

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Ismael Sulis Binkowski**

**ESTUDO DE CASO: EXECUÇÃO DE SISTEMA DE  
FECHAMENTO VERTICAL COM PLACAS DE  
CONCRETO PRÉ-FABRICADAS**

Porto Alegre

Julho 2019

**ISMAEL SULIS BINKOWSKI**

**ESTUDO DE CASO: EXECUÇÃO DE SISTEMA DE  
FECHAMENTO VERTICAL COM PLACAS DE  
CONCRETO PRÉ-FABRICADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira**

Porto Alegre

Julho de 2019

**ISMAEL SULIS BINKOWSKI**

**ESTUDO DE CASO: EXECUÇÃO DE SISTEMA DE  
FECHAMENTO VERTICAL COM PLACAS DE  
CONCRETO PRÉ-FABRICADAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pela Professora Orientadora e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, julho de 2019

**BANCA EXAMINADORA**

**Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)**  
Doutora pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Orientadora

**João Ricardo Masuero (UFRGS)**  
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Deividi Maurente Gomes da Silva (UFRGS)**  
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## **AGRADECIMENTOS**

À orientadora deste trabalho, Prof. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira, o meu sincero agradecimento pelas horas dedicadas a este trabalho, pela paciência, preocupação, por sempre me receber de forma acolhedora e principalmente por compartilhar um pouco de seu conhecimento.

Agradeço a minha mãe, Márcia, por todo suporte, carinho e atenção durante toda minha existência. Sei o quanto batalhou e da importância deste momento na sua vida. Saiba que é minha fonte de inspiração e motivação diária.

Às minhas irmãs, Gabriela, Jéssica e Rebeca, por estarem sempre ao meu lado, por todo incentivo e por sempre prezar por nossa união.

Ao meu primo, Pedro e meus sobrinhos, João, Davi e Martina, por trazerem mais felicidade aos meus dias e mesmo com pouca idade, já me ensinarem muitas coisas.

À minha namorada, Camila, por todo apoio e dedicação demonstrados durante a realização deste trabalho. Pelo amor, compreensão e carinho que trazem alegria aos meus dias.

Enfim, agradeço a todos amigos, familiares e colegas de trabalho, que contribuíram para minha formação pessoal e profissional, durante este ciclo.

## **RESUMO**

Devido ao avanço tecnológico e a busca por sistemas de construção cada vez mais rápidos, os painéis de concreto pré-moldados ganham cada vez mais espaço na indústria da construção. Possibilitam velocidade na construção, uma vez que o sistema construtivo permite racionalizar o trabalho, resultando em uma obra rápida, limpa e sem desperdícios de materiais comparados ao sistema construtivo convencional que é realizado com blocos de vedação e argamassa de revestimento. Por ser um método de construção pouco disseminado, sua implantação, com qualidade, ainda é tarefa difícil para construtoras no Brasil. Por este motivo, este trabalho analisa as etapas de utilização de painéis de concreto pré-fabricados em uma edificação situada em Porto Alegre, através de observações em campo, análise de documentos técnicos e levantamento de não conformidades. Ao final do estudo, verificou-se que a escolha do sistema de painéis pré-fabricados de concreto para vedação vertical de fachadas, exige um investimento maior em planejamento, detalhes construtivos e controle de qualidade na fabricação, tendo em vista o aproveitamento máximo das características do sistema.

Palavras-chave: Sistema de Vedação Vertical, Painéis de Concreto Pré-fabricados, Juntas Entre Painéis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas do trabalho .....	17
Figura 2- Desempenho ao longo do tempo .....	20
Figura 3- Paineis maciço .....	30
Figura 4- Paineis alveolar .....	31
Figura 5- Paineis sanduíche .....	31
Figura 6- Paineis nervurado .....	32
Figura 7- Paineis de parede dupla.....	32
Figura 8- Paineis reticulado .....	33
Figura 9- Exemplo de ligação de alinhamento .....	36
Figura 10- Exemplo de ligação de contraventamento .....	37
Figura 11- Exemplo de ligação de gravidade .....	37
Figura 12- Exemplo de junta entre painéis.....	38
Figura 13- Exemplo de <i>layout</i> de fábrica de pré-fabricado .....	46
Figura 14- Etapas de fabricação de elementos em concreto .....	47
Figura 15- Montagem da armadura de um painel .....	48
Figura 16- Lançamento de concreto em painel .....	49
Figura 17- Adensamento com vibrador de imersão .....	51
Figura 18- Desempenadeira metálica usada para acabamento superficial liso .....	51
Figura 19- <i>Insert</i> de içamento em forma de elo .....	55
Figura 20- <i>Insert</i> de içamento em alça de cabo de aço .....	56
Figura 21- Sequência de montagem do sistema de fixação no topo do painel.....	57
Figura 22- Sequência de montagem do sistema de fixação na base do painel .....	58
Figura 23- Fixação de painéis sem base horizontal de apoio .....	59
Figura 24- Parâmetros conforme tabela 5 .....	61
Figura 25- Esquema para estabelecimento de folga em projeto.....	62
Figura 26- Vista da fachada da obra.....	65
Figura 27- Projeto inicial das paredes externas da edificação.....	67
Figura 28- Vistas do painel de concreto.....	67
Figura 29- Detalhe do encaixe entre placas.....	69
Figura 30- Detalhe do console dos pilares para sustentação dos painéis .....	69
Figura 31- Detalhe da ligação de contraventamento .....	70

Figura 32- Detalhe das juntas horizontais e verticais.....	71
Figura 33- Dados técnicos do selante utilizado na junta.....	71
Figura 34- Execução de melhoria na via para acesso de carretas.....	72
Figura 35- Aplicação de brita na área de manobra de carretas.....	73
Figura 36- Montagem de painéis.....	75
Figura 37- Cantoneira metálica com pontos de corrosão.....	78
Figura 38- Sistema de ligação proposto para edificação em estudo.....	79
Figura 39- Irregularidade no capeamento de concreto.....	80
Figura 40- Falta de detalhe de encaixe na região da cantoneira metálica.....	81
Figura 41- Painel com dimensões fora de tolerância.....	82
Figura 42- Falta de esquadro em painel.....	73
Figura 43- Cantoneira metálica fora de posição.....	84
Figura 44- Painel fabricado de forma invertida.....	85
Figura 45- Armadura do painel exposta.....	86
Figura 46- Desalinhamento da face externa entre painéis.....	87
Figura 47- Não conformidades no selamento de juntas.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Vida útil de projeto .....	19
Tabela 2- Critérios para deslocamentos e ocorrência de falhas .....	21
Tabela 3- Transmitância térmica de paredes externas.....	24
Tabela 4- Capacidade térmica de paredes externas.....	24
Tabela 5- Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistema de vedações verticais.....	25
Tabela 6- Estanqueidade à água de vedações verticais externas.....	25
Tabela 7- Propriedades de selantes .....	41
Tabela 8- Coeficiente de dilatação térmica para diferentes materiais.....	43
Tabela 9- Coeficiente de movimentação higroscópica.....	44
Tabela 10- Largura de junta recomendada para juntas com face selada .....	44
Tabela 11- Relação entre largura e profundidade de selantes .....	45
Tabela 12- Tolerâncias dimensionais no processo de fabricação .....	53
Tabela 13- Tolerâncias de montagem .....	61
Tabela 14- Tolerâncias da estrutura de suporte .....	62
Tabela 15- Tolerâncias a serem consideradas para cálculo da folga entre painel e estrutura ...	63
Tabela 16- Estabelecimento de folgas de acordo com PCI (1989) .....	63
Tabela 17- Processo de montagem de painéis.....	74
Tabela 18- Cronograma inicial de montagem de painéis.....	75
Tabela 19- Resumo de não conformidades .....	77
Tabela 20- Relação da espessura de painéis e tempo de resistência ao fogo .....	89
Tabela 21- Pressões sonoras .....	90
Tabela 22- Valores de transmitância, capacidade e atraso térmico para paredes de concreto ....	91

## **LISTA DE SIGLAS**

ASTM – *American Society for Testing Material*

FAS – Fator de acomodação do selante

VUP – Vida útil de projeto

## LISTA DE SÍMBOLOS

$J$  = Largura mínima da junta, em milímetros

$\Delta l$  = movimentação do painel para as variações térmicas ou higroscópicas

$Tm$  = tolerância de montagem

$\Delta t$  = movimentação térmica

$\Delta u$  = movimentação higroscópica

$\Delta t$  = variação de temperatura

$l$  = comprimento do painel

$\alpha$  = coeficiente de dilatação térmica

$u$  = coeficiente de movimentação higroscópica

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	15
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
2.2 OBJETIVOS DE PESQUISA .....	15
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	15
<b>2.2.2 Objetivo secundário</b> .....	15
2.3 PRESSUPOSTO .....	15
2.4 PREMISSA .....	16
2.5 DELIMITAÇÕES .....	16
2.6 LIMITAÇÕES.....	16
2.7 DELINEAMENTO .....	16
<b>3 VEDAÇÃO VERTICAL DA EDIFICAÇÃO</b> .....	18
3.1 DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS .....	19
<b>3.1.1 Desempenho estrutural</b> .....	20
<b>3.1.2 Desempenho contra incêndio</b> .....	22
<b>3.1.3 Desempenho acústico</b> .....	22
<b>3.1.4 Desempenho térmico</b> .....	23
<b>3.1.5 Estanqueidade a água</b> .....	24
<b>3.1.6 Durabilidade e manutenibilidade</b> .....	26
<b>4 INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	27
4.1 SISTEMA DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO.....	28
4.2 REQUISITOS DE QUALIDADE DA ESTRUTURA .....	29
4.3 REQUISITOS QUANTO A QUALIDADE DE PROJETO.....	29
4.4 CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO.....	30
<b>4.4.1 Classificação quanto ao formato geométrico da seção transversal</b> .....	30
4.4.1.1 Maciços .....	30
4.4.1.2 Alveolares .....	31
4.4.1.3 Sanduíches .....	31
4.4.1.4 Nervurados.....	32
4.4.1.5 Painéis de parede dupla .....	32
4.4.1.6 Painéis reticulados ou mistos .....	33
<b>4.4.2 Classificação quanto ao uso</b> .....	33
<b>4.4.3 Classificação quanto ao acabamento</b> .....	33

