30cm e caso a seção de concreto seja igual ou superior a 15cm é necessária a utilização de armadura em ambas as faces do painel respeitando as seções mínimas de aço vertical e permanecendo a mesma para a seção horizontal. Para seção com espessura inferior a 15cm a norma permite a utilização de armadura simples posicionada próxima ao centro geométrico do elemento (NBR 16475, ABNT, 2017).

Por fim a NBR 16475 (ABNT, 2017) recomenda que sejam adotados valores de tolerâncias para garantir as folgas previstas em projeto. Para determinação destas tolerâncias deve-se considerar os requisitos descritos a seguir.

Para os painéis de parede as tolerâncias dimensionais são estipuladas pela Tabela 9 - Tolerâncias dimensionais de produção dos painéis pré-moldados - da NBR 16475 (ABNT, 2017). A norma também estabelece valores para painéis alveolares e os de parede



arquitetônicos, porém estes valores não serão apresentados neste trabalho (NBR 16475, ABNT, 2017).

Figura 16 – Tolerâncias para produção de painéis pré-moldados

Função do elemento	Dimensões (quando aplicável)		Tolerâncias mm
Painéis de parede-parede	Comprimento ou largura do painel	Até 5 m	± 10
		De 5 m até 10 m	± 15
		Superior a 10 m	± 20
	Espessura do painel		± 5
	Esquadro do painel	Até 10 m	± 15
		Superior a 10 m	± 2 mm/m
	Linearidade		± L/1 000
	Dimensões e posição de vãos		± 5
	Posição dos insertos para fixação		± 15
	Posição dos dispositivos para içamento na direção da espessura		± 10
Posição dos dispositivos para içamento ao longo do comprimento		± 80	
NOTA L = comprimento da peça.			

Fonte: NBR 16475 (ABNT, 2017, p. 44).

#### 2.3.2.4 Métodos de produção

A NBR 16475 (ABNT, 2017) define requisitos para esta etapa que complementam as prescrições da NBR 9062 (ABNT, 2001).

Para as formas a norma prevê que as mesmas devem adaptar-se a geometria dos painéis. A norma prevê que as mesmas sejam constituídas de aço, alumínio, concreto ou madeira, podendo ainda ser revestidas por chapas metálicas, fibra, plástico ou algum outro material que atenda aos requisitos da seção (NBR 16475, ABNT, 2017).

A NBR 9062 (ABNT, 2001) define que as formas precisam estar fixadas às bases para que as mesmas resistam aos esforços oriundos do lançamento e adensamento do concreto, bem como esforços resultantes da extração da peça.

Quanto ao controle de qualidade a NBR 16475 (ABNT, 2017) estabelece que a inspeção e limpeza, que inclui a remoção do desmoldante, das formas devem ser realizadas em todas as moldagens quando se tratar de peças não seriadas. Para peças seriadas este processo pode ser realizado por amostragens.

Outro ponto importante salientado pela NBR 9062 (ABNT, 2001, p. 33) é a importância de as formas facilitarem a desmoldagem dos elementos sem danificá-los. Deve-se prever “ângulos de saída, livre remoção das laterais e cantos chanfrados ou arredondados”.

A referida norma também prevê que o uso de produtos como desmoldantes não exerçam ações químicas sobre o concreto fresco ou endurecido, nem sejam prejudiciais a ligação do concreto ou na aplicação de revestimentos quando for o caso. Estes produtos não devem atingir a armadura para evitar possível corrosão, caso ocorra o contato as armaduras devem ser substituídas ou limpas com solventes.

O transporte e o lançamento do concreto nas formas devem respeitar os requisitos dispostos na NBR 14931 (ABNT, 2004a) e NBR 12655 (ABNT, 2015). É importante garantir que durante a concretagem os insertos e demais elementos de ligação mantenham-se posicionados na posição especificada em projeto atendendo também as tolerâncias de produção definidas. (NBR 16475, ABNT, 2017).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) menciona que a cura pode ser normal ou acelerada que inclui a cura úmida, a vapor ou química. No caso de a cura ser normal ou acelerada do tipo úmida ou a vapor deve-se seguir as prescrições da NBR 9062 (ABNT, 2001) e para a cura química as instruções dos fabricantes.

A cura normal estabelecida pela NBR 9062 (ABNT, 2001, p. 33) diz que até o concreto não atingir o endurecimento satisfatório o mesmo deve ser protegido de agentes como as “mudanças bruscas de temperatura, secagem, chuva forte, água torrencial, agentes químicos, bem como choque e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuração na massa de concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura”.

A referida norma ainda menciona a necessidade de se proteger o concreto contra a secagem prematura e para isso é necessário manter a superfície úmida ou protegê-la com uma película impermeável até atender o tempo de hidratação adequada estipulada pela natureza do concreto.

No caso de cura acelerada além de aumentar a velocidade de endurecimento do concreto por tratamentos térmicos adequados e devidamente controlados é necessário que se mantenham as medidas de proteção estabelecidas na cura normal. (NBR 9062, ABNT, 2001).

No caso de o tratamento térmico ser isento de vapor, a superfície de concreto deve manter-se umedecida ou protegida contra a secagem. Nesta etapa é necessário levar em conta o tempo de espera até o início da aplicação do calor, velocidade máxima de elevação da temperatura, temperatura máxima e tempo de aplicação e posterior esfriamento. (NBR 9062, ABNT, 2001).

Na cura a vapor sob pressão atmosférica é preciso que se garanta o aquecimento uniforme dos elementos. O ambiente onde este processo é efetuado deve ser completamente obstruído por material isolante, lonas, lençóis plásticos ou outro material adequado com a finalidade de assegurar a saturação do vapor e perda do calor e umidade. Esta vedação também impede a formação de correntes de ar frio vindas do exterior (NBR 9062, ABNT, 2001).

A NBR 9062 (ABNT, 2001, p. 33) também recomenda que os pontos de alimentação do vapor não devem descarregar diretamente “sobre a superfície do concreto, das formas ou sobre os corpos-de-prova”. Neste procedimento o controle da temperatura da câmara de vapor e do elemento pré-moldado deve ser constantemente verificado. A referida norma também prevê que para incremento máximo durante a elevação de temperatura a norma prevê 20°C/hora, temperatura máxima do elemento submetido ao tratamento de 70°C, e o decréscimo máximo da temperatura de resfriamento de 30°C/hora.

Para o manuseio, armazenamento e transporte dos materiais a NBR 16475 (ABNT, 2017) recomenda que sejam seguidas as especificações de projeto e procedimentos internos de cada fabricante. Deve-se levar em consideração também as prescrições da NBR 9062 (ABNT, 2001).

A NBR 16475 (ABNT, 2017) não menciona a necessidade de se fazer ensaios de resistência nos painéis de vedação, porém neste trabalho serão feitos ensaios de aplicação de carga nos protótipos do painel convencional e do painel sanduíche desenvolvido. O teste realizado será o de tração na flexão que segue premissas definidas na NBR 12142 (ABNT, 2010), e serve para determinar a resistência à tração na flexão de concreto em corpos de prova prismáticos que recebem carregamento nos terços do vão.

## 2.4 Painel sanduíche

Painel sanduíche é uma estrutura composta por duas camadas externas, sendo estas formadas por materiais de elevada densidade e resistência, além de uma camada interna composta por material de baixa densidade e resistência que contribui para a eficiência térmica e redução do peso total do painel (SILVA, 2012).

Benayoune *et al.* (*apud* AZEVEDO, 2013, p. 5) destaca que, no setor da construção civil estes painéis são usados em “coberturas, pisos de edifícios, painéis de fachada, e até em tabuleiros de pontes pedonais, devido às suas vantagens econômicas, eficiência térmica e adequado funcionamento estrutural”.

Os painéis sanduíche são fabricados a partir da combinação de diferentes materiais. Esta combinação é feita de acordo com o desempenho esperado pelo painel. Estes critérios devem ser especificados no projeto (SILVA, 2012).

Segundo Correia *et al.* (*apud* AZEVEDO, 2013) no início a aplicação do sistema sanduíche era restrita ao setor aeroespacial e naval. Com o passar do tempo suas aplicações se estenderam aos setores das indústrias automobilística, petrolífera de extração e eólica.

Soriano (*apud* AZEVEDO, 2013) menciona que, a primeira aplicação do conceito sanduíche na construção civil ocorreu em 1819 por William Fairbairn em ensaios realizados com pontes construídas com vigas compostas com madeira laminada e concreto.

Collins *apud* Fonsêca (1994) ainda menciona que o primeiro exemplo do uso de painéis com esta tipologia foi em 1906 com o processo de construção de painéis tipo “*tilt-up*”.

Estes painéis eram feitos a partir da moldagem de uma grande placa onde a fôrma utilizada era erguida junto com o painel. Para conseguir o efeito sanduíche era feita a moldagem de uma placa inferior de 50mm com uma camada de areia de 50mm sobre ela e, em seguida uma outra placa era posicionada sobre a areia. Esta areia auxiliava na concretagem da segunda placa e no momento do içamento do painel a mesma era retirada com água lançada com o auxílio de uma mangueira de incêndio. Desta forma a seção do painel era composta por duas placas de concreto com uma camada intermediária de ar deixada pela areia que havia sido lavada anteriormente. O detalhamento do projeto é desconhecido mas sabe-se que as placas eram fixadas entre si por conectores (FONSÊCA, 1994).

O núcleo oco formado pela lavagem da areia passou a ser substituído por materiais como lascas de madeira, concreto leve, concreto com xisto e vidro. A eficiência térmica dos painéis teve aumento considerável com a adição de uma camada de isolamento no interior, foi então que o painel sanduíche começou a ser aplicado nas paredes das construções (BUNN; WILLIAM, *apud* AZEVEDO, 2013).

Bunn e William (*apud* AZEVEDO, 2013) mencionam que após este período a produção dos painéis começou a ser realizada em fábricas e quando prontos eram transportados para o local da obra.

Collins *apud* Fonsêca (1994) menciona que durante a década de 50 inúmeros sistemas de painéis sanduíche foram desenvolvidos. Em todos o objetivo principal dos construtores era proporcionar através dos painéis melhoria do isolamento térmico. Hoje a utilização de painéis sanduíche na construção civil tem ganhado destaque e seu uso é relativamente comum no setor (BARROS *et al.*, 2015).

#### **2.4.1 Painel sanduíche, vantagens e desvantagens**

Redução de custos, eficiência energética e qualidade final do produto devido ao padrão de qualidade imposto no processo de fabricação são as principais vantagens oferecidas pelo sistema sanduíche. Outros fatores importantes são a redução do desperdício de materiais e ambientes mais limpos no canteiro de obra (MOHAMAD; MAHDI, *apud* AZEVEDO, 2013).

Segundo o PCI (*apud* AZEVEDO, 2013) os empreiteiros afirmam que a utilização destes itens permite que o canteiro da obra seja rapidamente desocupado dando espaço a novos trabalhos, além do mais os painéis sanduíche são facilmente ligados a outros tipos de estrutura seja ela metálica ou concreto armado ou pré-fabricado.

As vantagens dos painéis sanduíche são comparadas as dos painéis pré-fabricadas de concreto convencional, porém salienta-se que o isolamento térmico e a proteção contra a humidade proporcionados pelo sistema sanduíche são superiores se comparados aos sistemas convencionais. O sistema também é capaz de oferecer um bom acabamento interno e externo nas paredes além de possuir resistência contra impactos devido ao uso de materiais mais duros em suas extremidades (INSTITUTO DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO *apud* AZEVEDO, 2013).

Assim como todo sistema este também possui algumas desvantagens como por exemplo o baixo isolamento acústico se comparado a estruturas de concreto e alvenaria. Alguns dos materiais utilizados também podem trazer riscos à saúde como por exemplo o uso de poliéster que exige manuseio de resinas. Outro fator é a reduzida possibilidade de reciclagem no final de sua vida útil (ALMEIDA, *apud* AZEVEDO, 2013).

Para Azevedo (2013) por ser um sistema relativamente novo no setor, existe por parte dos engenheiros, projetistas e construtores um certo receio em sua utilização fazendo com que o sistema convencional ainda seja o mais utilizado. A falta de conhecimento do sistema também gera dúvidas que acabam dificultando o dimensionamento do sistema.

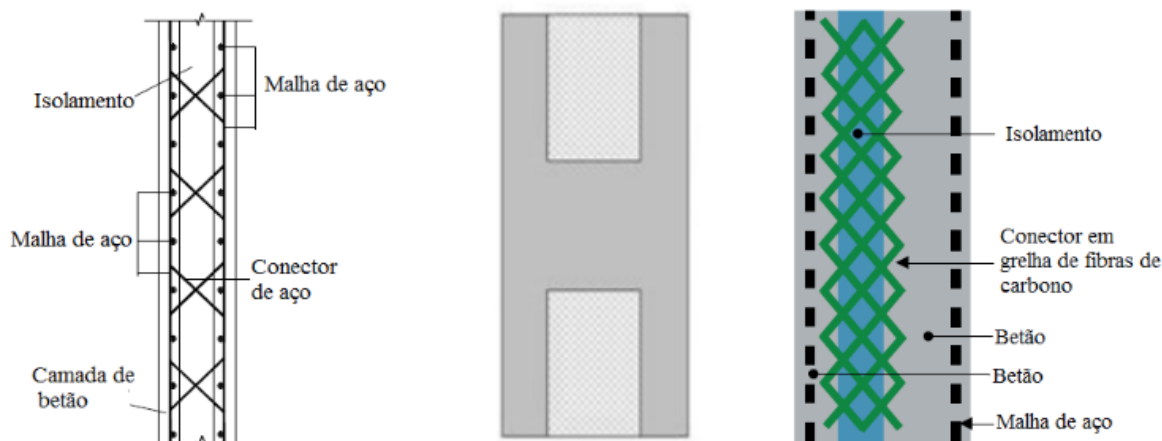
#### **2.4.2 Tipos de painéis**

Azevedo (2013) menciona que, os painéis sanduíche podem ser constituídos de diversos materiais tanto em suas camadas como em suas ligações. A escolha destes materiais é feita a partir da aplicação a que se destina o painel.