4.4.3.1 Painéis de parede bruto .....	33
4.4.3.2 Painéis de parede dupla .....	34
<b>4.4.4 Classificação quanto ao comportamento estrutural.....</b>	<b>34</b>
4.4.4.1 Painéis de parede estrutural .....	34
4.4.4.2 Painéis de parede não estrutural .....	34
4.5 FIXAÇÃO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO.....	34
<b>4.5.1 Classificação das ligações .....</b>	<b>35</b>
4.5.1.1 Ligações de alinhamento .....	35
4.5.1.2 Ligações de contraventamento .....	36
4.5.1.3 Ligações de gravidade .....	37
4.6 JUNTAS ENTRE PAINÉIS DE VEDAÇÃO.....	38
<b>4.6.1 Propriedades dos selantes.....</b>	<b>39</b>
4.6.1.1 Propriedades elastoméricas .....	39
4.6.1.2 Resistência de aderência .....	39
4.6.1.3 Dureza.....	40
4.6.1.4 Durabilidade .....	40
<b>4.6.2 Escolha do selante.....</b>	<b>40</b>
<b>4.6.3 Largura e espessura das juntas.....</b>	<b>42</b>
<b>5 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS.....</b>	<b>46</b>
5.1 ARMADURA .....	47
5.2 FORMAS .....	48
5.3 CONCRETO .....	48
5.4 ADENSAMENTO ACABAMENTO E CURA DO CONCRETO.....	50
5.5 TOLERÂNCIAS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	52
<b>6 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE FACHADAS PRÉ-FABRICADAS.....</b>	<b>54</b>
6.1 SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO E ENVIO DE PEÇAS.....	54
6.2 IÇAMENTO.....	55
6.3 ARMAZENAMENTO .....	56
6.4 MÉTODOS DE FIXAÇÃO .....	56
<b>6.4.1 Fixação no topo do painel.....</b>	<b>57</b>
<b>6.4.2 Fixação na base do painel.....</b>	<b>57</b>
<b>6.4.3 Fixação de painéis sem a base horizontal de apoio.....</b>	<b>58</b>
6.5 EXECUÇÃO DE SELAMENTO.....	59
6.6 TOLERÂNCIAS DE MONTAGEM .....	60
6.7 ESTABELECIMENTO DE FOLGAS DE PROJETO .....	62
<b>7 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>65</b>

7.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA.....	65
<b>7.1.1 PAINEL.....</b>	<b>67</b>
<b>7.1.2 SISTEMA DE FIXAÇÃO .....</b>	<b>68</b>
<b>7.1.3 JUNTAS .....</b>	<b>70</b>
7.2 EXECUÇÃO DA FACHADA .....	72
<b>7.2.1 ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA.....</b>	<b>75</b>
7.3 NÃO CONFORMIDADES.....	77
<b>7.3.1 NÃO CONFORMIDADES DE PROJETO .....</b>	<b>78</b>
7.3.1.1 Não conformidades no sistema de fixação.....	78
7.3.1.2 Ausência de folgas de projeto .....	80
7.3.1.3 Não conformidade na escolha do material selante .....	80
7.3.1.4 Falta de detalhes construtivos .....	81
<b>7.3.2 NÃO CONFORMIDADES DE FABRICAÇÃO.....</b>	<b>81</b>
7.3.2.1 Dimensão dos painéis.....	82
7.3.2.2 Esquadro dos painéis .....	83
7.3.2.3 Posicionamento da cantoneira metálica .....	83
7.3.2.4 Painéis invertidos .....	84
<b>7.3.3 NÃO CONFORMIDADES DE MONTAGEM.....</b>	<b>85</b>
7.3.3.1 Exposição da armadura dos painéis.....	85
7.3.3.2 Desalinhamento da face externa dos painéis .....	86
7.3.3.3 Não conformidades na execução do selamento de juntas .....	87
7.4 ATENDIMENTO AO DESEMPENHO .....	88
<b>7.4.1 ATENDIMENTO AO DESEMPENHO CONTRA INCÊNDIO .....</b>	<b>88</b>
<b>7.4.2 ATENDIMENTO AO DESEMPENHO ACÚSTICO.....</b>	<b>89</b>
<b>7.4.3 ATENDIMENTO AO DESEMPENHO TÉRMICO.....</b>	<b>91</b>
<b>7.4.4 ATENDIMENTO A DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE .....</b>	<b>92</b>
7.5 RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO .....	92
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>95</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A industrialização da construção busca cada vez mais soluções com maior rapidez de execução, sistematização e otimização de processos construtivos. Segundo Barth e Vefago (2007), este tipo de industrialização gera um grande desenvolvimento do setor da construção, propiciando mão de obra mais qualificada, maior conhecimento tecnológico, oferta de equipamentos mais avançados e maior controle de qualidade, gerando produtos com maior valor agregado. As fachadas pré-fabricadas tornam-se economicamente vantajosas em edificações com grandes dimensões ou determinados graus de repetições de painéis. Elas também podem reduzir prazos finais de execução ao possibilitar a antecipação das etapas de fabricação dos painéis, enquanto a estrutura ainda está sendo construída, além disso, a racionalização da montagem com equipamentos e mão de obra especializada conduz a prazos exíguos de fechamento do edifício, possibilitando o início de outras atividades do caminho crítico, tais como, colocação de esquadrias, instalações, forros e revestimentos internos.

Os painéis de vedação pré-fabricados de concreto têm ganhado espaço no setor da construção, porém, sua implantação com qualidade ainda é um desafio para as construtoras do mercado brasileiro. Neste contexto, para que o sistema de painéis seja eficaz, deve-se projetar todos os elementos que compõe a fachada, visando facilidade na montagem, vedação, acesso à manutenção e durabilidade do sistema.

As fachadas pré-fabricadas, assim como o sistema tradicional composto por blocos de vedação e revestimento, estão sujeitas a manifestações patológicas. Por este motivo, é exigido um controle de qualidade maior durante a etapa de fabricação dos elementos, evitando que decisões precipitadas sejam tomadas no canteiro de obras.

Acreditando que os processos industrializados devem ser mais difundidos no mercado nacional, este trabalho visa aprofundar os estudos sobre a tecnologia de painéis de vedação pré-fabricados, analisando os elementos do sistema construtivo, processo de fabricação e montagem. Além disso, realizou-se um estudo de caso em uma edificação localizada na cidade de Porto Alegre, visando exemplificar como a tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados de concreto está sendo utilizada no Rio Grande do Sul.

## **2. DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes da pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho são descritas nos itens seguintes.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

Quais os principais itens que devem ser considerados para o máximo aproveitamento na qualidade de execução, velocidade de montagem e atendimento de requisitos de normas e bibliografia existentes do sistema de painéis pré-fabricados?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo principal**

Este trabalho tem como objetivo a análise crítica de execução de sistema de fechamento vertical com placas de concreto pré-fabricadas em obra situada na zona norte de Porto Alegre.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

A partir da revisão bibliográfica será realizado a descrição de pré-requisitos de desempenho em vedações verticais, descrição do processo de fabricação e execução do sistema de painéis de concreto e descrição de tolerâncias de fabricação e montagem do sistema de painéis de concreto.

### **2.3 PRESSUPOSTO**

Pressupõe-se que a industrialização dos sistemas de vedação vertical é uma tendência no Brasil, estimulando a pesquisa e aplicações de sistemas inovadores na construção civil. Portanto, as informações sobre estes sistemas devem ser fornecidas em quantidade e qualidade suficientes para atender às dúvidas dos consumidores e difundir a tecnologia.

## 2.4 PREMISSAS

Este trabalho tem como premissa o fato de que é preciso adotar projetos otimizados, onde se minimize as decisões tomadas em canteiros de obras, a fim de garantir o desempenho do sistema projetado, gerando economia e velocidade na construção.

## 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise da montagem, atendimento ao cronograma e verificação dos principais itens que compõe sistema de painéis de concreto pré-fabricados em uma edificação urbana situada na cidade de Porto Alegre / RS.

## 2.6 LIMITAÇÕES

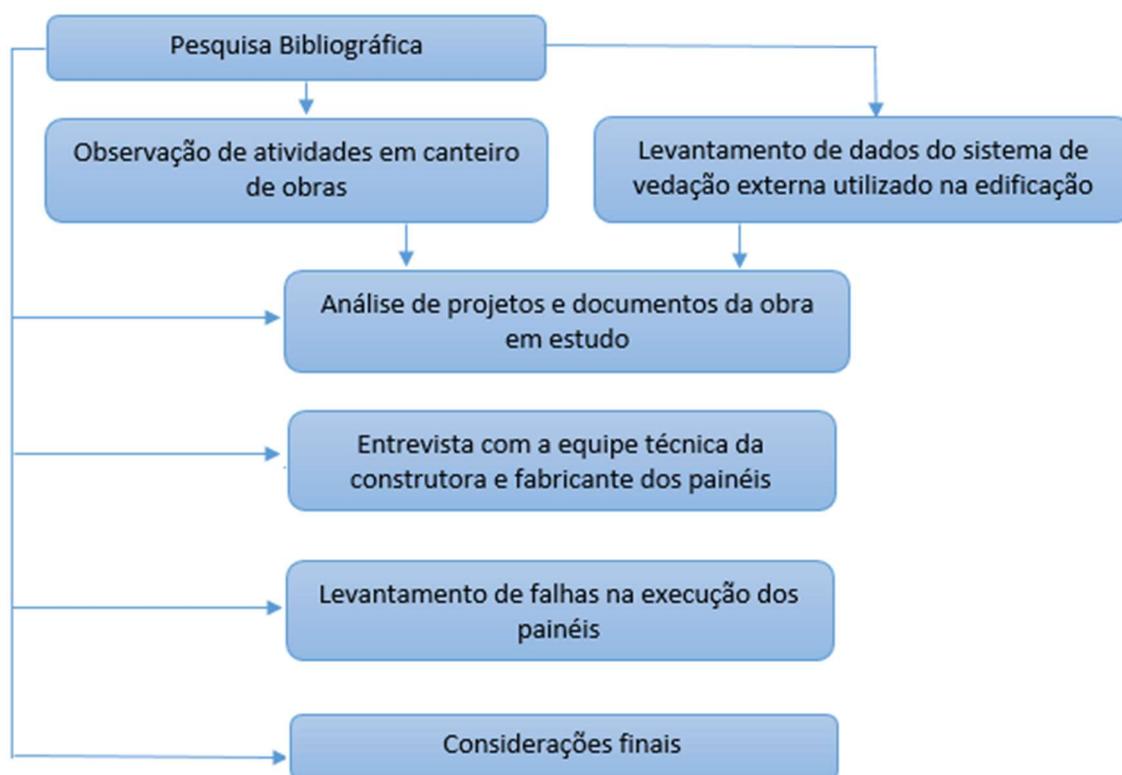
Não está no escopo deste trabalho o dimensionamento dos elementos que compõe o sistema e a análise de custos desta tecnologia. Também não serão elaborados novos projetos ou detalhes para não conformidades encontradas no estudo.

## 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos seguintes parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) observação das atividades em canteiro de obras;
- c) levantamento de dados do sistema de vedação externo utilizado na edificação;
- d) análise de projetos e documentos da obra em estudo;
- e) entrevista com equipe técnica da construtora e fabricante dos painéis;
- f) levantamento de falhas na execução dos painéis;
- g) considerações finais;

Figura 1 – Etapas do trabalho



(fonte: própria do autor)

O presente trabalho foi iniciado pela pesquisa bibliográfica, onde foi possível obter informações sobre os requisitos de desempenho da vedação vertical externa, assim como as diretrizes de projeto e execução do sistema de painéis de concreto pré-fabricados.

A segunda etapa foi o levantamento de informações realizado através da observação em campo, análise de projetos e demais documentos técnicos relacionaodos ao estudo. Também foi realizado entrevistas com a equipe técnica da construtora e fabricante dos painéis, a fim de tirar dúvidas quanto à execução dos painéis.

Após estas etapas, fez-se a análise dos componentes do sistema escolhido para a edificação em estudo, onde foram apontadas não conformidades de projeto, de fabricação e de montagem dos painéis.

Por fim, fez-se as considerações finais do trabalho, através de uma análise dos resultados obtidos neste estudo.

### 3. VEDAÇÃO VERTICAL DA EDIFICAÇÃO

A vedação vertical é definida por Franco (1998), como:

Um dos principais subsistemas que condicionam o desempenho do edifício, sendo a principal responsável por características ligadas ao conforto térmico e acústico, pela segurança de utilização e frente a ações excepcionais e pelo desempenho estético que proporciona valorização do imóvel. Suas características condicionam também a possibilidade de ocorrência de problemas patológicos, nos seus próprios componentes, ou nos subsistemas que nela estão localizados como as instalações prediais, ou ainda nos problemas de interface com os demais subsistemas dos edifícios.

Ainda segundo Franco (1998), a vedação vertical tem como principais funções compartimentar a edificação e propiciar aos ambientes característica que permitam o adequado desenvolvimento das atividades para as quais elas foram designadas.

Mesmo sem função estrutural, as vedações podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas ou sofrer as ações decorrentes das deformações das estruturas, requerendo assim análise conjunta do desempenho dos elementos que interagem. Podem também interagir com demais componentes, elementos e sistemas da edificação, como caixilhos, esquadrias, estruturas, coberturas, pisos e instalações. Conforme a NBR 15575-4 (ABNT,2013b), as vedações verticais exercem ainda outras funções, como estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica, capacidade de fixação de peças suspensas, capacidade de suporte a esforços de uso, compartimentação em casos de incêndio etc.

Segundo Sabbatini (1989), o sistema de vedação vertical pode ser caracterizado de acordo com seu processo de produção, podendo este ser:

- a) tradicional: quando se tem grande uso da mão de obra e baixa mecanização do processo;
- b) racionalizada: quando se planeja o processo executivo tendo como objetivo a redução do desperdício e o aumento da produtividade;
- c) industrializado: quando se utiliza componentes previamente fabricados com fixação posterior em canteiro de obra.

### 3.1 DESEMPENHO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS

As normas de desempenho têm como objetivo atender à exigência dos usuários em relação aos sistemas que compõe a edificação. Estas exigências referem-se à segurança, à habitabilidade, à sustentabilidade e ao nível de desempenho. Para definição dos critérios descritos nos próximos itens, serão consideradas somente edificações do tipo educacional, com altura e sistema construtivo semelhantes à edificação do estudo de caso.

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013a) estabelece prazos mínimos de vida útil de projeto (VUP), para cada sistema da edificação, conforme tabela 1, sendo a VUP definida como o tempo para qual o sistema é projetado de maneira a atender, durante todo este período, aos requisitos de desempenho.

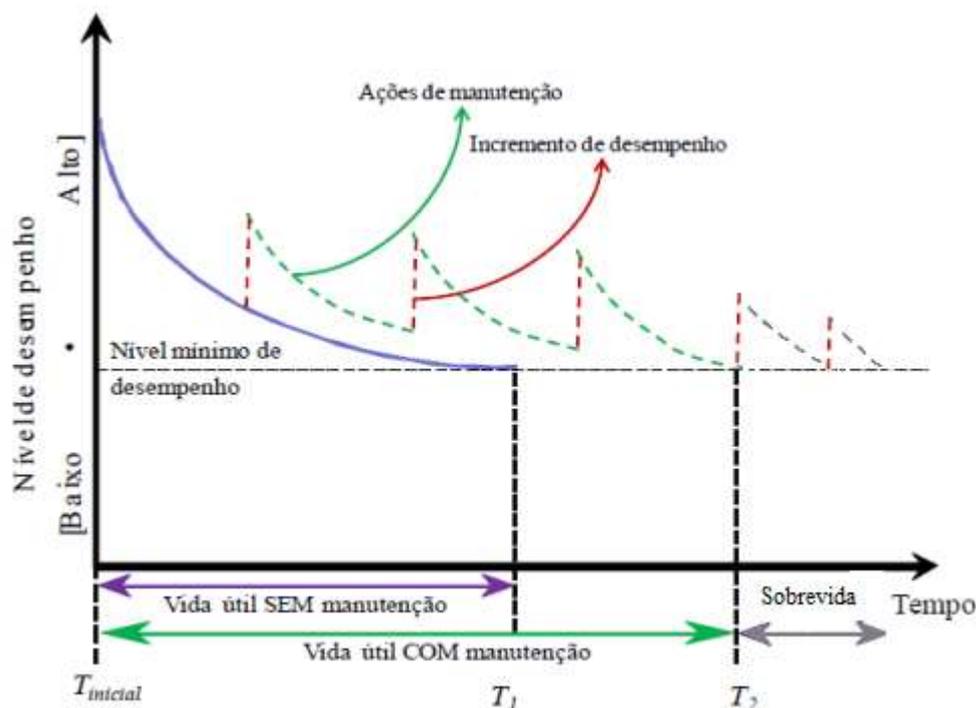
Tabela 1 - Vida útil de Projeto

Sistema	VUP anos	
	Mínimo	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 30

(fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013)

Na figura 2, verifica-se a influência das ações de manutenção em uma edificação, em relação a sua vida útil, conforme nível de desempenho. A cada ação de manutenção corresponde um incremento de desempenho para a edificação. A vida útil terminaria quando a ação de manutenção não conseguisse restabelecer um nível de desempenho acima do estabelecido como mínimo para aquela edificação.

Figura 2 - Desempenho ao longo do tempo



(fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-1, 2013)

Portanto, de acordo com a tabela 1, a vedação vertical externa deve ser projetada para uma VUP de no mínimo 40 anos. Para que este tempo seja garantido, ou até mesmo prolongado, é importante prever ações de manutenção e também incrementos de desempenho, como mostra a figura 2.

Os requisitos de desempenho para os sistemas são classificados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) em desempenho: estrutural, contra incêndio, acústico, térmico, estanqueidade e durabilidade.

### 3.1.1 Desempenho estrutural

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), aponta como requisitos de estabilidade e resistência estrutural do sistema de vedação vertical os seguintes itens:

- a) limitar os deslocamentos, fissurações e falhas a valores aceitáveis, de forma a assegurar o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação habitacional;

- b) resistir às solicitações originadas pela fixação de peças suspensas (armários, prateleiras, lavatórios, hidrantes, quadros e outros);
- c) resistir aos impactos de corpo mole;
- d) resistir a ações transmitidas por portas;
- e) resistir aos impactos de corpo duro;
- f) resistir à ação das cargas de ocupação que atuam nos guarda-corpos e parapeitos da edificação habitacional.

Na tabela 2, é possível verificar os critérios de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço.

Tabela 2 – Critérios para deslocamentos e ocorrência de falhas.

Elemento	Solicitação	Critério
SVVIE com ou sem função estrutural	Cargas permanentes e deformações impostas $S_d = S_{gk} + S_{e,k}$	Não ocorrência de falhas, tanto nas paredes como nas interfaces da parede com outros componentes
SVVE (paredes de fachadas) com ou sem função estrutural	Cargas horizontais: $S_d^{(a)} = 0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais <sup>(b)</sup> : $d_h \leq h/500$ (SVVE com função estrutural); $d_{hr} \leq h/2500$ (SVVE com função estrutural); $d_h \leq h/350$ (SVVE com função de vedação); $d_{hr} \leq h/1750$ (SVVE com função de vedação). Entende-se neste critério como SVVE as paredes de fachada
<p><sup>(a)</sup> No caso de ensaios de tipo considerar <math>S_d = S_{gk} + 0,8 S_{wk}</math></p> <p><sup>(b)</sup> Para paredes de fachada leves (<math>G \leq 60 \text{ Kg/m}^2</math>), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo (<math>d_h</math>) podem atingir o dobro dos valores acima indicados nesta tabela.</p> <p>onde:</p> <p><math>h</math> é altura do elemento parede;</p> <p><math>d_h</math> é o deslocamento horizontal instantâneo;</p> <p><math>d_{hr}</math> é o deslocamento horizontal residual;</p> <p><math>S_{gk}</math> é a solicitação característica devida a cargas permanentes;</p> <p><math>S_{e,k}</math> é o valor característico da solicitação devida à deformação específica do material;</p> <p><math>S_{qk}</math> é o valor característico da solicitação devida a cargas acidentais ou sobrecargas de uso;</p> <p><math>S_{wk}</math> é o valor característico da solicitação devida ao vento.</p> <p>Nota: estes limites aplicam-se, a princípio, a SVVIE destinados a edificações de até cinco pavimentos</p>		

(fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4, 2013)

O restante dos critérios apontados neste item, encontram-se na NBR 15575-4 (ABNT, 2013b) e devem ser considerados no projeto estrutural dos painéis de concreto armado.

Thomaz (2015), afirma que:

[...] Os impactos de corpo mole e impactos de corpo duro simulam cargas de ocupação e ações acidentais passíveis de atuarem numa edificação durante sua vida útil. Exemplos de impactos de corpo mole: pessoa lançada contra uma parede em função de tombo, briga, dança e outras; impacto externo causado por choque de ciclista ou motociclista; etc. Exemplos de impactos de corpo duro: batida da quina de uma mesa, guidão de bicicleta ou outro objeto contundente contra a superfície de uma parede; pedra ou granizo lançado contra uma cobertura ou uma parede de fachada.

### **3.1.2 Desempenho contra incêndio**

De acordo com Sabbatini et al. (1993), a segurança contra incêndio é relativa a capacidade de resistir ao fogo, ou seja, o sistema deve manter-se íntegro durante um certo período de tempo em situações de incêndio. Além disso, o sistema deve contemplar recursos que impeçam a propagação de fumaça e chamas.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), aponta como requisitos de desempenho contra incêndio da vedação vertical os seguintes itens:

- a) dificultar a ocorrência da inflamação generalizada;
- b) dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação.

Os critérios de desempenho contra incêndio apontados a seguir são definidos de acordo com tipo de edificação. De acordo com o decreto nº 53280 (2016), a edificação descrita no estudo de caso é do tipo E-2, pois, trata-se de uma edificação com uso educacional.

Segundo a instrução técnica nº 08 (2018), o tempo mínimo de resistência ao fogo para uma edificação do tipo E-2, com altura entre 6 e 12m é de 60 minutos.

### **3.1.3 Desempenho acústico**

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações, no que se refere aos ruídos aéreos

provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas e aponta como requisitos os seguintes itens:

- a) propiciar condições mínimas de desempenho acústico da edificação, com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos;
- b) propiciar condições de isolamento acústica entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas;
- c) propiciar condições mínimas de desempenho acústico no interior da edificação, com relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto.

De acordo com a NBR 10152 (ABNT, 2017), o nível máximo de pressão sonora em um ambiente como sala de aula, o local mais crítico da edificação em estudo, é de 40 dB (decibéis), este valor corresponde ao nível mínimo de desempenho.