Para executar a ligação entre as placas no painel sanduíche usam-se sistemas de adesivos ou com conectores. Estes conectores, além de ligar as camadas, devem transferir os esforços entre as camadas externas e podem ser constituídos por zonas sólidas entre as

camadas externas, por elementos de aço ou por materiais poliméricos reforçados por fibras (AZEVEDO, 2013).

Figura 17 – Modelos de conectores utilizados em painel sanduíche



Fonte: Azevedo (2013, p. 9).

O núcleo por sua vez precisa no mínimo ter a rigidez suficiente para ser possível manusear o painel. Quando necessário o mesmo também deve transferir esforços entre as camadas exteriores. (BERTINI, *apud* AZEVEDO, 2013). O núcleo dos painéis utilizados em paredes é formado por materiais homogêneos como as espumas, as lãs e diferentes tipos de poliestireno. Este núcleo reduz o peso próprio e melhora a eficiência térmica do painel (AZEVEDO, 2013).

Nas camadas exteriores os materiais utilizados são classificados em metálicos e não metálicos. No grupo dos metálicos encontram-se os aços, aços inoxidáveis, ligas de alumínio e o cobre. Os não metálicos são formados pelas madeiras e seus derivados, polímeros reforçados com fibras, resinas, argamassas e concreto. Nas unidades habitacionais o concreto é o material mais utilizado (ALMEIDA, *apud* AZEVEDO, 2013).

Azevedo (2013) ainda menciona que ambas as faces externas do painel podem ter função estrutural ou o painel pode ter uma extremidade estrutural e outra apenas com função arquitetônica.

## 2.5 Conforto e desempenho térmico

Para Lamberts *et al.* (*apud* BLOWER, 2008) o conforto térmico é definido como o um estado mental que define a satisfação do homem com o ambiente térmico que o mesmo se encontra. O descontentamento com o conforto térmico pode ser causado pela sensação de desconforto entre o calor e o frio, ou seja, “quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente” (LAMBERTS *et al.*, *apud* BLOWER, 2008, p. 4).

Ainda segundo Lamberts (2011) o conforto térmico depende de alguns fatores, sendo eles físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos estão relacionados com a troca de calor do corpo com o meio, os fatores fisiológicos são resultantes da continua exposição a determinadas condições térmicas, e os psicológicos estão relacionados as diferentes percepções e na resposta dos estímulos sensoriais.

Para garantir o conforto térmico é necessário que as habitações atendam aos requisitos mínimos estipulados por normas para o desempenho térmico das edificações. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estipula que a avaliação do desempenho deve analisar o uso da edificação bem como o método construtivo adotado para cumprir uma determinada função.

Segundo Siqueira *et al.* (2005) muitos parâmetros precisam ser levados em consideração na avaliação do desempenho térmico. Para os autores a variação de temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e radiação solar são alguns dos parâmetros que devem ser considerados.

Pinto *et al.* (*apud* SIQUEIRA *et al.*, 2005) cita, além dos fatores típicos de exposição ao clima, outros itens devem ser considerados. Para o autor o conforto térmico, ocupação, materiais e componentes da estrutura, elementos de fechamento e cobertura, projeto arquitetônico, equipamentos existentes e iluminação são fatores que precisam ser levados em conta.

Devemos considerar também que cada latitude possui uma carta solar específica que caracteriza a insolação entre os pontos dependendo de sua orientação e período analisado. Desta forma é importante conhecer os materiais e sua resistência quanto à transmissão de calor para dimensionar da melhor forma os fechamentos da estrutura, pois são estes os



responsáveis pelas trocas térmicas entre os meios interior e exterior (LERIN; LOURENSINI, 2016).

Os fechamentos recebem o calor por radiação e convecção e há ainda o incremento da temperatura desta superfície que depende da resistência superficial externa ( $R_{se}$ ) e de sua resistência superficial interna ( $R_{si}$ ), estes valores são obtidos na Tabela A.1 – Resistência térmica superficial interna e externa - da NBR 15220-2 (ABNT, 2003). Uma parcela desta radiação é refletida pela superfície e a outra é absorvida, estes valores dependerão dos coeficientes de refletividade ( $\rho$ ) e absorvidade ( $\alpha$ ) dos materiais (LERIN; LOURENSINI, 2016).

Figura 18 – Valores de resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si}$ ( $m^2.K/W$ )			$R_{se}$ ( $m^2.K/W$ )		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
$\Rightarrow$	— ↑	— ↓	$\Rightarrow$	— ↑	— ↓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p. 7).

Com a elevação da temperatura externa haverá diferença com a temperatura interna, fazendo com que ocorra a troca de calor por condução, esta troca depende da condutividade térmica do material ( $\lambda$ ) este valor é obtido na Tabela B.3 – Densidade de massa aparente, condutividade térmica ( $\lambda$ ) e calor específico ( $c$ ) de materiais – da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Figura 19 – Valores de condutividade térmica dos materiais ( $\lambda$ )

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibro-cimento</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavemoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos inertes ~750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida	600-800	0,31	1,00
fabricado em obra	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
	500-600	0,20	1,00
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p. 9).

Figura 20 – Valores de condutividade térmica dos materiais ( $\lambda$ ) (Continuação da Figura 19)

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	$c$ (kJ/(kg.K))
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84
<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus			
	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira			
	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas			
	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas			
	550-650	0,16	2,30
compensado			
	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica			
	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metais</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras			
	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
vidro comum	2500	1,00	0,84

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2003, p. 10).

Neste trabalho as equações utilizadas para calcular a transmitância da placa desenvolvida seguem os requisitos das normas de desempenho térmico em edificações, são elas a NBR 15220-2 (ABNT, 2003) - Desempenho térmico de edificações e NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) - Edificações Habitacionais – Desempenho.

Para a NBR 15220-2 (ABNT, 2003) a transmitância térmica de um determinado componente é o inverso da resistência térmica total. Para Givoni (*apud* PERALTA, 2006) a transmitância térmica é definida como “a transmissão térmica através da unidade de área de um elemento, em unidade de tempo, por unidade de temperatura (diferenças entre temperaturas externa e interna)”.

O cálculo da transmitância é definido pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003) e é apresentado abaixo:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

Onde:

**U:** transmitância térmica;

**R<sub>T</sub>:** resistência térmica total.

A NBR 15220-2 (ABNT, 2003) apresenta requisitos que devem ser atendidos pelos elementos que compõem a edificação quanto ao desempenho térmico dos mesmos. A referida norma também determina a transmitância térmica dos elementos levando em consideração as zonas bioclimáticas traçando estratégias para aumento do conforto térmico. A NBR 15220-2 (ABNT, 2003) também apresenta os métodos de cálculo para a resistência, capacidade e transmitância dos materiais e elementos utilizados e também métodos para medição da condutividade térmica.

Já a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) apresenta os requisitos de desempenho geral para habitações residenciais de até cinco pavimentos. A referida norma apresenta critérios para

avaliação do desempenho térmico classificando a habitação de acordo com algumas características como transmitância térmica, absorptância e capacidade térmica.

Diante de tudo que foi abordado neste referencial teórico, e contando ainda com o auxílio do orientador do presente trabalho de conclusão, pode-se elaborar então a metodologia adotada para validação do estudo. Esta metodologia é apresentada no Capítulo 3 a seguir.

### **3 METODOLOGIA**

Metodologia é definida como um conjunto de regras e procedimentos utilizados para a realização de determinada pesquisa. Neste capítulo serão abordados os métodos de confecção de um painel pré-moldado de concreto utilizando o conceito dos painéis sanduíche para aplicação em empreendimentos comerciais, industriais e residenciais como elemento de vedação.

A ideia de utilizar um sistema pré-fabricado surgiu da necessidade de se racionalizar a construção civil para evitar desperdícios com matéria-prima e recursos financeiros, bem como elevar a qualidade final dos empreendimentos. Aliado a estes fatores surgiu à possibilidade de aumentar o desempenho térmico das edificações incluindo o conceito sanduíche para acrescentar elementos com boas características térmicas.

Diante do que foi acima exposto, surgiu à ideia de se desenvolver um painel pré-fabricado de concreto utilizando o conceito sanduíche com o núcleo formado por placas de EPS, que possui bom desempenho térmico a fim de se obter dados referentes aos conceitos abordados.

Para obter o conhecimento necessário para desenvolvimento da placa foram necessárias pesquisas em normas, livros, dissertações, artigos, notas de aula, teses, entre outros.

### **3.1 Tipo de pesquisa**

O presente estudo pode ser considerado como pesquisa exploratória. Este tipo de pesquisa segundo Duarte ([2013?]) faz com que o pesquisador crie um vínculo muito forte com o tema pesquisado, visto que este é pouco conhecido, pouco explorado.

Para Gil (1999) entre todas as formas de pesquisa, as exploratórias demandam menos planejamento. Para o autor as pesquisas deste gênero devem aprimorar, elucidar e remodelar conceitos ou hipóteses para estudos posteriores. O autor ainda menciona que o objetivo deste tipo de pesquisa é estabelecer visão geral do assunto abordado, aproximando-se do fato observado. Isto porque o assunto destacado é pouco estudado tornando complexa a concepção de estimativas precisas.

### **3.2 Painéis pré-fabricados**

Foram confeccionados neste trabalho um total de 15 painéis pré-fabricados de concreto. Cinco destes produzidos utilizando o conceito sanduíche com núcleo isolante em EPS, cinco também confeccionados utilizando o sistema sanduíche, porém com núcleo formado por poliuretano e cinco painéis pré-fabricados de concreto, porém maciços sem núcleo isolante.

Estes painéis passaram por um teste de carga e suas configurações utilizadas em cálculos para definição da transmitância térmica. Também foi desenvolvida a análise de desempenho térmico destes painéis aplicados em um projeto de edifício industrial.

#### **3.2.1 Localização**

As execuções dos painéis, desde a montagem das formas até a concretagem, bem como os testes de carregamento foram desenvolvidos no Laboratório de Tecnologias da

Construção – LATEC, localizado na sala 115 do prédio 17 na Universidade do Vale do Taquari - Univates.

### **3.2.2 Estruturas dos painéis pré-fabricados**

Os painéis desenvolvidos neste trabalho são baseados nos painéis pré-fabricados de vedação, portanto, foram construídos sem levar em consideração as funções estruturais, pois as mesmas não são exigidas nestes painéis. Mesmo assim foram realizados ensaios com aplicação de carga para comparação dos painéis que irão utilizar o sistema sanduíche com os painéis maciços.

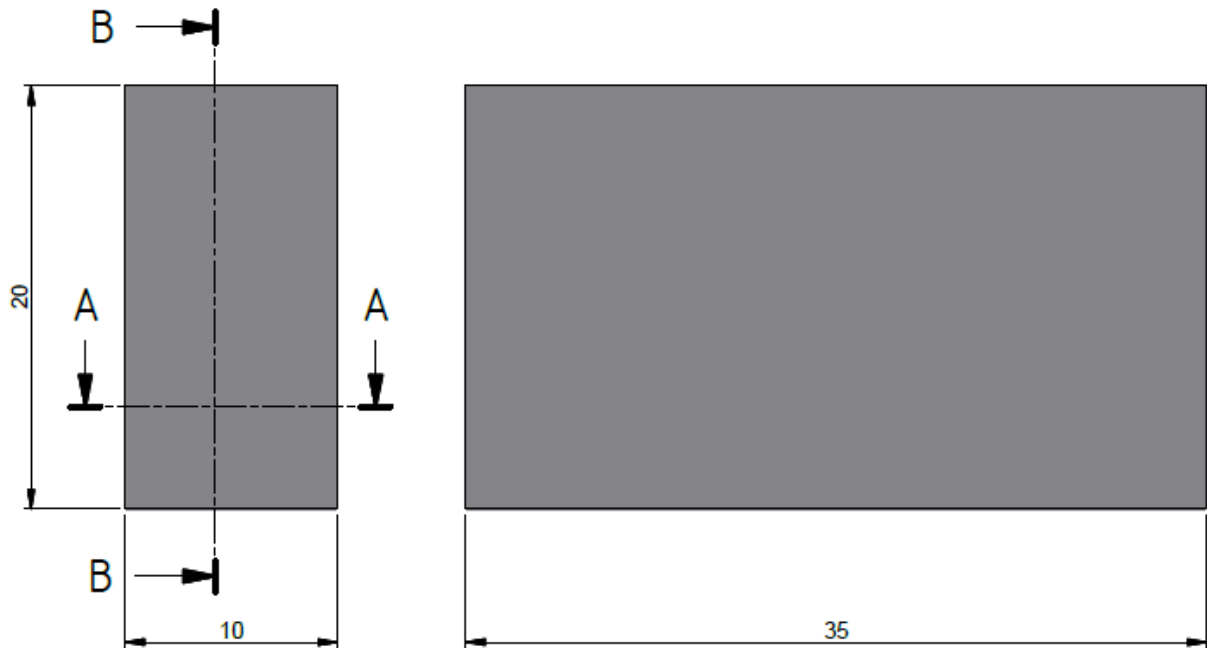
As dimensões escolhidas para o painel precisaram levar em consideração os equipamentos disponíveis para realização dos testes de carga. Estes por sua vez não comportam peças de grandes dimensões por isso o tamanho dos painéis foi reduzido se comparado aos tamanhos usuais encontrados no mercado. Por serem painéis de vedação sem exigência de aplicação de carga, as dimensões adotadas não interferem nos resultados, pois este teste não se aplica a estes painéis segundo as normas, neste caso tem apenas a finalidade de comparar os painéis citados no presente trabalho, porém caso a função dos painéis fosse estrutural seria necessário realizar os testes em painéis com dimensões reais definidas em projeto.