#### **3.1.4 Desempenho térmico**

O desempenho térmico de edificações é função das características dos materiais que compõem seus elementos e repercute no conforto térmico dos usuários. O adequado desempenho térmico garante condições adequadas para o sono e atividades normais em uma habitação, contribuindo ainda para a economia de energia (CBIC, 2013).

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), aponta como requisitos de desempenho térmico da vedação vertical os seguintes itens:

- a) apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos desempenho térmico mínimo estabelecido para cada zona bioclimática estabelecida na NBR 15220-3 (ABNT,2005);
- b) apresentar aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. Este requisito só se aplica aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios.

Os critérios de desempenho térmico segundo a 15575-1 (ABNT, 2013a), são definidos com valores máximos e mínimos para as estações verão e inverno respectivamente. Para o verão, a temperatura do ar interior da edificação deve ser sempre menor ou igual a temperatura do valor máximo diário do ar exterior. Para o inverno, a temperatura do ar interior deve ser sempre maior ou igual a exterior acrescida de 3°C.

Para que os critérios sejam garantidos é importante verificar os valores de transmitância térmica (taxa de transferência de calor através da matéria) e capacidade térmica (relação entre a quantidade de calor fornecida a um corpo e a variação de temperatura observada neste) do material que compõe a fachada. Os valores mínimos de transmitância térmica e capacidade térmica exigidos pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), podem ser visualizados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica U W/m <sup>2</sup> .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
<sup>a</sup> $\alpha$ é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

(fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4, 2013)

De acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), Porto Alegre se localiza na zona bioclimática 3.

Tabela 4 – Capacidade térmica de paredes externas

Capacidade térmica (CT) kJ / m <sup>2</sup> .K	
Zona 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	$\geq 130$

(fonte: adaptado de ABNT NBR 15575-4, 2013)

### 3.1.5 Estanqueidade a água

Segundo a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a exposição à água de chuva, à umidade proveniente do solo e aquela proveniente do uso da edificação habitacional, devem ser consideradas em projeto, pois a umidade acelera os mecanismos de deterioração e acarreta a perda das condições de habitabilidade e de higiene do ambiente construído.

A NBR 15575-4 (2013b), aponta como requisitos de estanqueidade da vedação vertical os seguintes itens:

- a) ser estanques à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes;
- b) não permitir infiltração de água, através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas.

Para os critérios de estanqueidade, deve ser realizado ensaio em laboratório conforme anexo C da NBR 15575-4 (2013b), considerando as condições de ensaio das tabelas 5 e 6, assim como a região de exposição ao vento na qual se localiza a edificação. De acordo com a NBR 15575-4 (2013b), Porto Alegre se localiza na região V.

Tabela 5 – Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistema de vedações verticais

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L / m <sup>2</sup> min
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

(fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013)

Tabela 6 – Estanqueidade à água de vedações verticais externas

Edificação	Tempo de ensaio h	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo-de-prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio
Térrea (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	10
Com mais de um pavimento (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	5

(fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013)

Portanto, conforme os dados das tabelas, o ensaio de estanqueidade deve ser realizado sob uma pressão estática de 50 Pa, com vazão de 3 L/m<sup>2</sup> min, durante um período de 7h, onde a face oposta à incidência da água, não deve apresentar uma área de mancha de umidade maior que 5% da área total do corpo de prova.

### 3.1.6 Durabilidade e manutenibilidade

De acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2013a), a durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. “A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional. O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário pré-estabelecidas é denominado vida útil”.

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), aponta como requisitos referentes a durabilidade da vedação vertical os seguintes itens:

- a) devem ser limitados os deslocamentos, fissurações e falhas nas paredes externas, incluindo seus revestimentos, em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento que ocorrem durante a vida útil do edifício;
- b) manter a capacidade funcional e as características estéticas, ambas compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto;
- c) manter a capacidade funcional durante a vida útil de projeto, desde que submetidos às intervenções periódicas de manutenção especificadas pelos respectivos fornecedores.

Ainda segundo NBR 15575-4 (ABNT, 2013b), para que seja garantida a vida útil da edificação é necessário prever manutenções preventivas, como: pintura, revisão de elementos de fixação, lavagem da fachada, troca de selante, etc. Além disso, as manutenções corretivas sempre devem ser realizadas assim que um problema se manifestar, a fim de evitar a progressão da patologia.

#### 4. INDUSTRIALIZAÇÃO E RACIONALIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil tem buscado sistemas mais eficientes de construção com o objetivo de aumentar a produtividade, diminuir o desperdício e atender a uma demanda que exige o cumprimento de cronogramas cada vez mais curtos, o que passa necessariamente pela construção industrializada.

A racionalização construtiva é definida por Sabbatini (1989) como um processo composto pelo conjunto de todas as ações que tenham por objetivo otimizar o uso de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis na construção em toda as suas fases.

No Brasil o uso de materiais pré-fabricados vem ganhando destaque na construção civil, que são definidos pela NBR 9062 (ABNT, 2017) como: todo elemento moldado, fora do local de utilização, porém industrialmente e em instalações permanentes de empresa destinada para esse fim, sob condições rigorosas de controle de qualidade.

Segundo Van Acker (2002), as vantagens do uso de elementos pré-fabricados, são as seguintes:

- a) produtos feitos na fábrica: possibilita a produção de elementos de forma racional pois, o processo é realizado de forma repetitiva e por trabalhadores especializados;
- b) uso otimizado de materiais: a pré-fabricação possui um maior potencial econômico, desempenho estrutural e durabilidade do que as construções moldadas no local, por causa do uso altamente potencializado e otimizado dos materiais;
- c) menor tempo de construção: o processo industrializado leva vantagem comparado ao sistema tradicional no quesito velocidade, podendo atender com mais facilidade os cronograma de execução exigidos pelas construtoras.
- d) qualidade do produto: a garantia de qualidade do produto pré-fabricado é baseada numa mão de obra especializada, industrialização da fábrica, matéria prima, processos operacionais repetitivos e controle de qualidade durante a fabricação;
- e) construção menos agressiva ao meio ambiente: além do menor desperdício de material, algumas fábricas estão reciclando o concreto;
- f) material resistente ao fogo: normalmente apresentam altas resistências ao fogo, mesmo sem prever alguma medida especial.

Neste contexto, os painéis pré-fabricados se popularizaram no Brasil nos últimos anos.

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.

Segundo Barth e Vefago (2007), enquanto a construção está executando a estrutura, é possível iniciar a montagem dos painéis, liberando rapidamente o início da colocação de esquadrias e finalização de ambientes internos. Outro aspecto que pode justificar a escolha dos painéis é a qualidade do sistema e a qualidade dos materiais utilizados.

Para que a escolha do sistema se justifique Silva (2009), propõe que a solução 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.

#### 4.1 SISTEMA DE PAINÉIS PRÉ- FABRICADOS EM CONCRETO

Segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017), os painéis de vedação são aqueles que necessitam de uma supraestrutura na qual são fixados e por onde são transmitidas as ações externas e internas sobre os painéis. Têm potencialidade de aplicação em qualquer tipo de edificação, podendo ser montados em estruturas pré-moldadas de concreto, em estruturas moldadas no local, ou em estruturas mistas, proporcionando flexibilidade arquitetônica e velocidade à obra.

De acordo com Oliveira (2002), a constituição da fachada é dada, basicamente por três elementos:

- a) o painel propriamente dito: composto por concreto armado, acrescido ou não de revestimento;
- b) os dispositivos de fixação: fixam os painéis diretamente a estrutura de suporte;
- c) as juntas de vedação: são a ligação entre os painéis, devem ser estanques e garantir que as tensões não se propaguem entre placas.

Ainda segundo Oliveira (2002), são projetados para as seguintes ações:

- a) ações verticais: peso próprio e cargas variáveis;
- b) ações horizontais: causadas por ventos, excentricidade e inclinação da estrutura vertical.

Os painéis são fixados individualmente na estrutura ou os mesmos podem ser autoportantes. No primeiro caso, os pilares e vigas de extremidade suportam o peso próprio dos painéis da fachada. No segundo caso, os painéis de fachada se apoiam uns sobre os outros, formando uma parede em cortina, que geralmente é apoiada em uma viga baldrame externa ao eixo da estrutura de esqueleto, sendo que as ligações entre os painéis e a estrutura neste caso possuem apenas a função de travar horizontalmente a parede da fachada.

#### 4.2 REQUISITOS DE QUALIDADE DA ESTRUTURA

Uma estrutura composta por painéis de parede pré-moldados, deve ser projetada e construída, segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017) de modo que:

- a) resista a todas as ações às quais estarão sujeitos durante as fases de construção e durante sua vida útil;
- b) sob condições ambientais previstas na época de projeto e quando utilizada conforme preconizada em projeto, conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, durante o período correspondente a sua vida útil;
- c) atenda as exigências de manutenção das instalações hidrossanitárias e elétricas, ao longo da vida útil da edificação.

#### 4.3 REQUISITOS QUANTO A QUALIDADE DE PROJETO

O projeto de uma estrutura formada por painéis de parede pré-moldados deve ser elaborado, segundo a NBR 16475 (ABNT, 2017), adotando-se:

- a) sistema estrutural adequado à função desejada para edificação;
- b) combinações de ações compatíveis e representativas;
- c) dimensionamento e verificação de todos os elementos estruturais presentes;
- d) especificação de materiais de acordo com os dimensionamentos efetuados;
- e) os critérios conforme NBR 9062 (ABNT, 2017) referente a projetos em situação de incêndio;

f) as exigências da NBR 15575 (ABNT, 2013) quando aplicável.

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO DE PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS EM CONCRETO

Atualmente no mercado da construção civil, existem diversos tipos de painéis pré-fabricados de concreto utilizados em sistemas de vedações verticais e também na própria estrutura da edificação. A seguir, está apresentada a classificação de acordo a NBR 16475 (ABNT, 2017).

##### 4.4.1 Classificação quanto ao formato geométrico da seção transversal

Os painéis pré-fabricados são classificados em: maciços, alveolares, sanduíches, nervurados, painéis de parede dupla e painéis reticulados.

###### 4.4.1.1 Maciços

Os painéis maciços são aqueles cuja seção transversal é constituída por apenas uma tipologia de material que ocupa todo o volume da peça.

Figura 3 – PAINEL MACIÇO



(fonte: Catálogo de painéis Marka)

#### 4.4.1.2 Alveolares

Os painéis alveolares são aqueles cuja seção transversal é constituída de partes ocas (vazios) em todo o comprimento da peça.

Figura 4 – Pannel alveolar



(fonte: Gerolla, 2009)

#### 4.4.1.3 Sanduíches

Os painéis sanduíches são aqueles constituídos de duas camadas de concreto separadas por um material não estrutural com características de isolante térmico e ou acústico.

Figura 5 - Pannel sanduíche

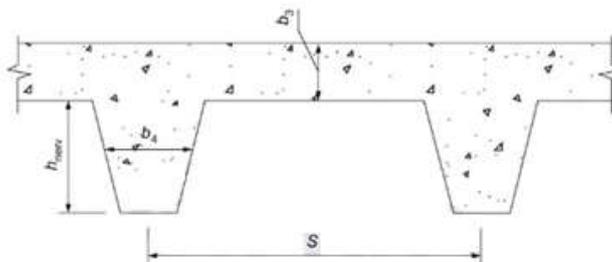


(fonte: catálogo de painéis Archiexpo )

#### 4.4.1.4 Nervurados

São painéis cuja seção transversal apresenta nervuras que aumentam a resistência e a rigidez do elemento.

Figura 6 – Painel nervurado

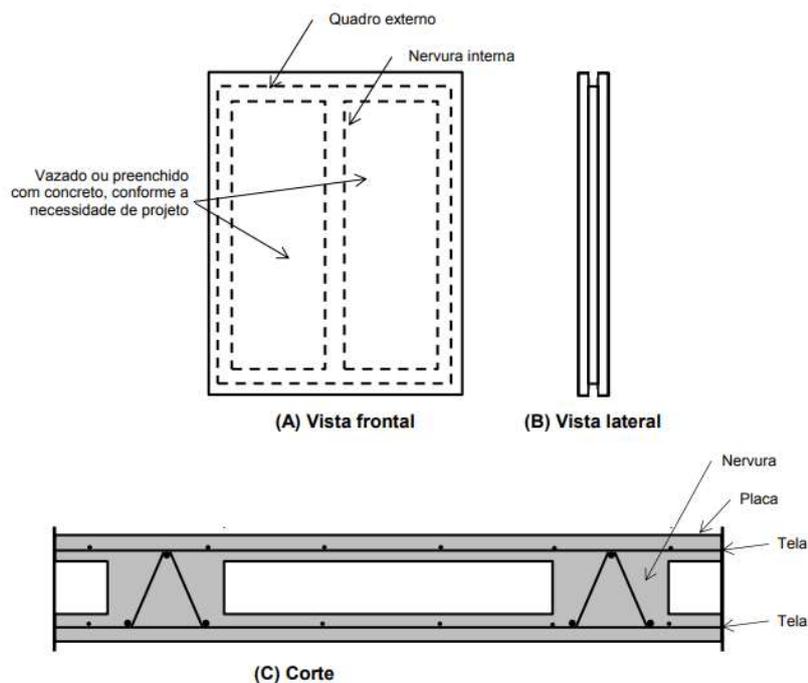


(fonte: ABNT NBR 16475, 2017)

#### 4.4.1.5 Painéis de parede duplas

São painéis formados pela composição de painéis maciços pré-fabricados conectados por nervuras e/ou treliças.

Figura 7 – Painel de parede dupla

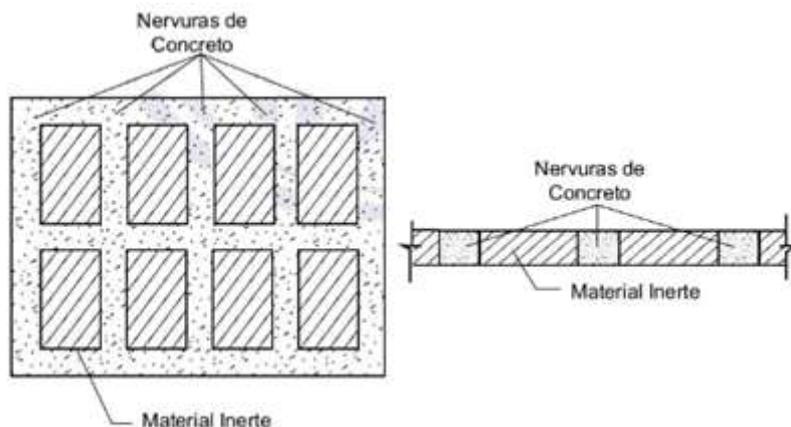


(fonte: painel nervurado DPB)

#### 4.4.1.6 Painéis reticulados ou mistos

Seção transversal formada pela composição de nervuras de concreto armado e preenchimento entre nervuras executado com material inerte.

Figura 8 – Painel reticulado



(fonte: ABNT NBR 16475, 2017)

#### 4.4.2 Classificação quanto ao uso

A classificação dos painéis quanto ao uso, se divide em três tipos:

- a) residencial;
- b) comercial;
- c) industrial.

#### 4.4.3 Classificação quanto ao acabamento

Alguns painéis de vedação possuem revestimento incorporado em uma ou ambas as faces na fase de fabricação, por este motivo sua classificação é dividida em painéis de parede brutos, e painéis de parede arquetônicos.

##### 4.4.3.1 Painel de parede bruto

São painéis de parede que, após a montagem, necessitam de algum acabamento, seja pintura, gesso ou argamassa.

#### 4.4.3.2 Painel de parede arquitetônico

São painéis de parede que, após a montagem, já se encontram acabados em pelo menos uma das faces, sem necessidade de outros revestimentos para fins de acabamento.

#### 4.4.4 Classificação quanto ao comportamento estrutural

Os painéis podem ser classificados em dois tipos: painel de parede estrutural e painel de parede não estrutural.

##### 4.4.4.1 Painel de parede estrutural

São painéis que fazem parte da estrutura da edificação, funcionando como elementos resistentes de esforços locais e globais, podendo também apresentar a função de vedação.

##### 4.4.4.2 Painel de parede não estrutural

São painéis de parede que fazem parte da edificação, mas comportando-se apenas como elementos de vedação. Esses painéis de parede podem garantir a proteção da edificação quanto a intempéries e também podem ser utilizados para posicionamento de tubulações de instalações hidrossanitárias e outras, conforme o respectivo projeto. Também podem ter função corta-fogo e/ou de proteção quanto a incêndio, quando projetadas para esta finalidade.

#### 4.5 FIXAÇÃO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Conforme, Oliveira (2002):

Os dispositivos de fixação são responsáveis pela interação painel-estrutura. São eles que garantem a segurança estrutural do painel no edifício, devendo ser projetados levando-se em consideração os fatores que condicionam seu desempenho, durabilidade e aspectos de construtibilidade. Então, o propósito da fixação é transferir cargas provenientes do painel para a estrutura, promovendo a estabilidade do conjunto e absorver movimentações diferenciais entre painel e

estrutura. Para tanto, as fixações devem apresentar alguns requisitos de desempenho que garantam seu funcionamento, tais como:

- a) resistência mecânica: resistência as forças do vento, às variações volumétricas do próprio painel e às movimentações diferenciais entre a estrutura suporte e o painel;
- b) ductilidade: capacidade de sustentar um percentual de deformações plásticas sem perda significativa de resistência;
- c) resistência a corrosão.

Ainda segundo Oliveira (2002), os materiais mais utilizados nos dispositivos de fixação dos painéis são os metais, sendo que os mais nobres são menos propensos à oxidação. Geralmente, os principais metais utilizados para compor os dispositivos de fixação são: o aço carbono (que pode ser revestido por galvanização ou eletrodeposição de metais como zinco), o aço aclimável (que possui maior resistência à corrosão que o aço carbono) e o aço inoxidável.

#### **4.5.1 Classificação das ligações**

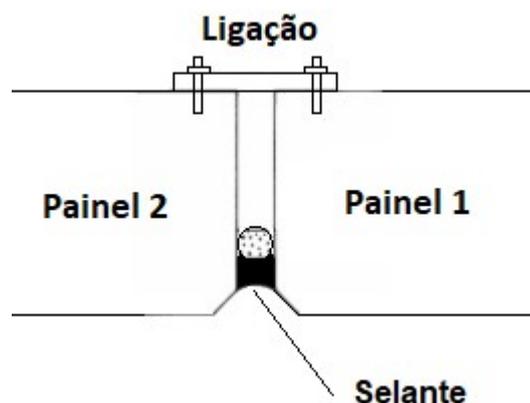
Conforme a NBR 16475 (ABNT, 2017), os sistemas de ligações em painéis de parede de vedação podem ser classificados quanto à sua função em três tipos: ligação de gravidade, ligação de contraventamento e ligação de alinhamento.

##### **4.5.1.1 Ligações de alinhamento**

A NBR 16475 (ABNT, 2017), define que as ligações de alinhamento têm como função impedir o deslocamento relativo entre os painéis e contribuir para alinhar o painel na montagem. Esse tipo de ligação é frequentemente empregado entre os painéis de parede, nas bordas, onde a possibilidade de movimentações diferenciais pode gerar inadequação visual, patologias e, por consequência, um comprometimento do material selante.

Em função da composição da estrutura da edificação e de diversas limitações técnicas, em certas ocasiões em que as ligações de contraventamento com a estrutura não são viáveis, pode-se empregar ligações de alinhamento, transmitindo esforços perpendiculares a outro painel.

Figura 9 – Exemplo de ligação de alinhamento

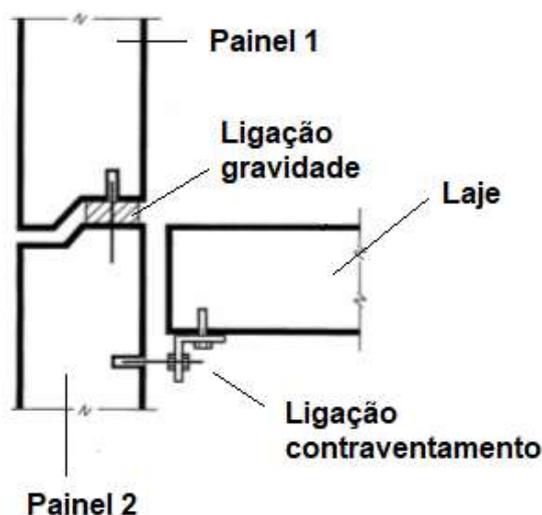


(fonte: adaptado de Van Acker, 2002)

#### 4.5.1.2 Ligações de contraventamento

A NBR 16475 (ABNT, 2017), define que as ligações de contraventamento são responsáveis por transmitir as forças horizontais devidas à ação do vento. Devem possibilitar a movimentação longitudinal dos painéis de parede, exceto no caso em que sejam dimensionados para contribuir com a rigidez global da estrutura ou em casos em que o mesmo seja capaz de resistir a esforços causados pela variação volumétrica. É recomendável que as ligações de contraventamento permitam acomodações devidas a variação volumétrica do painel, em função de variação de temperatura, onde a restrição das ligações pode ocasionar esforços imprevisíveis sobre o sistema de vedação.

Figura 10 - Exemplo de ligação de contraventamento

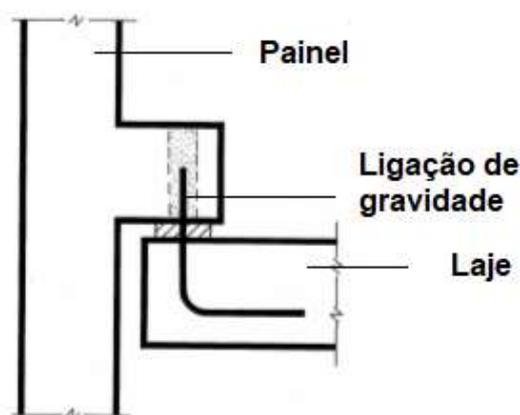


(fonte: adaptado de Van Acker, 2002).