Os painéis tem 35cm de comprimento, 20cm de largura e 10cm de espessura e são compostos por camadas externas de concreto estrutural. Cinco painéis têm núcleo isolante de EPS e cinco o núcleo isolante em poliuretano e para garantir a estabilidade do painel foi posicionada em cada face externa uma armadura em formato de tela.

O detalhamento dos painéis pré-fabricados sanduíche propostos neste trabalho é apresentado a seguir:

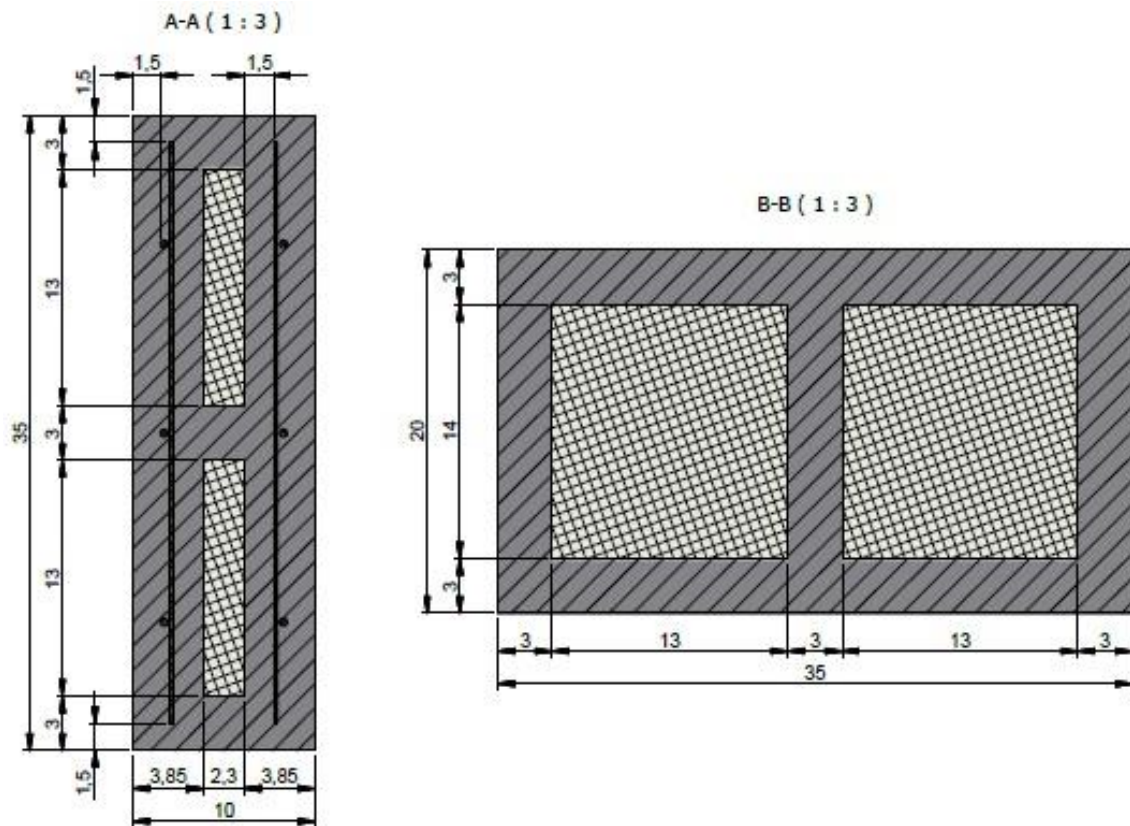


Figura 21 – Representação dos painéis pré-fabricados



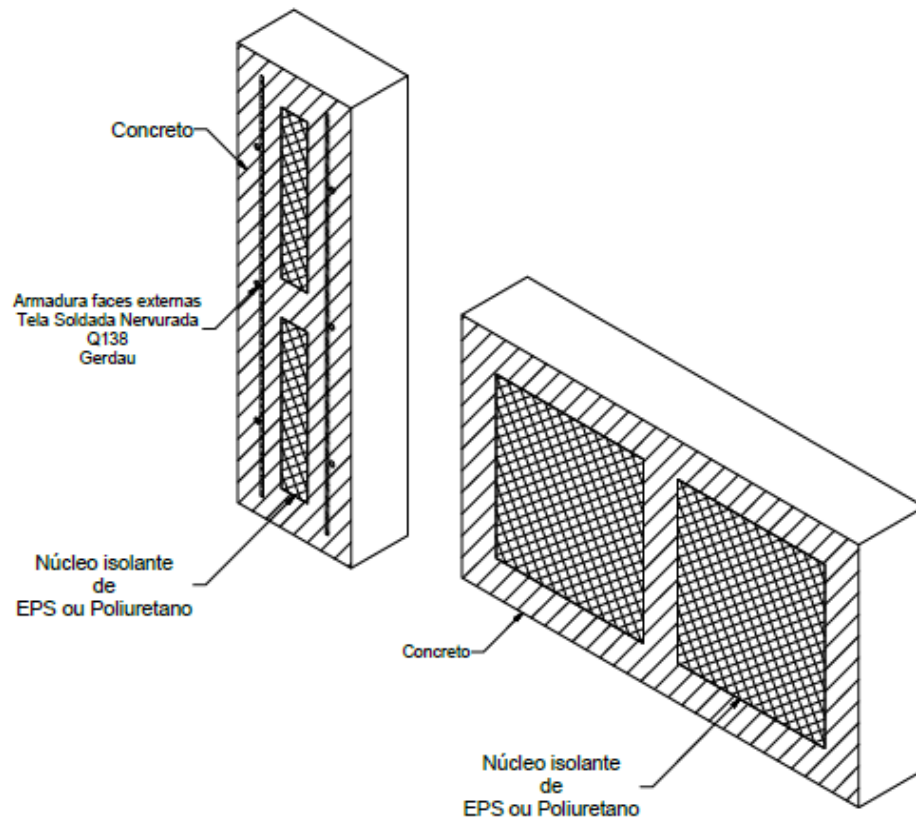
Fonte: Da autora (2017).

Figura 22 – Cortes A-A e B-B dos painéis pré-fabricados sanduíche



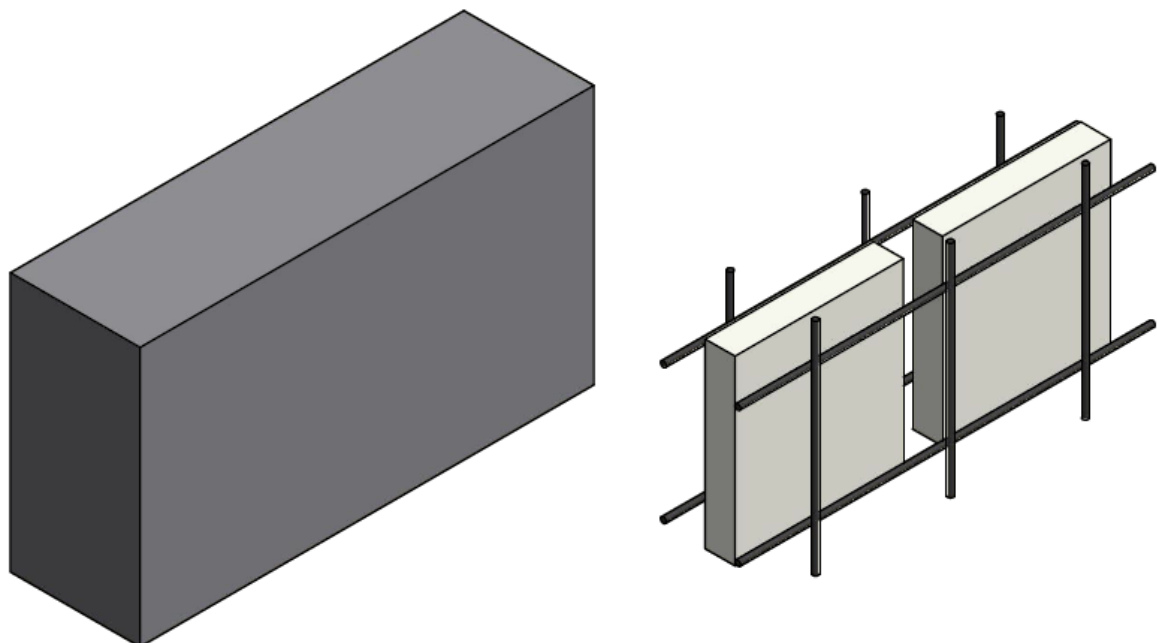
Fonte: Da autora (2017).

Figura 23 – Estrutura dos painéis pré-fabricados sanduíche



Fonte: Da autora (2017).

Figura 24 – Representação externa e interior dos painéis pré-fabricados sanduíche



Fonte: Da autora (2017).

### 3.2.3 Execução dos painéis pré-fabricados

Um dos materiais utilizados no núcleo isolante foi o EPS que é a sigla internacional de Poliestireno Expandido. O nome popular deste material no Brasil é Isopor, que é marca registrada da empresa Knauf. A escolha do material como núcleo isolante se deu pelo fato do EPS ser um excelente isolante térmico, um material leve, 100% reciclável, com resistência mecânica e à umidade além da facilidade de manipulação que o mesmo oferece (EPS BRASIL, [2014?]).

O outro material que foi utilizado no núcleo dos painéis desenvolvidos é o poliuretano, espuma rígida muito utilizada em isolamentos térmicos. O poliuretano possui baixa densidade e baixo coeficiente de condutividade térmica, fatores estes responsáveis pelo alto isolamento térmico do material (ISAR, [2015?]).

Figura 25 – Placas de EPS e poliuretano compradas da empresa Termobras



Fonte: Da autora (2017).

Assim que foram definidos os materiais que iriam compor o núcleo isolante iniciou-se a busca por fornecedores das placas nas dimensões definidas em projeto. A empresa que se disponibilizou em atender ao pedido foi a Termobras Isolantes Térmicos, fundada em 1975, com sede própria situada na zona Leste de São Paulo. Nenhuma das empresas locais pode atender ao pedido devido à pequena quantidade. Foram encomendadas doze placas de Poliuretano medindo 14x13x2,3cm com densidade de 36 Kg/m<sup>3</sup> e doze placas de Poliestireno com as mesmas dimensões e densidade de 15 Kg/m<sup>3</sup>. O valor das placas de Poliuretano foi de R\$ 2,10 por unidade e as placas de Poliestireno R\$ 0,50 por unidade, as placas foram enviadas pela empresa pelos Correios.

O concreto utilizado deveria atender os requisitos definidos no item cobrimento da NBR 9062 (ABNT, 2001), desta forma o valor mínimo de 15mm de cobrimento da armadura definido pela NBR 16475 (ABNT, 2017) poderá ser adotado. O concreto deveria ter resistência característica de no mínimo 25 MPa e o fator água/cimento ser menor ou igual a 0,45. O cimento utilizado foi o Cimento Portland CP V-ARI que é ideal para este tipo de aplicação que exige elevada resistência já nas primeiras idades e desforma rápida.

Para atender os itens citados acima foi necessário definir um traço de concreto para que as placas fossem moldadas. O traço foi definido de forma experimental no LATEC, primeiramente definiu-se os agregados que seriam utilizados e posteriormente montaram-se três traços para que fossem moldados corpos de prova cilíndricos para execução do ensaio de compressão destes, a fim de se obter a resistência do concreto, conforme NBR 5739 (ABNT, 2007a) nas idades de sete e vinte e oito dias. Assim que se obtiveram as resistências dos traços foi possível definir qual destes seria utilizado posteriormente na moldagem das placas. Na tabela a seguir são apresentados os traços e os agregados de cada um deles.

Tabela 1 – Traços de concreto

<b>Traço</b>	<b>T1 (1:1:2)</b>	<b>T2 (1:1,5:3)</b>	<b>T3 (1:2:2,5)</b>
<b>Cimento</b>	CP V-ARI	CP V-ARI	CP V-ARI
<b>Areia</b>	Média	Média	Média
<b>Brita</b>	1	0	0
<b>a/c</b>	0,45	0,50	0,50

Fonte: Da autora (2017).

Durante a realização dos traços notou-se que nos que utilizaram a brita 0 não foi possível manter a relação água/cimento de 0,45 como estipulado nas normas sendo necessário aumentar a relação para 0,50.



Figura 26 – Corpos de prova de um traço de concreto



Fonte: Da autora (2017).