#### 4.5.1.3 Ligações de gravidade

De acordo com a NBR 16475 (ABNT, 2017), as ligações de gravidade são responsáveis pela transmissão do peso próprio do componente painel para a estrutura. Podem, ou não, possuir função de concomitante de contraventamento, sendo necessário compatibilizar com as condições de contorno da estrutura. A utilização de três ou mais ligações de gravidade no mesmo painel deve ser evitada. As ressalvas quanto à restrição a variações volumétricas e movimentação longitudinal são semelhantes às aquelas apresentadas para ligações de contraventamento.

Figura 11 – Exemplo de ligação de gravidade



(fonte: Van Acker, 2002)

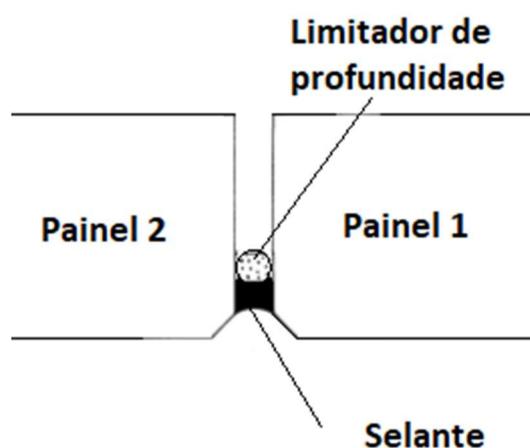
#### 4.6 JUNTAS ENTRE PAINÉIS DE VEDAÇÃO

De acordo com Van Acker (2002):

Nos sistemas de fachadas em concreto pré-moldado, a impermeabilidade às intempéries (às condições climáticas) é uma função que depende da eficiência dos materiais selantes nas juntas entre os painéis individuais e entre os painéis de fechamento e os outros elementos na fachada. A função principal do selante na junta é promover uma ligação impermeável e flexível entre os painéis, para permitir a expansão e a contração entre os próprios painéis, bem como os movimentos ao longo de toda a estrutura. A forma e as dimensões do perfil da junta dever ser projetado de maneira tal que a junta não venha a se tornar em um ponto fraco nos elementos e não haja riscos de danos nas bordas. As juntas, as quais possuem formas muito complicadas, são também difícil de execução e isto pode reduzir a impermeabilidade da estrutura.

A figura 12, representa um tipo de junta com face selada, percebe-se que o selante é aplicado com um recuo, devido as bordas do painel. Segundo Van Acker (2002), este recuo não deixa o material tão exposto as intempéries, auxiliando na durabilidade do produto.

Figura 12 – Exemplo de juntas entre painéis



(fonte: adaptado de Van Acker, 2002)

Para Oliveira (2002), a estanqueidade de fachadas deve ser analisada sob dois aspectos: o da seleção do material selante e o do dimensionamento adequado da largura da junta.

#### 4.6.1 Propriedades dos selantes

O material selante é um fator de grande importância, pois contribui para o cumprimento do desempenho satisfatório das juntas em relação a estanqueidade à água de chuva, ar, e também ao som e umidade.

Conforme Oliveira (2002), os selantes devem apresentar duas características principais:

- a) acomodar movimentações sem perder aderência as laterais das juntas;
- b) suportar condições de exposição, como ação da água e radiação ultravioleta.

Portanto, é importante analisar as propriedades como elasticidade, aderência, dureza e durabilidade ao escolher um selante.

##### 4.6.1.1 Propriedades elastoméricas

Segundo Oliveira (2002), a capacidade de movimentação de um selante é medida por meio do percentual de movimentação, denominado fator de acomodação do selante (FAS), que é função do seu módulo de elasticidade. Quanto maior o módulo de elasticidade, menor o (FAS).

##### 4.6.1.2 Resistência de aderência

A resistência a aderência consiste na capacidade dos selantes de se manterem aderidos ao substrato, evitando passagem da água. É determinada por meio de ensaios que medem a tração direta ou a tração e compressão cíclicas. Outro fator que contribui para o desempenho dos selantes quanto a resistência de aderência são os limitadores de profundidade. Eles definem a espessura do selante, evitando seu consumo em excesso, fazendo com que o material tenha aderência somente com as laterais, deformando-se livremente em dois lados. Alguns selantes, para obter aderência adequada com os substratos presentes nas juntas, requerem a aplicação de um líquido selador especial, conhecido como fundo preparador ou *primer* (OLIVEIRA, 2002).

#### 4.6.1.3 Dureza

A dureza, isto é, a resistência à penetração superficial, pode ser determinada através da escala *Shore A* de medidas relativas. Em uma variação de 0 a 100, a dureza pode ser classificada em vários níveis, associados ao módulo de elasticidade. Os selantes de baixo módulo, os mais recomendados para fachadas, devem apresentar dureza *Shore A* entre 10 e 30 (OLIVEIRA, 2002).

#### 4.6.1.4 Durabilidade

A durabilidade dos selantes em fachada é uma propriedade fundamental, uma vez que estarão expostos a agentes agressivos como água, chuva, raios ultravioletas e agente químicos presentes na atmosfera ou resultantes de possíveis limpezas realizadas na fachada, podendo provocar microfissuras e enrugamento. Apesar desses efeitos serem superficiais, qualquer fissura na superfície do selante em uma junta que trabalha continuamente pode se tornar um problema (OLIVEIRA, 2002).

### 4.6.2 Escolha do selante

No caso dos painéis pré-fabricados, como as juntas estão suscetíveis de sofrer movimentação, os selantes mais recomendáveis, segundo Oliveira (2002), são feitos à base de silicone, poliuretano ou polissulfeto de baixo módulo de elasticidade. Desta forma, para a escolha do material selante, deve-se analisar as propriedades descritas anteriormente, os limites de temperatura no momento da aplicação e em condições de serviço e a resistência a radiação ultravioleta. A tabela 7, pode contribuir para a escolha, fazendo-se a comparação entre os três tipos de materiais.

Tabela 7 – Propriedades de selantes

Propriedades	Polissulfetos		Poliuretanos		Silicones	
	monocomponente	Bicomponente	monocomponente	Bicomponente	monocomponente	Bicomponente
Capacidade de absorver movimentação (FAS)	± 25%	± 25%	± 25%	± 25%	± 25% a 50%	± 12,5% a 50%
Durabilidade (anos)	10 – 20	10 - 20	10 - 20	10 – 20	10 - 50	10 - 50
Dureza inicial (1 a 6 meses) (20 °C)	20 – 40	20 - 45	20 - 45	10 – 45	15 - 40	15 - 40
Dureza após 5 anos (20 °C)	30 – 55	20 - 55	30 - 55	20 – 60	15 - 40	25 - 50
Temperatura de serviço (°C)	-40 a + 82	-51 a + 82	-40 a +82	-32 a +82	-54 a +200	-54 a +200
Temperatura de aplicação (°C)	+ 4 a +50	+4 a +50	+4 a +50	+4 a +80	-5 a +70	-5 a +70
Resistência a raios UV	Bom	Bom	Médio	Médio	Excelente	Excelente
Resistência a atração de partículas sólidas	Bom	Bom	Bom	Bom	Ruim	Ruim

(fonte: adaptado de Oliveira, 2002)

Analisando a tabela, pode-se notar que os selantes a base de silicone são os que oferecem o melhor benefício as juntas, porém, não significa que outros selantes não possam ser utilizados, desde que dimensionados corretamente.

### 4.6.3 Largura e profundidade das juntas

Segundo Van Acker (2002):

Para se determinar a largura adequada da junta para a aplicação de um determinado material selante, é necessário conhecer a quantidade de movimentação que irá ocorrer na junta e quais as tolerâncias são permitidas na produção e na montagem dos componentes na execução da junta. Geralmente, a principal razão para a movimentação na junta é a expansão e a contração dos componentes resultantes da mudança de temperatura, de umidade ou da retração. A influência da temperatura nas fachadas de concreto é dependente da cor do concreto e da orientação da fachada. Um bom material selante elástico pode se deformar até 25%.

De acordo com Barth e Vefago (2007), o dimensionamento da largura da junta pode ser realizado através das seguintes fórmulas:

$$J = \frac{(100 \Delta l)}{FAS} + Tm \quad (\text{fórmula 1})$$

$J$  = Largura mínima da junta, em milímetros

FAS = fator de acomodação do selante

$Tm$  = tolerância de montagem

$\Delta l$  = movimentação do painel para as variações térmicas ou higroscópicas

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_u \quad (\text{fórmula 2})$$

$$\Delta l_t = l \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad (\text{fórmula 3})$$

$$\Delta l_u = l \cdot u \quad (\text{fórmula 4})$$

$\Delta l_t$  = movimentação térmica

$\Delta l_u$  = movimentação higroscópica

$\Delta t$  = variação de temperatura

$l$  = comprimento do painel

$\alpha$  = coeficiente de dilatação térmica

u = coeficiente de movimentação higroscópica

Na tabela 8 e 9, é possível identificar os valores de coeficientes de dilatação térmica e movimentação higroscópicas respectivamente.

Tabela 8 – coeficiente de dilatação térmica para diferentes materiais

<b>Material</b>	<b>Coeficiente de dilatação térmica linear (<math>\alpha</math>) °C<sup>-1</sup></b>
Porcelanato	4,5* a 13 x10 <sup>-6</sup>
Grês Cerâmico	5,9* a 12 x10 <sup>-6</sup>
Semi Grês	5,9* a 12 x10 <sup>-6</sup>
Cerâmica Semi Porosa	8 a 10 x10 <sup>-6</sup>
Cerâmica Porosa	8 a 10 x10 <sup>-6</sup>
Litocerâmica	8 a 10 x10 <sup>-6</sup>
Argamassa Colante	8 a 12 x10 <sup>-6</sup>
Rejunte Comum	9 a 13 x10 <sup>-6</sup>
Rejunte Flexível	9 a 13 x10 <sup>-6</sup>
Poliestireno Expandido	15 a 45 x10 <sup>-6</sup>
Polietileno Expandido	110 a 200 x10 <sup>-6</sup>
Bloco cerâmico	6,5 x10 <sup>-6</sup>
Concreto	9,0 x10 <sup>-6</sup>

(fonte: Ribeiro, 2006 apud Medeiros, 1999; ASTM C1472, 2005)

Tabela 9 – Coeficiente de movimentação higroscópica

Material	Movimentação Higroscópica %	
	Reversível	Irreversível (+) expansão (-) contração
<b>Compostos de cimento</b>		
Argamassa	0,02 a 0,06	0,04 a 0,10 (-)
Concreto (seixo rolado)	0,02 a 0,06	0,03 a 0,08 (-)
Concreto (brita)	0,03 a 0,10	0,03 a 0,08 (-)
Concreto celular	0,02 a 0,03	0,07 a 0,09 (-)
<b>Tijolos ou blocos</b>		
Bloco de concreto	0,02 a 0,04	0,02 a 0,06 (-)
Bloco de concreto celular	0,02 a 0,03	0,05 a 0,09 (-)
Bloco sílico-calcário	0,01 a 0,05	0,01 a 0,04 (-)
Tijolo cerâmico	0,02 a 0,06	0,02 a 0,06 (+)

(fonte: Ribeiro, 2006 apud Thomaz, 1998; ASTM C1472, 2005)

A Tabela 10 fornece uma indicação da largura nominal mínima da junta em função da largura do elemento e para um tipo comum de selante (poliuretano ou selantes de silicone).