Para a armadura em formato de tela foi utilizada a tela soldada nervurada modelo Q138 da Gerdau. O catálogo da empresa indica que o aço utilizado na produção da tela é o CA-60. O espaçamento entre os fios é de 10x10cm e o diâmetro do fio é de 4,2mm (GERDAU, [S.d.]). Esta tela foi comprada da empresa Central Materiais de Construção com sede no município de Bento Gonçalves/RS e o valor pago pela mesma foi de R\$ 75,00. Para facilitar a posterior moldagem das placas a tela foi cortada com antecedência nas dimensões e quantidades definidas em projeto.

Figura 27 – Tela Q138 Gerdau



Fonte: Da autora (2017).

Durante o período de cura dos corpos de prova dos traços de concreto foi realizada a montagem das formas utilizadas na moldagem dos painéis, para confecção destas, foram utilizadas chapas de compensado naval de 14mm de espessura nas dimensões de 110x220cm. Para facilitar a moldagem e possibilitar a execução de todos os painéis em um mesmo dia foram feitas um total de quinze unidades, e para facilitar a desmoldagem dos painéis todas as formas possuíam as laterais parafusadas.

Figura 28 – Formas de compensado naval



Fonte: Da autora (2017).

Com posse dos resultados do ensaio de compressão dos corpos de prova de cada traço, foram analisados os dados obtidos a fim de se definir qual dos três traços testados seria utilizado na moldagem dos painéis. Com o traço definido foram estipuladas as quantidades de cada agregado necessárias para execução dos painéis, e posteriormente repassadas aos responsáveis do LATEC para que fossem providenciadas.

Para execução dos painéis foram necessárias aproximadamente seis horas de trabalho. Primeiro foi realizada a separação dos agregados que seriam misturados na betoneira, e a



concretagem foi realizada em três etapas. Na etapa um foram moldados os cinco painéis maciços, na etapa dois os cinco painéis com núcleo isolante de Poliestireno e na etapa três os cinco painéis com núcleo isolante de Poliuretano. Foram necessárias essas três etapas devido à capacidade da betoneira disponível no LATEC.

A moldagem dos painéis maciços iniciou-se pela aplicação do desmoldante nas formas enquanto os agregados do concreto eram misturados na betoneira. Com a mistura pronta as formas eram preenchidas com uma camada de 5cm de concreto e o mesmo era adensado, posteriormente era posicionada a armadura em formato de tela e o painel era finalizado com o preenchimento do espaço restante da forma com concreto adensado.

Figura 29 – Moldagem painel maciço



Fonte: Da autora (2017).

Para a moldagem dos painéis com núcleo isolante também era aplicado o desmoldante nas formas enquanto os agregados do concreto eram misturados na betoneira. Posteriormente era posicionada a armadura da face inferior com os espaçadores para garantir os cobrimentos estipulados pela norma, quanto aos espaçadores foram necessários alguns ajustes nas dimensões dos mesmos, pois não foram encontrados comercialmente na região espaçadores cujas medidas atendessem as exigências de projeto. Com a armadura posicionada era aplicada

a primeira camada de concreto e o mesmo era adensado, em seguida posicionou-se as placas do núcleo isolante e a armadura da face superior com espaçadores, para assim finalizar o painel com o preenchimento do espaço restante da forma com concreto adensado.

Figura 30 – Moldagem painel EPS



Fonte: Da autora (2017).

Figura 31 – Moldagem painel poliuretano



Fonte: Da autora (2017).

Os painéis permaneceram nas formas por 48 horas até que os mesmos fossem desmoldados e levados para a câmara de cura do LATEC, para realização do processo de cura úmida até a realização do ensaio de resistência à tração na flexão. Para realização deste ensaio foi estipulado que duas unidades de cada modelo dos painéis fossem rompidas aos sete dias e três unidades aos vinte e oito dias.



### 3.2.4 Ensaio de resistência à tração na flexão

Este ensaio foi realizado para que se possa comparar a resistência à tração na flexão dos painéis que foram confeccionados. Este ensaio segue as recomendações descritas na NBR 12142 (ABNT, 2010).

O ensaio foi realizado no LATEC, conforme definido anteriormente, e o equipamento utilizado para aplicação da carga foi a prensa servo-hidráulica para ensaio de concreto modelo PC200CS com capacidade máxima 2000 KN.

Figura 32 – Ensaio de resistência à tração na flexão



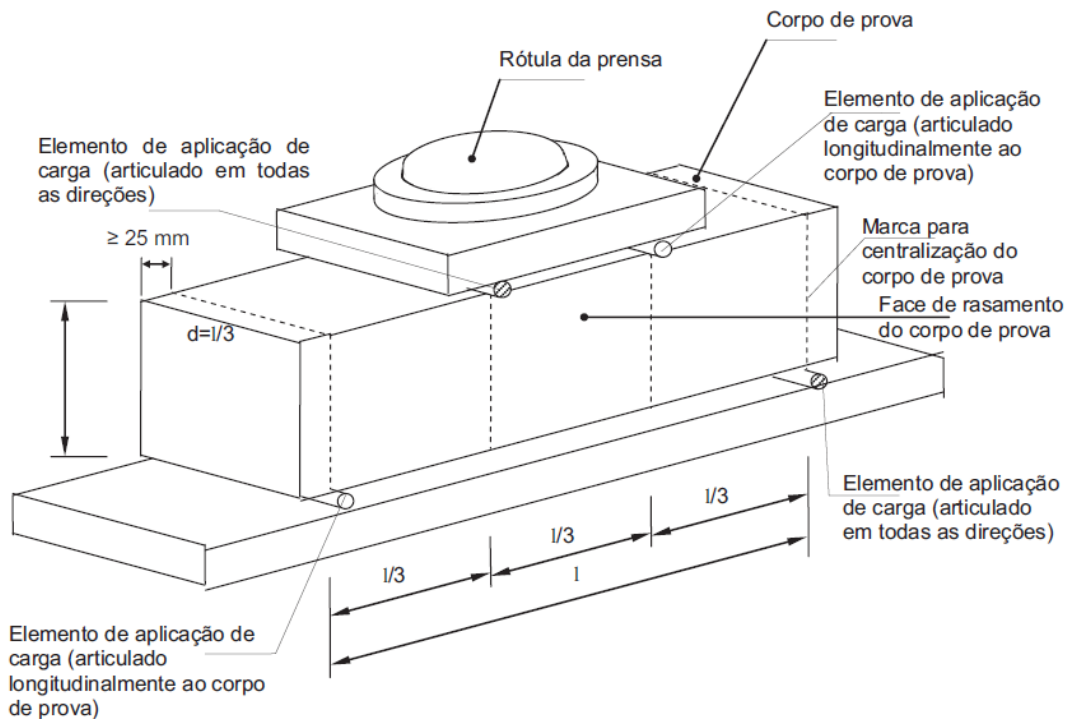
Fonte: Da autora (2017).

A NBR 12142 (ABNT, 2010) observa que todos os apoios e pontos de aplicação de força devem manter-se estáveis durante toda a realização do ensaio. Deve-se garantir também que a força seja aplicada normalmente na superfície evitando-se excentricidades e a direção das reações deve ser paralela à força. A norma também prevê que se aplique a carga de forma gradual e uniforme.

O procedimento prescrito na referida norma menciona que os corpos de prova tenham sua maior dimensão, paralela ao seu eixo longitudinal, posicionada sobre os apoios garantindo que a mesma seja centrada entre eles. Para corpos de prova moldados as faces que devem ficar em contato com os elementos que aplicarão a carga e os apoios devem ser as laterais em relação à posição adotada na moldagem.

As superfícies de contato do corpo de prova devem garantir um contato perfeito com os apoios. Deve-se aplicar a carga de forma contínua sem choques e o aumento deve estar compreendido num intervalo entre 0,9 MPa/min e 1,2 MPa/min. Após a aplicação da carga e finalização do ensaio, a norma ainda prevê que seja feita a média de três determinações de largura e altura da seção de ruptura, com precisão de 1mm (NBR 12142, ABNT, 2010).

Figura 33 – Representação da estrutura para realização do ensaio



Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010, p. 3).

A equação para definir a resistência à tração na flexão é definida pela NBR 12142 (ABNT, 2010).

$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad (5)$$

Onde:

$f_{ct,f}$ : resistência à tração na flexão (MPa);

F: força máxima registrada pelo equipamento de ensaio (N);

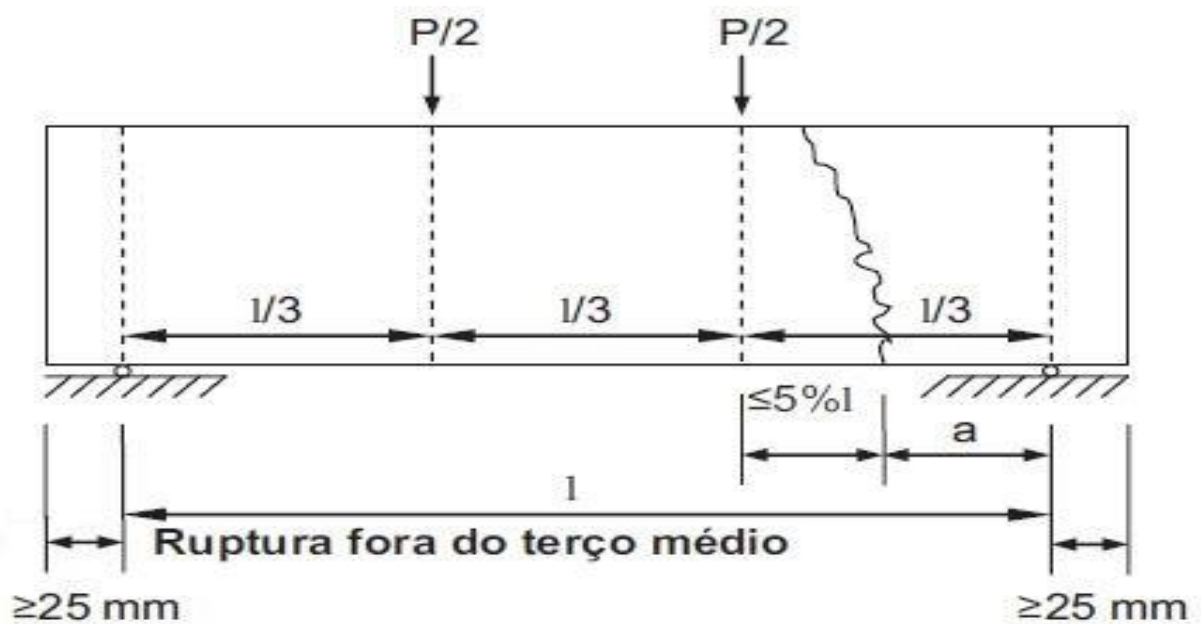
l: dimensão do vão entre apoios (mm);

b: largura média do corpo de prova (mm);

d: altura média do corpo de prova (mm).

Caso a ruptura ocorra fora do terço médio, com distância definida conforme figura a seguir, deve-se adotar a equação 6 para calcular a resistência à tração na flexão (NBR 12142, ABNT, 2010).

Figura 34 – Ruptura fora do terço médio



Fonte: NBR 12142 (ABNT, 2010, p. 5).

$$f_{ct,f} = \frac{3 \cdot F \cdot a}{b \cdot d^2} \quad (6)$$

Onde:

$f_{ct,f}$ : resistência à tração na flexão (MPa);

F: força máxima registrada pelo equipamento de ensaio (N);

l: dimensão do vão entre apoios (mm);

b: largura média do corpo de prova (mm);

d: altura média do corpo de prova (mm);

a: distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo (mm).

Neste trabalho não foi necessário a aplicação das fórmulas para definição dos valores de resistência pois os mesmos são disponibilizados por um software que armazena a leitura dos dados da prensa servo-hidráulica PC200CS

### 3.2.5 Cálculo da transmitância

Os passos adotados para se chegar ao valor da transmitância dos painéis seguem as premissas de cálculo exigidas pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003). Este roteiro de cálculo é apresentado a seguir:

Primeiro deve-se chegar ao valor da resistência térmica de cada seção do fechamento ( $R_{Seção}$ ) que é determinada, conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2003), pela equação descrita a seguir:

$$R_{Seção} = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} \quad (7)$$

Onde:

**$R_{Seção}$** : resistência térmica da seção analisada;

**e**: espessura da camada de cada material;

**$\lambda$** : condutividade térmica (Valor retirado na Tabela B.3 da NBR 15220-2 (ABNT,2003)).

Com o valor da resistência térmica de cada seção segue-se à próxima etapa que consiste em encontrar o valor da resistência térmica do fechamento ( $R_t$ ). A NBR 15220-2 (ABNT, 2003) determina que a equação para se chegar a este valor deve ser:

$$R_t = \frac{A_1}{\frac{A_1}{R_1}} + \frac{A_2}{\frac{A_2}{R_2}} + \dots + \frac{A_n}{\frac{A_n}{R_n}} \quad (8)$$

Onde:

**$R_t$** : resistência térmica do fechamento analisado;

**A**: área de cada seção do fechamento;

**R**: resistência térmica de cada seção do fechamento.

Dando sequência ao cálculo deve-se chegar ao valor da resistência térmica total da seção ( $R_T$ ) obtido através da equação 9 que também é definida pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

$$R_T = R_{si} + R_t + R_{se} \quad (9)$$

Onde:

**$R_T$** : resistência térmica total;

**$R_t$** : resistência térmica do fechamento analisado;

**$R_{si}$** : resistência térmica superficial interna (Valor retirado na Tabela A.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003));

**$R_{se}$** : resistência térmica superficial externa (Valor retirado na Tabela A.1 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003)).