Tabela 10 - Largura de junta recomendada para juntas com face selada.

Largura do elemento (m)	largura nominal mínima da junta (mm)
<b>1.80</b>	<b>12</b>
<b>2.40</b>	<b>12</b>
<b>3.60</b>	<b>14</b>
<b>4.80</b>	<b>15</b>
<b>6.00</b>	<b>16</b>

(fonte: Van Acker, 2002)

Segundo Ribeiro (2006) apud Ledbetter; Hurley; Sheehan (1998):

[...] nos movimentos da junta, a extensão do selante faz com que ocorra a redução em sua seção transversal de maneira não uniforme, localizada, sobretudo no centro da seção, onde é observada a sua redução máxima. A dificuldade de extensão do selante aumenta, quanto maior for sua profundidade original. Este efeito produz grande concentração nos limites da interface do selante com o substrato. Assim, o controle da profundidade do selante se faz necessário para minimizar estas tensões. Uma junta de movimentação com proporção adequada entre largura e a profundidade irá acomodar melhor os movimentos sem romper.

O fator de forma depende do tipo de selante escolhido. Na tabela 11, pode-se visualizar a recomendação de proporção entre largura e profundidade, assim como profundidade máxima.

Tabela 11 – Relação entre largura e profundidade de selantes.

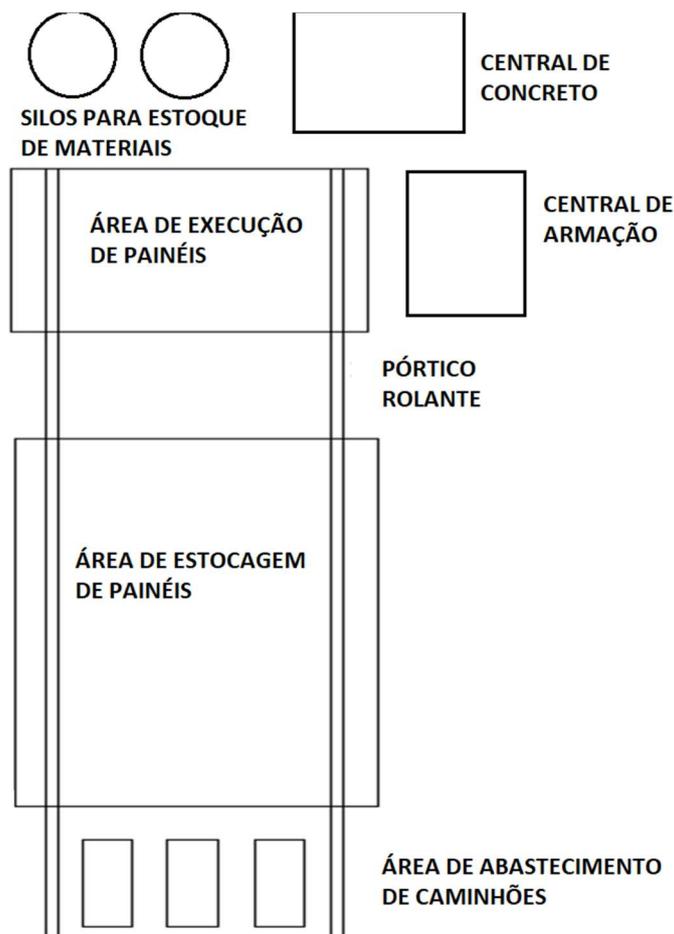
Tipo de Selante	Fator de Forma (Largura:Profundidade)	Profundidade máxima (mm)
Elásticos	2:1	20
Elastoplásticos	2:1 a 1:1	20
Plastoelásticos	1:1 a 1:2	20
Plásticos	1:1 a 1:3	25

(fonte: Ribeiro, 2006 apud Ledbetter; Hurley; Sheehan, 1998)

## 5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAINÉIS

A forma mais efetiva de industrializar o setor da construção civil é transferir o trabalho realizado nos canteiros para fábricas permanentes e modernas. A produção numa fábrica possibilita processos de produção mais eficientes e racionais, trabalhadores especializados, repetição de tarefas e controle de qualidade (VAN ACKER, 2002).

Figura 13 – Exemplo de *layout* de fábrica de pré-fabricados



(fonte: própria do Autor)

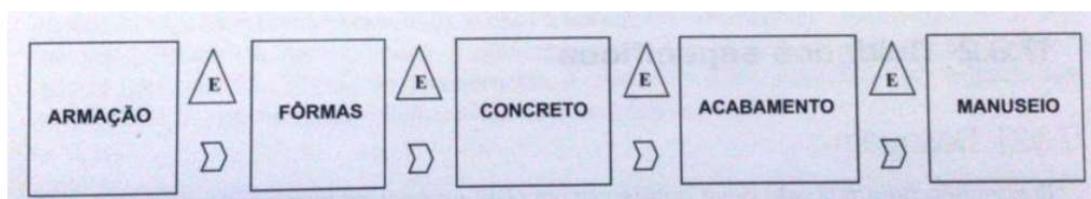
Ainda de acordo com Van Acker (2002), a garantia da qualidade durante a fabricação se baseia em quatro pontos:

- a) mão de obra especializada;
- b) tecnologia de instalações e equipamentos da fábrica;
- c) matéria-prima e processos operacionais;
- d) controle de qualidade na execução.

Geralmente, a supervisão da qualidade é baseada num sistema de autocontrole, podendo haver ou não a supervisão de uma terceira parte. O sistema de controle de produção da fábrica consiste de procedimentos, instruções, inspeções regulares, testes e utilização dos resultados dos equipamentos de controle, matéria-prima, outros insumos, processos de produção e produtos. Os resultados da inspeção são registrados e ficam disponíveis aos clientes.

De acordo com Melo (2007), as etapas da fabricação de elementos em concreto pré-fabricado são evidenciadas na figura 14.

Figura 14 - Etapas de fabricação de elementos em concreto



(fonte: Melo, 2007)

## 5.1 ARMADURA

Para a NBR 9062 (ABNT, 2017) o controle e inspeção das armaduras deve ser feito da seguinte forma:

- a) verificação quanto a limpeza e oxidação;
- b) verificação de dimensões de corte e dobramento e atendimento das tolerâncias especificadas;
- c) verificação de tipos, quantidades, dimensões e locações das barras, conforme desenhos de projeto;
- d) verificação de deformações e torções no armazenamento das armações prontas e na posição final nas formas;
- e) verificação de tipo, quantidades, dimensões e locações de insertos metálicos especificados no projeto e daqueles eventualmente destinados à identificação dos elementos.

A NBR 16475 (ABNT, 2017), define que o cobrimento mínimo da armadura é de 15 mm para painéis de vedação e 20 mm para painéis estruturais.

Figura 15- Montagem da armadura de um painel



(fonte: Oliveira, 2016)

## 5.2 FORMAS

Para a NBR 9062 (ABNT, 2017) o controle e inspeção das formas deve ser feito da seguinte forma:

- a) verificações dimensionais e de conformidade com as tolerâncias especificadas;
- b) verificação da posição de furos, insertos, alças de içamento, recortes, saliências e assemelhados e das respectivas dimensões e tolerâncias especificadas;
- c) verificação do travamento e estanqueidade;
- d) verificação de deslocamentos ou deformações, quando do lançamento e adensamento do concreto.

## 5.3 CONCRETO

A NBR 14931 (ABNT, 2004) afirma que a especificação do concreto deve levar em consideração todas as propriedades requeridas em projeto, em especial quanto à resistência característica, ao módulo de elasticidade do concreto e à durabilidade da estrutura, bem como às condições eventualmente necessárias em função do método de

preparo escolhido e das condições de lançamento, adensamento e cura. Durante o lançamento do concreto devem ser respeitados os seguintes procedimentos:

- a) limpeza prévia da forma e remoção de detritos;
- b) o concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto;
- c) em nenhuma hipótese deve ser realizado o lançamento do concreto após o início da pega. Concreto contaminado com solo ou outros materiais não deve ser lançado na estrutura;
- d) o concreto deve ser lançado o mais próximo possível de sua posição definitiva, evitando-se incrustação de argamassa nas paredes das fôrmas e nas armaduras;
- e) o concreto deve ser lançado com técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre seus componentes, observando-se maiores cuidados quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura;
- f) a operação de lançamento deve ser contínua, de maneira que, uma vez iniciada, não sofra nenhuma interrupção, até que todo o volume previsto no plano de concretagem tenha sido completado.

Figura 16 – Lançamento de concreto em painel



(fonte: Oliveira, 2016)

A NBR 12655 (ABNT, 2015) afirma que para cada tipo e classe de concreto a ser colocado em uma estrutura, devem ser realizados os ensaios de controle de recebimento e aceitação. No recebimento deve ser realizado o teste de abatimento do tronco de cone, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). Para que se verifique a resistência a compressão do concreto, é realizado o ensaio de resistência a compressão por amostragem, conforme NBR 5739 (ABNT, 2018). Este ensaio é utilizado para aceitação ou rejeição de lotes de concreto.

#### 5.4 ADENSAMENTO, ACABAMENTO E CURA DO CONCRETO

A NBR 14931 (ABNT, 2004), cita os cuidados que devem ser tomados durante o adensamento do concreto. São eles:

- a) durante e imediatamente após o lançamento, o concreto deve ser vibrado ou apiloado contínua e energeticamente com equipamento adequado à sua consistência. O adensamento deve ser cuidadoso para que o concreto preencha todos os recantos das fôrmas;
- b) devem ser tomados os cuidados necessários para que não se formem ninhos ou haja a segregação dos materiais. Deve-se evitar a vibração da armadura para que não se formem vazios ao seu redor, com prejuízos da aderência;
- c) no adensamento manual, a altura das camadas de concreto não deve ultrapassar 20 cm. No Adensamento por meio de vibradores de imersão a espessura da camada deve ser aproximadamente igual a  $\frac{3}{4}$  do comprimento da agulha. Em todos os casos, a altura da camada de concreto a ser adensada deve ser menor que 50 cm, de modo a facilitar a saída de bolhas de ar;
- d) no caso de vibradores de imersão, o vibrador deve ser aplicado na posição vertical. Deve-se vibrar o maior número de pontos possíveis do elemento. Deve-se evitar o contato com armadura e forma. Mudar o vibrador de posição quando a superfície de concreto se apresentar brilhante, de modo a evitar segregação.

Figura 17 – Adensamento com vibrador de imersão



(fonte: Oliveira, 2016)

Após o adensamento do concreto se inicia o processo de acabamento superficial do concreto. Segundo Oliveira (2016), o processo consiste nas seguintes etapas:

- a) sarrafeamento do concreto com régua metálica, afim de retirar o excesso e uniformizar a superfície;
- b) após o início de pega do concreto é executado o acabamento final do elemento de concreto, que depende do tipo de superfície que se pretende obter.