Por fim, com todos os dados obtidos pelas equações anteriores podemos chegar ao valor da transmitância térmica que como explicado no capítulo anterior é obtido através de equação conforme NBR 15220-2 (ABNT, 2003). Esta equação é apresentada, novamente, a seguir:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (10)$$

Onde:

**U:** transmitância térmica;

**R<sub>T</sub>:** resistência térmica total.

### 3.3 Análise de desempenho térmico de uma edificação industrial

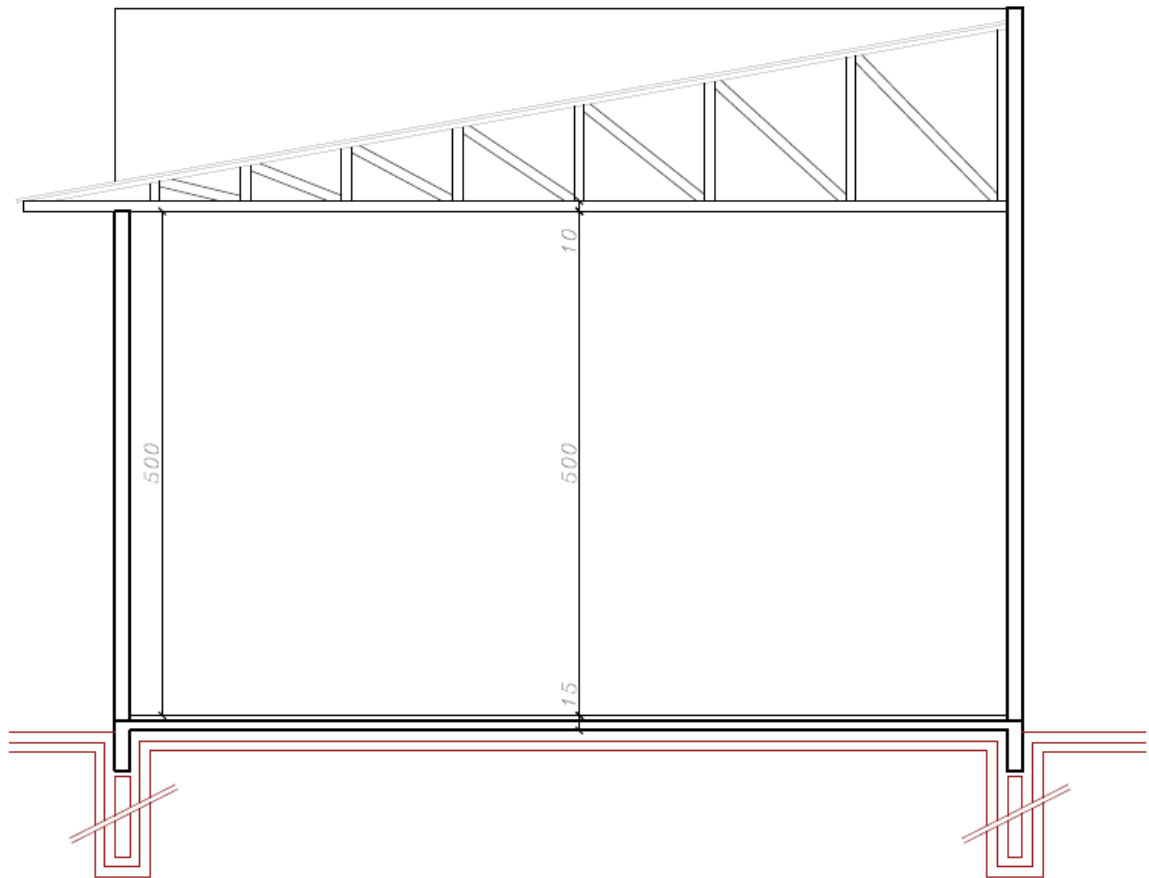
Após obter os valores de transmitância térmica dos painéis, foi realizado um comparativo com a finalidade de se analisar o desempenho térmico dos painéis aplicados em um projeto de edificação industrial. Esta edificação ainda está na fase de projeto e servirá de depósito para uma transportadora.

Com relação às características construtivas da edificação, no projeto, a estrutura e a envolvente são constituídas de itens pré-fabricados. Para a envolvente está descrito a utilização de painéis pré-fabricados de concreto maciços com espessura de 10cm pintados na cor azul bali na face externa. Para o telhado, telha trapezoidal TP40 de aluzinco com espessura de 0,65mm, as janelas são do tipo basculante com caixilhos de aço e vidros simples, com espessura de 6 mm. A porta da fachada principal é de aço 2mm nas dimensões de 4,0x4,0m.

A seguir é apresentada a planta baixa e o corte da edificação que será utilizada na análise do desempenho.

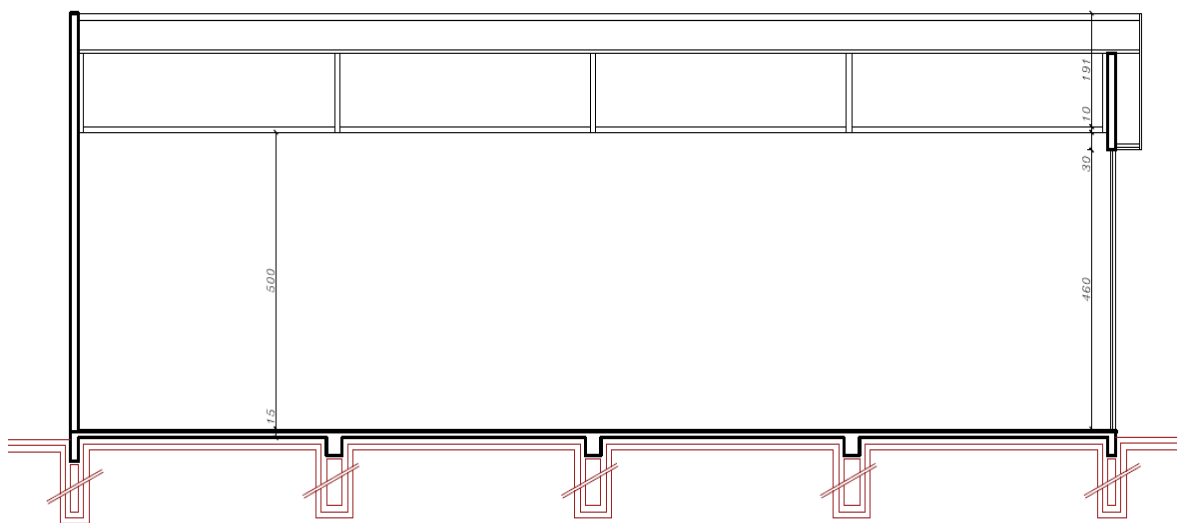


Figura 36 – Corte AA da edificação



Fonte: Da autora (2017).

Figura 37 – Corte BB da edificação



Fonte: Da autora (2017).



Para que fosse possível comparar os painéis desenvolvidos neste trabalho com os painéis maciços, aplicados ao projeto da edificação, além da transmitância térmica dos mesmos foi necessário o cálculo da transmitância térmica da cobertura, janelas basculante de vidro e da porta de aço conforme especificações existentes no projeto inicial. Com a finalidade de se obter uma comparação de maior credibilidade foram feitas seis simulações entre materialidades para o projeto em questão.

A primeira simulação considera as materialidades definidas no projeto inicial da edificação. Na segunda e na terceira simulação são levadas em conta as mesmas materialidades para a cobertura e aberturas, porém os painéis maciços utilizados na envolvente da edificação são substituídos pelos painéis desenvolvidos neste trabalho com núcleo isolante em EPS e poliuretano respectivamente.

Para as simulações quatro, cinco e seis são mantidas as configurações da envolvente e aberturas das três primeiras simulações, porém a materialidade da cobertura é modificada. Nestas simulações utiliza-se uma cobertura com propriedades térmicas, composta por telhas trapezoidal TP40 de aluzinco com espessura de 0,50mm do tipo sanduíche com núcleo isolante de EPS com 30mm de espessura.

No desenvolvimento dos cálculos foi considerado o período do verão, dia 22 de dezembro. Para o índice da radiação solar será utilizada a latitude 30°, a temperatura interna será de 23°C e a temperatura externa 34°C. A direção do fluxo de calor na envolvente da edificação é horizontal, neste caso a resistência térmica interna é igual a  $0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$  e a resistência térmica externa é de  $0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ . Na cobertura, a direção é descendente, neste caso a resistência térmica interna é igual a  $0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$  e a resistência térmica externa é de  $0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ .

Na Tabela 2, a seguir, são apresentados os valores do Índice de Absorvidade ( $\alpha$ ) (DORNELLES, 2008) das cores externas, Índice de Radiação Solar (I) e horário de maior incidência (FROTA; SCHIFFER, 2001), utilizados nos cálculos do fluxo térmico e do fluxo térmico total.

Tabela 2 – Índice de Absorvidade ( $\alpha$ ), Índice de Radiação Solar (I) e horário

Orientação	Índice de Absorvidade ( $\alpha$ )	Índice de Radiação Solar (I)	Horário
Norte	48,9	179	12
Sul	48,9	188	17
Leste	48,9	715	8
Oeste	48,9	715	16
Cobertura	15,8	1134	12

Fonte: Da autora (2017).

Com posse dos valores do fluxo térmico ( $q_{fo}$ ) e do fluxo térmico total (Q) de cada envolvente e da cobertura, é possível obter a carga total (CT) da edificação em cada uma das seis simulações testadas. A seguir são apresentadas as fórmulas necessárias para calcular os índices acima citados.

$$q_{fo} = U \times [\alpha \times I \times R_{Se} + (t_e - t_i)] \quad (11)$$

$$Q = q_{fo} \times \text{Área} \quad (12)$$

$$CT = \sum Q \quad (13)$$

A partir do referencial teórico apresentado no capítulo anterior, e com o auxílio do orientador do presente trabalho de conclusão, pode-se desenvolver a metodologia apresentada neste capítulo, definindo assim os procedimentos que seriam adotados para que os objetivos do presente trabalho fossem atingidos. A seguir, é apresentada no Capítulo 4 a análise dos resultados obtidos.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos através da metodologia proposta, bem como a análise e discussão dos mesmos.

### 4.1 Traço de concreto

Os primeiros dados a serem analisados foram os resultados dos ensaios de compressão dos corpos de prova referentes aos traços de concreto testados, conforme NBR 5739 (ABNT, 2007a).

Na Tabela 3, a seguir, são apresentados os valores obtidos neste ensaio para cada traço de concreto bem como as idades em que os mesmos foram testados. Foi a partir destes resultados que pode-se definir qual dos três traços seria utilizado na moldagem dos painéis posteriormente.

Tabela 3 – Resultado ensaio de compressão traços de concreto

Corpo de Prova	Identificação do Traço	Força Máxima (Kgf)	Resistência à Compressão (MPa)	Idade (dias)
CP1	T1	25100,87	31,34	7
CP2	T1	21679,20	27,07	7
CP3	T1	27762,16	34,66	28
CP4	T1	28323,80	35,37	28
CP1	T2	26595,69	33,21	7
CP2	T2	27304,21	34,09	7
CP3	T2	36679,23	45,80	28
CP4	T2	36169,44	45,16	28
CP1	T3	25869,88	32,30	7

Continua...

Continuação

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Identificação do Traço</b>	<b>Força Máxima (Kgf)</b>	<b>Resistência à Compressão (MPa)</b>	<b>Idade (dias)</b>
CP2	T3	27140,04	33,89	7
CP3	T3	35054,81	43,77	28
CP4	T3	36998,94	46,20	28

Fonte: Da autora (2017).

Analisando a tabela é possível ver que todos os traços atingiram, de forma satisfatória, resistências superiores aos 25 MPa exigidos pela NBR 9062 (ABNT, 2001). Para escolha do traço o primeiro fator a ser analisado foi a facilidade de moldagem dos painéis, desta forma o traço 1 foi descartado pois utilizava como agregado a brita 1. A dimensão deste agregado dificultaria a moldagem e o acabamento superficial dos painéis, visto que os mesmos teriam dimensões reduzidas em decorrência dos equipamentos a que seriam submetidos para o teste de resistência.

Desta forma restaram os traços 2 e 3 para serem analisados, visto que ambos utilizam como agregado a brita 0. Entre estes traços, optou-se pelo primeiro uma vez que obteve resistências superiores em 75% dos resultados comparados entre ambos.

#### 4.2 Resistência à tração na flexão dos painéis

Após definição do traço iniciou-se a moldagem dos painéis, conforme descrito no capítulo anterior e passado o período de cura dos mesmos realizou-se os ensaios de resistência à tração na flexão. Cabe lembrar que este ensaio não é normatizado para painéis pré-fabricados e seus resultados serviram apenas como comparativo entre os painéis propostos neste trabalho e os maciços muito usados no mercado da construção.

Na Tabela 4, a seguir, é possível verificar os resultados obtidos neste ensaio pelos painéis.

Tabela 4 – Resultado do teste de resistência à tração na flexão dos painéis.

<b>Corpo de Prova</b>	<b>Identificação do Pannel</b>	<b>Força Máxima (N)</b>	<b>Resistência à Tração na Flexão (MPa)</b>	<b>Idade (dias)</b>
CP 1	EPS	55077,60	4,13	7
CP 2	EPS	74905,54	5,62	7
CP 3	EPS	85497,38	6,41	28
CP 4	EPS	84988,98	6,37	28

Continua...

Continuação

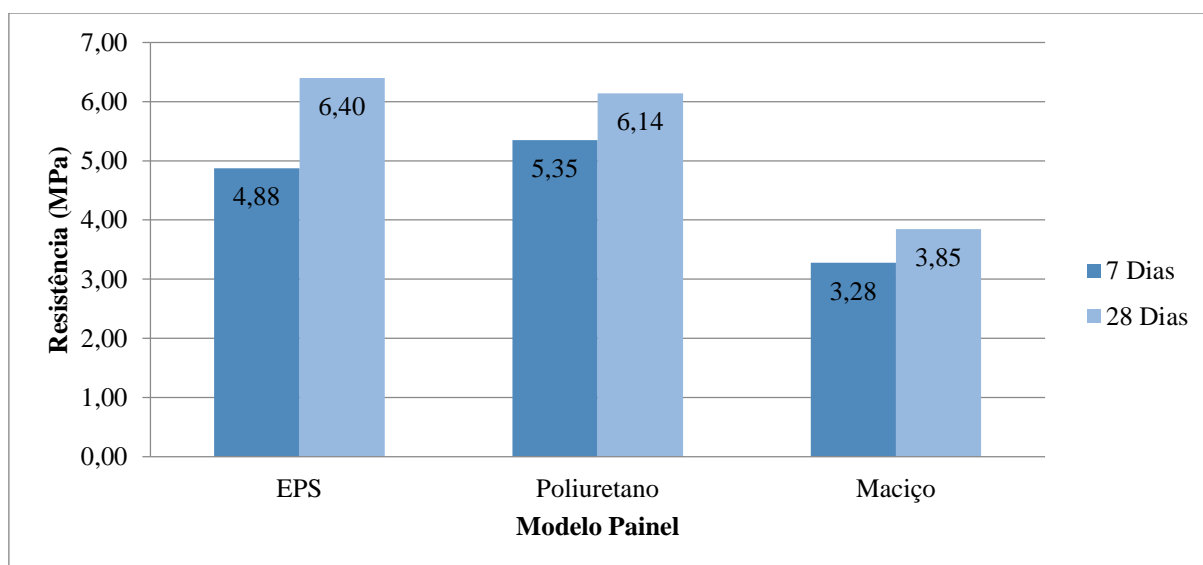
Corpo de Prova	Identificação do Painel	Força Máxima (N)	Resistência à Tração na Flexão (MPa)	Idade (dias)
CP 5	EPS	85412,65	6,41	28
CP 1	Poliuretano	78464,40	5,88	7
CP 2	Poliuretano	64313,69	4,82	7
CP 3	Poliuretano	83887,42	6,29	28
CP 4	Poliuretano	89988,33	6,75	28
CP 5	Poliuretano	71770,35	5,38	28
CP 1	Maciço	45502,57	3,41	7
CP 2	Maciço	41943,71	3,15	7
CP 3	Maciço	52705,03	3,95	28
CP 4	Maciço	53637,11	4,02	28
CP 5	Maciço	47620,94	3,57	28

Fonte: Da autora (2017).

O teste de resistência à tração na flexão realizado mostrou que, mesmo com o núcleo isolante, a armadura em formato de tela nas faces externas dos painéis garantiu que os mesmos tivessem resistências superiores aos maciços que por sua vez só utilizaram armadura central. É muito provável que, se os painéis maciços fossem executados com a mesma seção de aço dos painéis com armadura dupla, seus valores de resistência seriam superiores.

Para comparar os resultados obtidos pelos painéis, foi realizado um gráfico com a média dos valores da resistência de 7 e 28 dias de cada painel. Este gráfico é apresentado a seguir.

Gráfico 1 – Comparação da resistência à tração na flexão dos painéis.



Fonte: Da autora (2017).

### 4.3 Transmitância térmica

Os passos adotados para se chegar ao valor da transmitância dos painéis seguem as premissas de cálculo exigidas pela NBR 15220-2 (ABNT, 2003), estes por sua vez foram descritos no capítulo anterior. Primeiro chegou-se aos valores de resistência térmica e posteriormente da transmitância. Para auxiliar no processo desenvolveu-se uma planilha no *software Microsoft Excel* que encontra-se nos anexos.

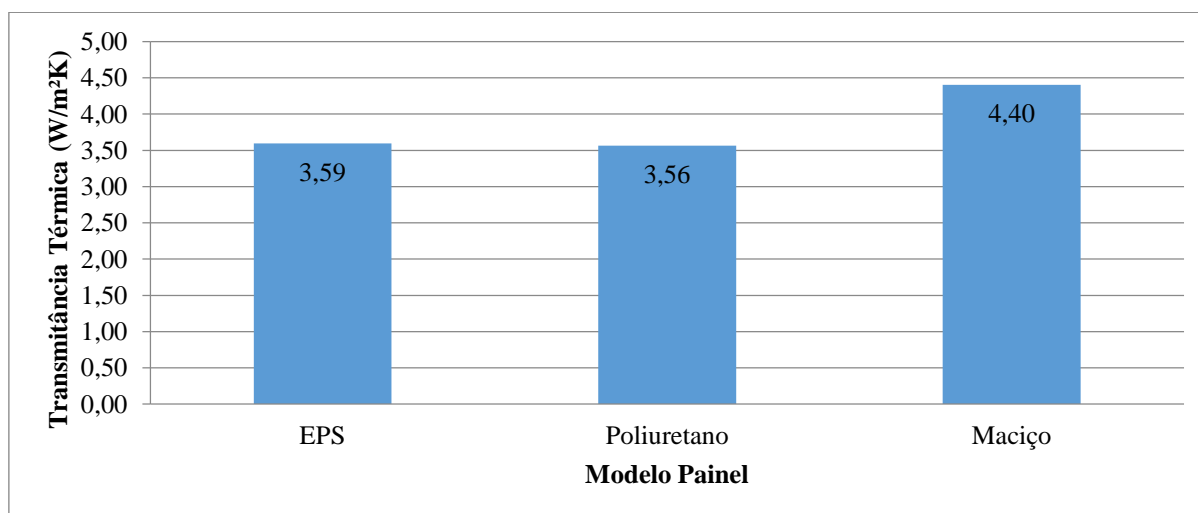
Na Tabela 5 é possível verificar os valores encontrados para as resistências térmicas dos painéis e também a transmitância.

Tabela 5 – Resistência do painel ( $R_i$ ), Resistência Térmica Total ( $R_T$ ) e Transmitância térmica ( $U$ )

Modelo Painel	Resistência do Painel ( $m^2K/W$ )	Resistência Térmica Total ( $m^2K/W$ )	Transmitância térmica ( $W/m^2K$ )
EPS	0,1082	0,2782	3,59
Poliuretano	0,1106	0,2806	3,56
Maciço	0,0571	0,2271	4,40

Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 2 – Comparação da Transmitância térmica ( $U$ ) dos painéis



Fonte: Da autora (2017).

Analisando o gráfico acima podemos notar que os valores da transmitância térmica dos painéis com núcleo isolante em EPS e Poliuretano têm valores inferiores em relação ao painel maciço. Esta característica contribui para um melhor desempenho térmico da

edificação, porém ao analisar a edificação como um todo, devido à pequena diferença entre transmitâncias, é provável que as cargas térmicas totais não apresentem grandes alterações.

Desta forma após o cálculo da transmitância dos painéis foram calculadas também as transmitâncias dos modelos de coberturas citados na metodologia, e vidros e aço utilizados nas aberturas. Estes valores são apresentados na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 – Transmitância térmica (U)

<b>Materialidade</b>	<b>Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K)</b>
Cobertura s/ Isolamento	4,76
Cobertura c/ Isolamento	1,04
Vidro 6mm	5,68
Abertura de Aço	5,88

Fonte: Da autora (2017).

Os valores obtidos no cálculo das transmitâncias térmicas das demais materialidades definidas anteriormente no capítulo da metodologia mostram que as aberturas (portas e janelas) da edificação não terão capacidade térmica para contribuir no desempenho da edificação uma vez que as transmitâncias dos materiais constituintes possuem valores elevados.

Outro ponto analisado é a cobertura, onde foram sugeridos dois modelos, e neste item é possível verificar uma diferença expressiva nos valores da transmitância, podendo assim concluir que a cobertura com isolamento é a mais indicada e a que trará maior conforto térmico à edificação. Diante dos valores obtidos é possível afirmar que a cobertura com isolamento contribuirá de forma mais efetiva no desempenho térmico se comparada aos painéis com núcleo isolante.

#### **4.4 Carga térmica**

Com posse de todas as transmitâncias necessárias, iniciou-se a análise de desempenho térmico da edificação calculando as cargas térmicas totais conforme descrito na metodologia do presente trabalho. Todas as variáveis utilizadas nos cálculos também foram apresentadas no capítulo anterior.

Para análise primeiramente considerou-se as materialidades descritas no projeto da edificação dando sequência ao cálculo com a alteração dos painéis maciços pelos painéis com núcleo isolante propostos no trabalho. Depois de realizada esta análise alterou-se a cobertura proposta inicialmente e recalcularam-se as cargas térmicas totais. Para auxiliar no processo desenvolveu-se uma planilha no *software Microsoft Excel* que encontra-se nos anexos.

Ao todo foram testadas seis combinações diferentes que são apresentadas na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Configuração das seis combinações propostas

<b>Combinação</b>	<b>Configuração</b>
1	Painel maciço + Telhado sem isolamento
2	Painel EPS + Telhado sem isolamento
3	Painel Poliuretano + Telhado sem isolamento
4	Painel maciço + Telhado com isolamento
5	Painel EPS + Telhado com isolamento
6	Painel Poliuretano + Telhado com isolamento

Fonte: Da autora (2017).

Para análise do desempenho térmico e comparação das combinações é necessário definir a carga térmica total de cada fachada considerando a materialidades das paredes e aberturas, e também da cobertura para posteriormente calcular a carga térmica total da edificação.

Os valores de carga térmica individual e total de cada uma das seis combinações e seus elementos são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Carga térmica total (W) das seis combinações

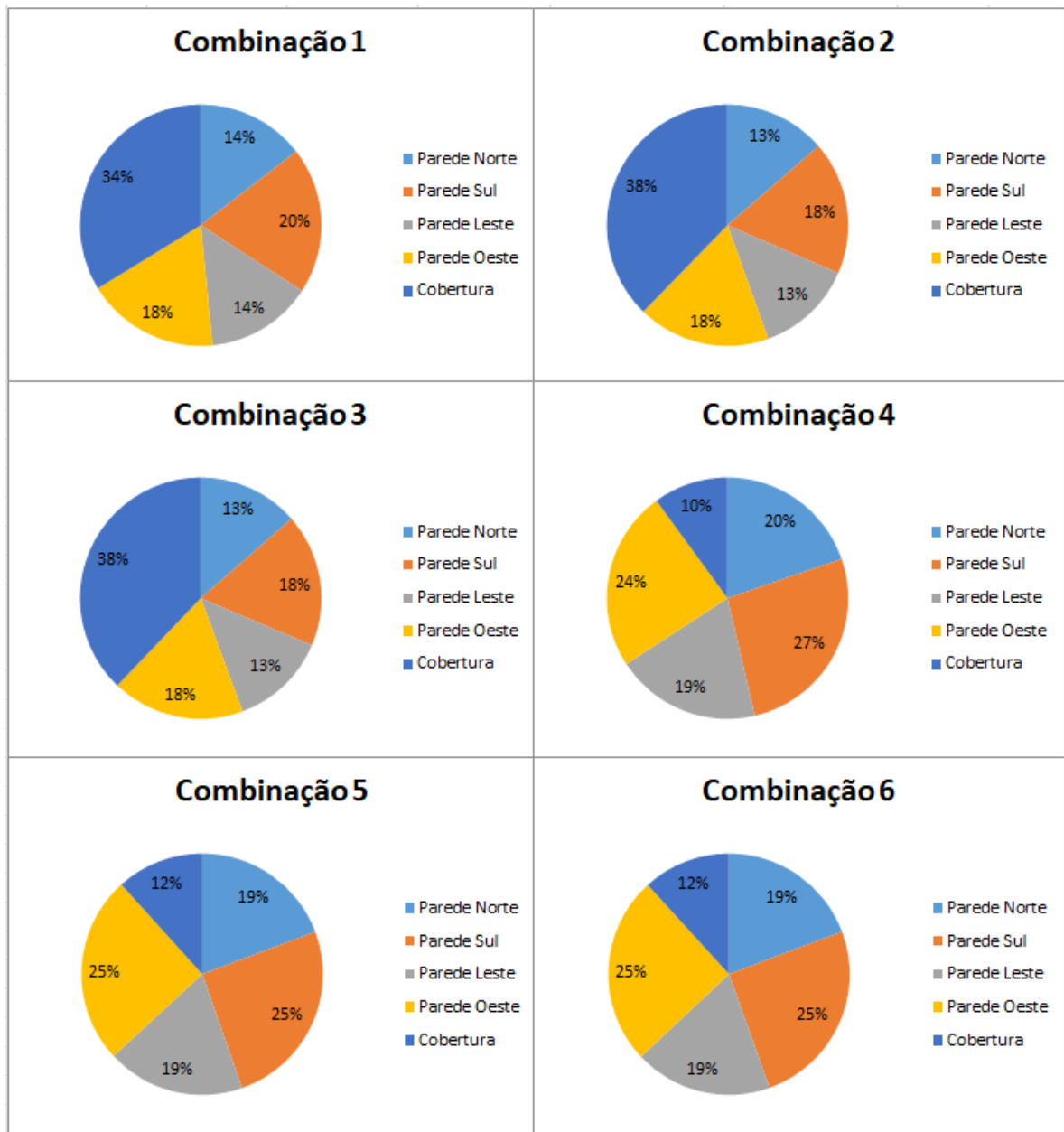
<b>Combinação</b>	<b>Parede Norte</b>	<b>Parede Sul</b>	<b>Parede Leste</b>	<b>Parede Oeste</b>	<b>Cobertura</b>	<b>Total</b>
1	7036,95	9498,69	6929,91	8613,60	16349,97	<b>48429,13</b>
2	5899,99	7754,75	5657,59	7704,80	16349,97	<b>43367,10</b>
3	5857,15	7689,05	5609,66	7670,56	16349,97	<b>43176,39</b>
4	7036,95	9498,69	6929,91	8613,60	3576,59	<b>35655,74</b>
5	5899,99	7754,75	5657,59	7704,80	3576,59	<b>30593,72</b>
6	5857,15	7689,05	5609,66	7670,56	3576,59	<b>30403,01</b>

Fonte: Da autora (2017).

A seguir é apresentado um conjunto de gráficos de todas as combinações analisadas. Nesta etapa é possível verificar a porcentagem de contribuição de carga térmica que cada elemento da edificação proporciona as combinações analisadas.



Gráfico 3 – Porcentagem de carga térmica em cada combinação



Fonte: Da autora (2017).

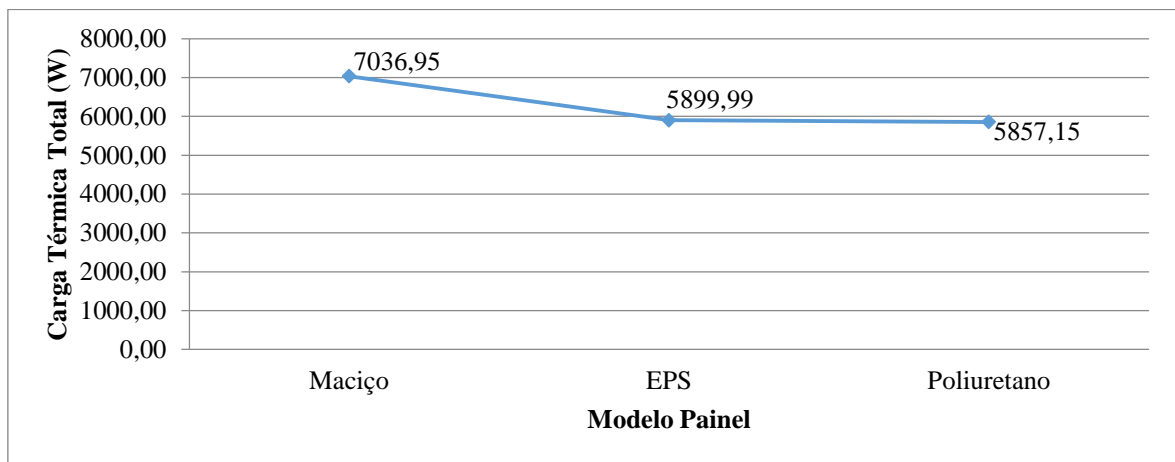
Os gráficos acima demonstram que nas combinações um, dois e três grande parte da carga térmica total da edificação chega ao ambiente interno pela cobertura, e que a aplicação de painéis com núcleo isolante nas fachadas reduz a carga térmica das mesmas, porém não de forma expressiva.

Já nos gráficos das combinações quatro, cinco e seis, onde ocorreu a troca da cobertura simples por cobertura com isolamento, é possível visualizar um aumento da carga térmica total que chega ao ambiente interno pelas fachadas e redução dos índices da cobertura. Ainda

é possível verificar um melhor desempenho dos painéis com núcleo isolante em relação aos maciços, porém os valores que mais chamam a atenção são os da cobertura aplicada nestas três simulações se comparadas com as três primeiras.

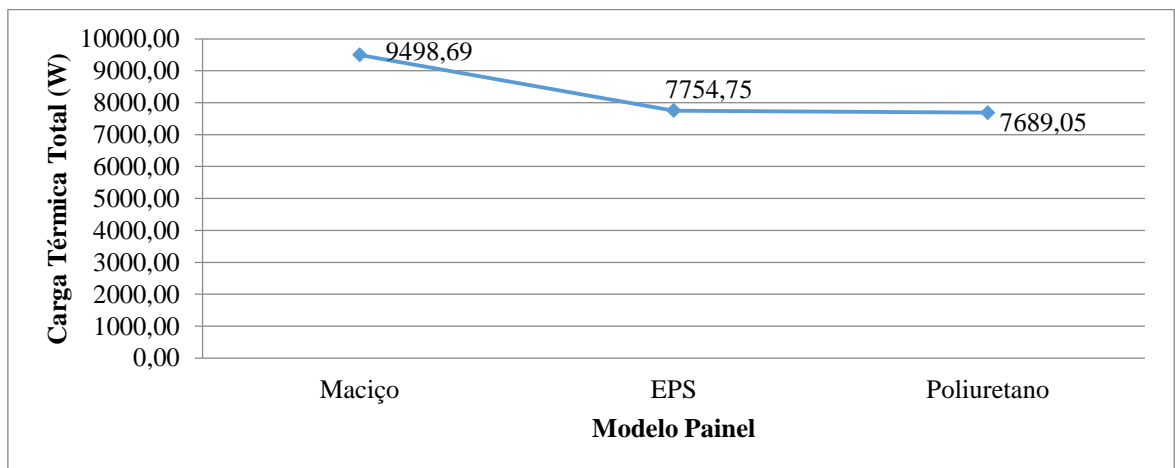
Também é importante comparar a influência de cada painel na carga térmica relacionada a cada uma das orientações das fachadas e modelos de cobertura. Desta forma criaram-se os gráficos a seguir para facilitar a visualização dos resultados.

Gráfico 4 – Comparação da carga térmica total parede Norte



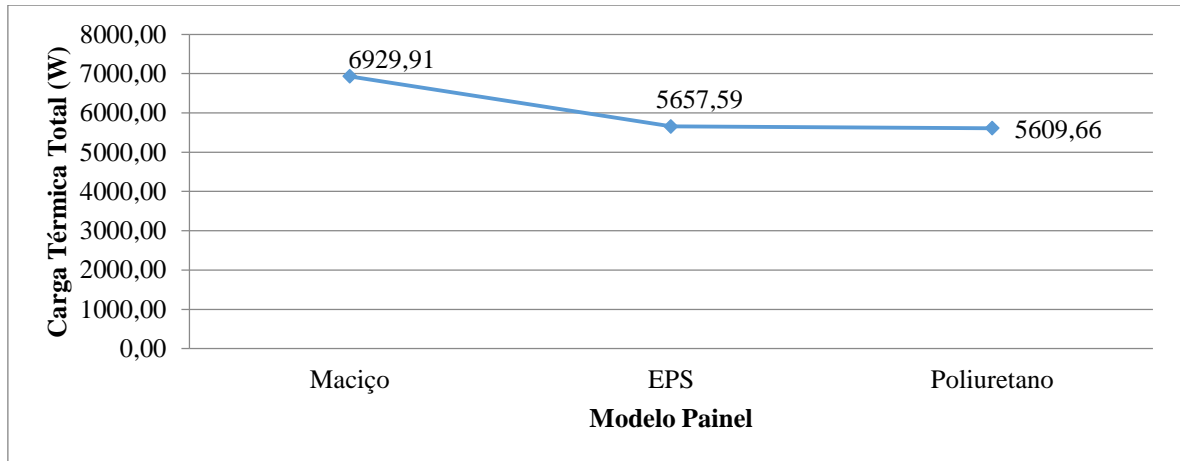
Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 5 – Comparação da carga térmica total parede Sul



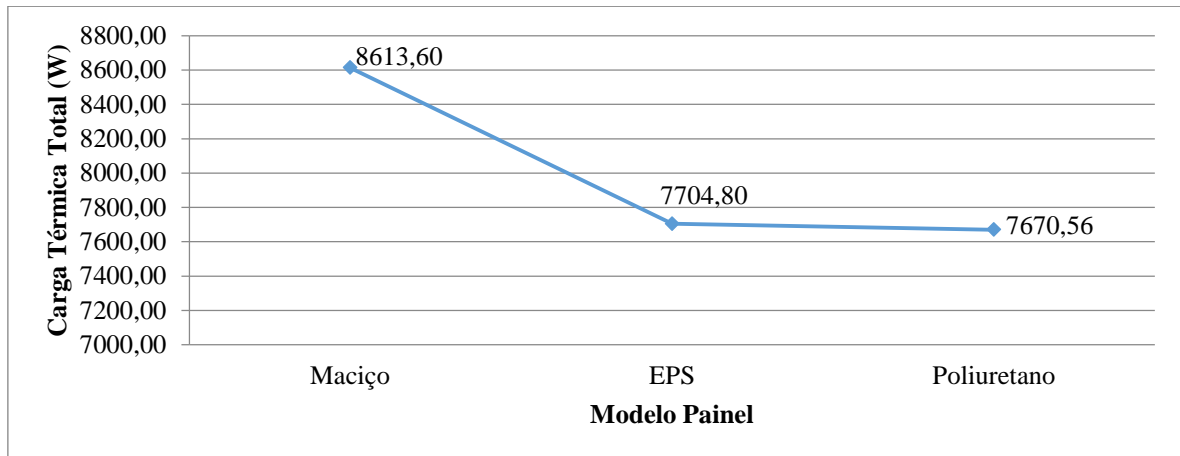
Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 6 – Comparação da carga térmica total parede Leste



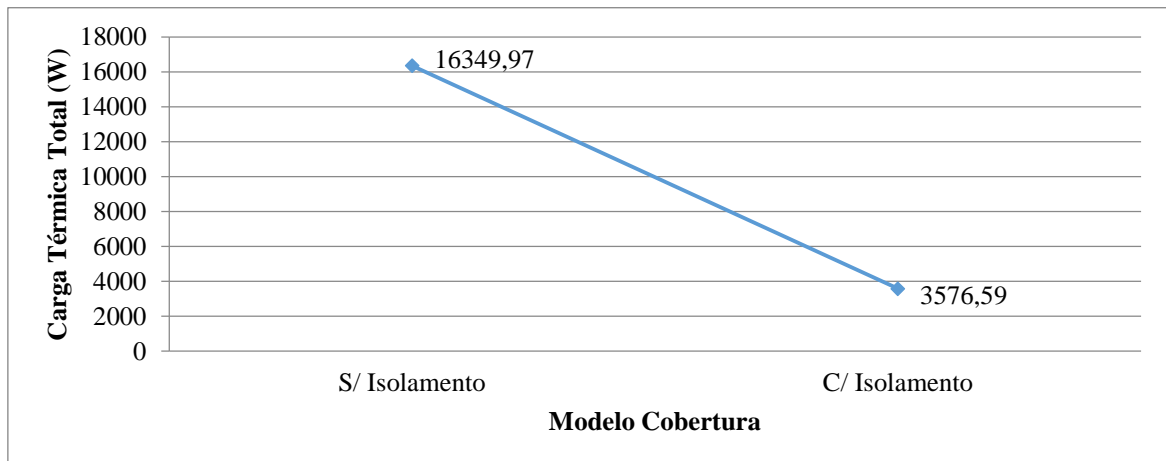
Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 7 – Comparação da carga térmica total parede Oeste



Fonte: Da autora (2017).

Gráfico 8 – Comparação da carga térmica total cobertura



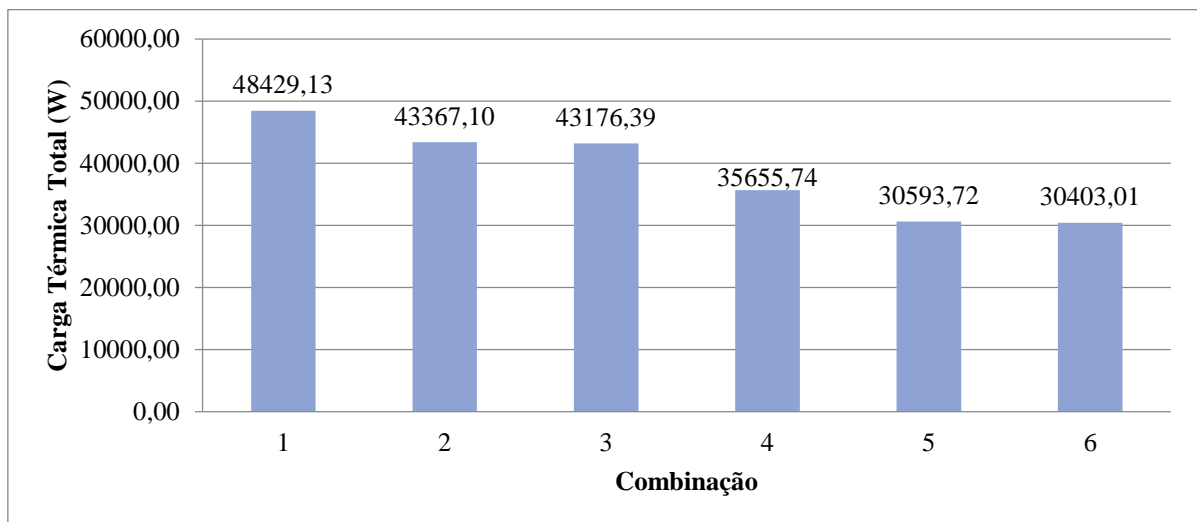
Fonte: Da autora (2017).

A partir destes gráficos é possível visualizar o desempenho dos painéis em cada um dos elementos da edificação. Nas paredes nota-se o melhor desempenho dos painéis cujo núcleo isolante é formado por poliuretano, seguido pelos que contem EPS, e com uma carga térmica total elevada em todas as situações, os maciços. Como citado anteriormente a diferença de valores de carga térmica total não é expressiva, e apesar do uso de núcleo isolante nos painéis melhorar suas propriedades térmicas, é necessário que se analise a viabilidade de troca dos painéis maciços em edificações de grande porte.

Na análise da cobertura nota-se que a diferença de carga térmica é bastante relevante entre os dois modelos sugeridos. Em todas as simulações a cobertura foi o elemento que mais teve influência no conforto térmico da edificação, visto que ao não utilizar o isolamento a carga térmica que acessa o ambiente interno por meio da cobertura supera o valor de 33% do total e ao utilizar isolamento este valor fica abaixo de 13%.

Os dados de carga térmica analisados até então, podem ser visualizados no gráfico a seguir, que faz um comparativo entre todas as combinações. Neste gráfico fica evidente o melhor desempenho dos painéis com núcleo isolante em relação aos maciços e, quando aliados a cobertura com isolamento térmico seus resultados são ainda melhores.

Gráfico 9 – Comparação da Carga Térmica Total das combinações



Fonte: Da autora (2017).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração toda a pesquisa bibliográfica executada concluiu-se que o sistema pré-fabricado possui grande potencial de atender as novas demandas do mercado da construção civil. Apesar de ainda ser um sistema que gera dúvidas aos clientes, e possuir algumas desvantagens, deve-se levar em consideração o fato de suas vantagens atenderem perfeitamente este novo ciclo do setor que é gerado a partir da sustentabilidade, produtividade e lucratividade.

Concluiu-se ainda que, existe sim a possibilidade de execução dos painéis pré-fabricados com núcleo isolante. A composição da estrutura proposta atende aos requisitos mínimos exigidos pelas normas vigentes tornando possível o desenvolvimento dos mesmos.

Quanto ao desempenho estrutural do modelo proposto, o teste de resistência mostrou que os painéis pré-fabricados aliados ao sistema sanduíche com núcleo isolante, podem sim substituir os painéis maciços na função de vedação das estruturas. Mesmo com o núcleo isolante, a armadura em formato de tela nas faces externas dos painéis garantiu que os mesmos tivessem resistências superiores aos maciços usados atualmente na construção civil.

Para o desempenho térmico dos painéis conclui-se que os modelos testados possuem características de isolamento térmico melhores que os painéis maciços, porém para edificações industriais que possuem grandes dimensões com poucas divisórias internas, os resultados não foram tão superiores. Desta forma, antes de se optar pelo uso dos painéis desenvolvidos neste tipo de edificação, é necessário que se leve em conta os custos de produção dos mesmos comparando-os com os maciços, garantindo assim a viabilidade ou não dos painéis nas edificações industriais.

Também é necessário que se analise na fase de projeto, todos os elementos da edificação, uma vez que, somente os painéis não serão capazes de garantir o bom desempenho térmico da mesma. Como visto neste trabalho, a cobertura teve grande influência nos resultados obtidos.

Por fim, conclui-se que a necessidade de evolução na construção civil, principalmente no Brasil, torna-se indispensável para que possamos atingir altos padrões de eficiência energética nas edificações, sejam elas industriais, residenciais ou comerciais. Assim será possível igualar-se aos países desenvolvidos, garantindo maior sustentabilidade no setor e conforto térmico aos usuários do sistema.

Como sugestão de continuação do estudo, incentiva-se a aplicação de outros sistemas na composição do núcleo isolante utilizado nos painéis. Uma ótima opção de uso seriam os materiais naturais como, por exemplo, o sabugo de milho triturado. Deve-se sempre levar em conta, além do desempenho, os custos de cada sistema e suas vantagens para assim verificar sua viabilidade de aplicação no setor da construção civil.

## REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12142**: Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.

\_\_\_\_\_. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.

\_\_\_\_\_. **NBR 15200**: Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013b.

\_\_\_\_\_. **NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2013c.

\_\_\_\_\_. **NBR 16475:** Painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007a.

\_\_\_\_\_. **NBR 7480:** Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2007b.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 7481:** Tela de aço soldada - Armadura para concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 7482:** Fios de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008a.

\_\_\_\_\_. **NBR 7483:** Cordoalhas de aço para estruturas de concreto protendido – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2008b.

\_\_\_\_\_. **NBR 9062:** Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ACKER, A. V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto.** Campinas: Unicamp/FIB, 2002.

ALBUQUERQUE, A. T. de; EL DEBS, M. K. Levantamento dos sistemas estruturais em concreto pré-moldado para edifícios no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 3 e 4 nov. 2005. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal do Ceará, 2005. p. 1-12. Disponível em: <[http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5509/1/2005\\_eve\\_atalbuquerque.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5509/1/2005_eve_atalbuquerque.pdf)>. Acesso em: 8 abr. 2017.



ALMEIDA, M. C. de. **Fachadas com painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto (PPAC) e de alvenaria de blocos cerâmicos com revestimento de pastilha:** Comparativo dos processos de execução. 2010. 80f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26059/000755703.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 mai. 2017.

AZEVEDO, M. P. **Estudo do comportamento de painéis sandwich com conectores em GFRP.** Ensaios à escala real. 2013. 2019f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Braga, 2013. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/30952>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

BARROS, J.; LOURENÇO, L.; OLIVEIRA, L.; SILVA, S.; LOPES, P. **LEGOUSE – Habitação modular pré-fabricada:** Conceito, construção e ensaios. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO SOBRE BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL, 4, 6 e 7 jul. 2015, Porto. **Anais...** Porto: Universidade do Porto, 2015. p. 561-570. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/36607>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

BLOWER, H. C. S. **O lugar do ambiente na educação infantil: Estudo de caso na creche Doutor Paulo Niemeyer.** 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.gae.fau.ufrj.br/assets/dissert\\_helide\\_mar2008.pdf](http://www.gae.fau.ufrj.br/assets/dissert_helide_mar2008.pdf)>. Acesso em: 16 mai. 2017.

BRASIL. **Setor da construção civil aposta em crescimento e geração de empregos com mudanças no MCMV.** Brasília: Ministério das Cidades, 2017. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/acompanhe-planalto/noticias/2017/02/setor-da-construcao-civil-aposta-em-crescimento-e-geracao-de-empregos-com-mudancas-no-mcmv>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

BRUMATTI, D. O. **Uso de pré-moldados moldados:** Estudo e viabilidade. 2008. 54f. Monografia (Especialista em Construção Civil) – Universidade federal de Minas Gerais, Vitória, 2008. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg1/Monografia%20Dioni%20O.%20Brumatti.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2017.

CIOCCHI, L. As vantagens dos painéis de concreto industrializados. **Pini Web**, 2003. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/as-vantagens-dos-paineis-de-concreto-industrializados-80193-1.aspx>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

CORSINI, R. Fachada montadas. **Téchne**, 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/179/artigo285916-2.aspx>>. Acesso em: 6 mai. 2016.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: Métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. 160p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257698/1/Dornelles\\_KelenAlmeida\\_D.pdf](http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257698/1/Dornelles_KelenAlmeida_D.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2017.

DUARTE, V. M. N. Pesquisas: Exploratória, descritiva e explicativa. **Brasil Escola.** [2013?]. Disponível em: <<http://monografias.brasilecola.uol.com.br/regras-abnt/pesquisas-exploratoria-descritiva-explicativa.htm>>. Acesso em: 24 mai. 2017.

EPS BRASIL. **O que é EPS?**. [2014?], Disponível em: <<http://www.epsbrasil.eco.br/eps/index.html>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

FONSÊCA, F. J. C. da. Projeto de painéis sanduíche de concreto pré-moldado. 1994. 190f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1994ME\\_FernandoJufatCavalcantidaFonseca.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/1994ME_FernandoJufatCavalcantidaFonseca.pdf)>. Acesso em: 14 mai. 2017.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico: Arquitetura, urbanismo.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001. E-book. Disponível em: <<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18350/material/ManualConfortoTERMICO.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2017.

GASPARETTO JUNIOR, A. G. Industrialização. **Info Escola,** [201?]. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/historia/industrializacao/>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

GERDAU. **Aço para construção civil.** [S.d.]. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/productservices/products/Document%20Gallery/catalogo-construcao-civil.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ISAR. Isolamentos Térmicos e Acústicos. **Poliuretano.** [2015?]. Disponível em: <<http://www.isar.com.br/produtos/isolamento-termico/poliuretano/>>. Acesso em: 17 mar. 2017.

LAMBERTS, R. **Conforto e stress térmico.** Santa Catarina: Universidade Federal de Santa Catarina, 2011. [apostila]. Disponível em: <[http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200\\_apostila%202011.pdf\\_2.pdf](http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ECV4200_apostila%202011.pdf_2.pdf)>. Acesso em: 16 mai. 2017.

LEONARDI. **Primeira construção pré-fabricada de concreto no Brasil**. Atibaia: [S.l.], 2016. Disponível em: <<http://www.leonardi.com.br/noticia/15/2016-02-01/pre-fabricados-de-concreto-no-brasil>>. Acesso em: 9 abr. 2017.

LERIN, D.; LOURENSINI, L. **Desempenho térmico de uma edificação unifamiliar**. Lajeado: Univates, 2016. [Arquivo pessoal].

LOURENSINI, L. **Relatório do estágio supervisionado I: Concreto pré-fabricado, racionalização e produtividade**. Lajeado: Univates, 2016. [Arquivo pessoal].

OLIVEIRA, L. A. de. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 191f. Dissertação (mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04062003-100758/en.php>>. Acesso em: 7 mai. 2017.

PERALTA, G. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. 131f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18141/tde-16042007-154420/publico/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

SANTOS JUNIOR, Orlando A.; GAFFNEY, Christopher; RIBEIRO, Luiz C. Q. **Brasil: Os impactos da Copa do Mundo 2014 e das Olimpíadas 2016**. 1. ed. Rio de Janeiro: E-papers, 2015. E-book. Disponível em: <[http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/114988/1/2015\\_GaffneyC\\_livro\\_megaeventos\\_2015.pdf](http://www.zora.uzh.ch/id/eprint/114988/1/2015_GaffneyC_livro_megaeventos_2015.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2017.

SENDEN, H. O. T. **Sistemas construtivos em concreto pré-moldado**. 2015. 66f. Projeto (Graduação em Engenharia) – Universidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10015768.pdf>>. Acesso em: 8 abr. 2017.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A.; PIGOZZO, B. N. Evolução dos pré-fabricados de concreto. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PRODUÇÃO EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO, 1, 3 e 4 nov. 2005. **Anais...** São Carlos: Universidade Federal do Ceará, 2005. p. 1-10. Disponível em: <[http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/cd/conteudo/trab\\_pdf/164.pdf](http://www.set.eesc.usp.br/1enppcpm/cd/conteudo/trab_pdf/164.pdf)>. Acesso em: 8 abr. 2017.

SILVA, F. B. D. Painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para execução de paredes. **Techne**, 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/180/artigo286898-1.aspx>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

SILVA, J. Versáteis, painéis conquistam mercado. **Arco Web**, 2009. Disponível em: <<https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/paineis-para-fechamento-de-fachadas-pre-moldados-01-03-09>>. Acesso em: 29 abr. 2017.

SILVA, P. D. M. **Aplicação de Técnicas BIM à construção modular com painéis sandwich**. 2012. 126f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Braga, 2012. Disponível em: <<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/30309/1/Tese%20Pedro%20Daniel%20Moreira%20da%20Silva%202012.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2017.

SIMÃO. C.A. Painéis de fechamento em concreto pré-moldado. **Premonta**, 2014. Disponível em: <<http://premonta.com.br/paineis-de-fechamento-em-concreto-pre-moldado/>>. Acesso em: 6 mai. 2017.

SIQUEIRA, T. C. P. A.; AKUTSU, M.; LOPES, J. I. E.; SOUZA, H. A. de. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Rem: Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 58, n. 2, p. 133-138, June 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-44672005000200007](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672005000200007)>. Acesso em: 18 mai. 2017.

TEMOCHE-ESQUIVEL, J. F.; TOMAZETTI, R. R.; BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Painéis pré-fabricados de concreto em fachadas de edifícios: inovação tecnológica consolidada? In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 23 a 25 ago. 2006, Santa Catarina. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 33073316. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006\\_3307\\_3316.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_3307_3316.pdf)>. Acesso em: 7 mai. 2017.



**UNIVATES**

R. Avelino Tallini, 171 | Bairro Universitário | Lajeado | RS | Brasil  
CEP 95900.000 | Cx. Postal 155 | Fone: (51) 3714.7000  
[www.univates.br](http://www.univates.br) | 0800 7 07 08 09