Figura 18 – Desempenadeira metálica usada para acabamento superficial liso



(fonte: Oliveira, 2016)

Após o término da concretagem a NBR 9062 (ABNT, 2017) recomenda que o concreto seja protegido contra agentes prejudiciais, tais como 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 do concreto, ou prejudicar a sua aderência à armadura.

A proteção contra a secagem prematura deve ser feita mantendo-se umedecida a superfície ou protegendo-a com uma película impermeável, que não contenha parafina ou assemelhados, pelo tempo necessário à hidratação adequada, levando em conta a natureza do cimento.

### 5.5 TOLERÂNCIAS NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

De acordo com Van Acker (2002), sempre haverá diferenças inevitáveis entre as dimensões especificadas e as dimensões reais dos componentes. Essas variações devem ser examinadas e permitidas. O concreto pré-fabricado é geralmente executado com variações relativamente pequenas, mas os projetistas devem ter conhecimento da real variabilidade dimensional. É essencial considerar essa forma desde o início do projeto preliminar e discutir as tolerâncias o mais cedo possível com os fabricantes de pré-moldados. As tolerâncias de produção na fábrica incluem variações dimensionais dos produtos, superfícies não lineares ou não planas, falta de ortogonalidade da seção transversal, variações na curvatura dos elementos pretendidos, posição de incertos, etc.

A NBR 16475 (ABNT, 2017) evidencia na tabela 12, as variações dimensionais admissíveis de painéis pré-fabricados de concreto.

Tabela 12 – Tolerâncias dimensionais no processo de fabricação

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: ABNT NBR 16475, 2017)

## 6. PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DE FACHADAS PRÉ-FABRICADAS

Ao iniciar um projeto de elementos pré-fabricados, é necessário avaliar se há fornecedores próximos da região da construção e também mão de obra especializada, para que a operação se torne economicamente viável (OLIVEIRA, 2016).

Oliveira (2002), afirma que uma das maiores vantagens em utilizar painéis pré-fabricados é sua velocidade de execução, podendo apresentar grande produtividade e, conseqüentemente, reduzir prazos de entrega da obra e custos de mão de obra. No entanto, essa vantagem só se concretiza, se houver por parte dos fabricantes, montadores, projetistas e construtores, o desenvolvimento do projeto e planejamento do painel voltados para eficiência do processo de montagem. Para isso, devem ser considerados alguns aspectos, como: seqüência de fabricação e envio de peças; içamento; métodos de fixação e armazenamento.

### 6.1 SEQUÊNCIA DE FABRICAÇÃO E ENVIO DE PEÇAS

De acordo com Oliveira (2002), recomenda-se que os painéis sejam enviados para o canteiro de obras, após a estrutura da edificação estar liberada para montagem, a fim de possibilitar que os painéis sejam içados diretamente da carreta para o seu local definitivo. Este método de montagem é denominado *just in time*, é o que mais incrementa a produtividade, pois não é necessário prever áreas de estoque de painéis no canteiro, diminuindo uma etapa do processo. Para isso, é necessário que os elementos sejam transportados exatamente na ordem em que serão montados e posicionados de uma forma que reduza o número de movimentos necessários para içamento do painel. Outros fatores que devem ser levados em consideração para viabilizar a montagem *just in time*, é a capacidade da grua ou guindaste em içar o painel do local onde estará estacionada a carreta, e o número de carretas que o canteiro tem condições de receber para o cumprimento da produtividade diária.

A NBR 9062 (ABNT, 2017), considera que se deve avaliar previamente possíveis interferências, construções vizinhas, árvores, redes de energia, existência de tubulações, galerias e manilhas. O acesso externo deve ser avaliado segundo as ruas mais adequadas

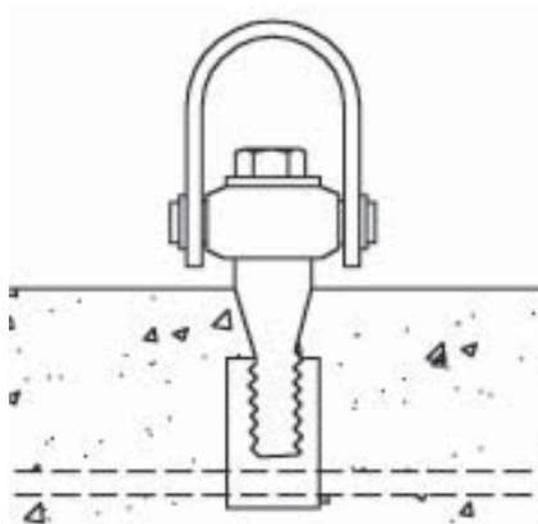
em função das carretas para a obra em estudo. O acesso interno deve contemplar as condições do solo, nível de lençol freático e outros elementos que podem ser superficiais. O transporte do pré-fabricado deve ser efetuado em veículos apropriados às dimensões e peso dos elementos, levando em consideração suas solicitações dinâmicas e garantindo-se as condições de apoio previstas no projeto. Os elementos dispostos em uma ou mais camadas devem ser devidamente escorados para impedir tombamentos e deslizamentos durante as partidas, freadas e trânsito do veículo. A superfície de concreto deve ser protegida nas regiões em contatos com cabos, correntes ou outros dispositivos metálicos.

## 6.2 IÇAMENTO

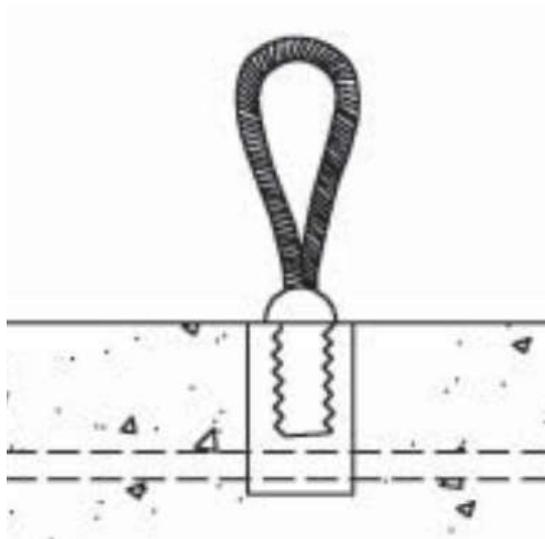
De acordo com a NBR 9062 (ABNT, 2017), os elementos pré-moldados devem ser suspensos através de máquinas, equipamentos e acessórios apropriados em pontos de suspensão localizados nas peças de concreto perfeitamente definidos em projeto, evitando-se choques e movimentos abruptos.

Silva e Silva (2004), afirmam que os pontos de suspensão são denominados *inserts* para içamento, que são normalmente ancoragens reforçadas ou aparafusadas, em forma de elo (figura 19), de anel, alça de cabo de aço (figura 20) ou encaixe para gancho. O dispositivo em forma de elo é o mais confiável, porém é também o de maior custo. O método mais comum utiliza alças de cabo de aço.

Figura 19 – *Insert* de içamento em forma de elo



(fonte: painéis de vedação, 2004)

Figura 20 – *Insert* de içamento em alça de cabo de aço

(fonte: painéis de vedação, 2004)

Estes dispositivos devem ser colocados ainda na fase de fabricação do painel, a fim de que resistam as solicitações projetadas no momento da elevação do painel.

### 6.3 ARMAZENAMENTO

Devido a inúmeras adversidades, muitas vezes não é possível executar a montagem *just in time*, havendo a necessidade de armazenar os painéis no canteiro de obras. De acordo com BSI (2000) e ACI (1993), quando ocorre esta situação, é importante verificar se: o terreno suporta o peso dos painéis; a posição de armazenamento está de acordo com a posição em que será montada; a sequência de armazenamento coincide com a sequência de montagem. Também é importante estudar o melhor local para armazenamento no canteiro, a fim de que o guindaste ou grua tenha fácil acesso para elevação do painel.

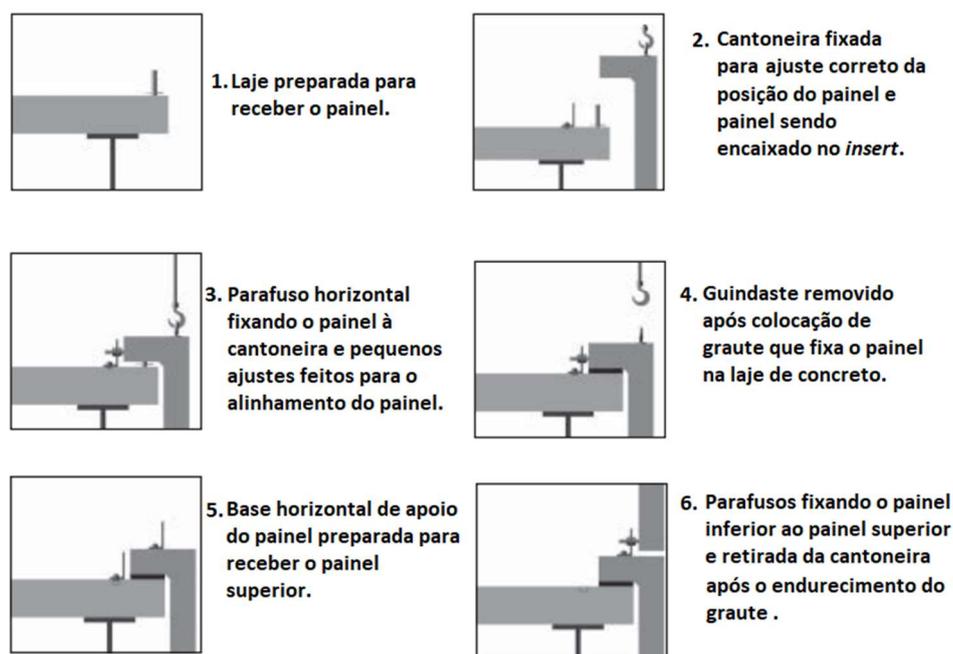
### 6.4 MÉTODOS DE FIXAÇÃO

Dawson (1995), propõe alguns métodos de fixação dos painéis na estrutura da edificação. São eles: fixação no topo do painel, fixação na base do painel e fixação sem base de apoio.

### 6.4.1 Fixação no topo do painel

A base horizontal de apoio, localizada no topo do painel, suporta o carregamento do seu peso próprio e de cargas do vento. A base de apoio é conectada à laje de concreto por um *insert* de fixação em cada extremidade do painel. Para prevenir qualquer movimentação entre a laje e o painel, uma das extremidades é fixada com graute. A fixação na outra extremidade permite movimentações no sentido horizontal. Os pontos de fixação na base do painel permitem as movimentações verticais, sendo que um deles permite as movimentações tanto no plano horizontal quanto no plano vertical. A fixação entre painéis é feita através de cantoneiras e parafusos que fixam a base horizontal de apoio do painel ao painel superior. A figura 21 ilustra a sequência de montagem deste método.

Figura 21 – Sequência de montagem do sistema de fixação no topo do painel



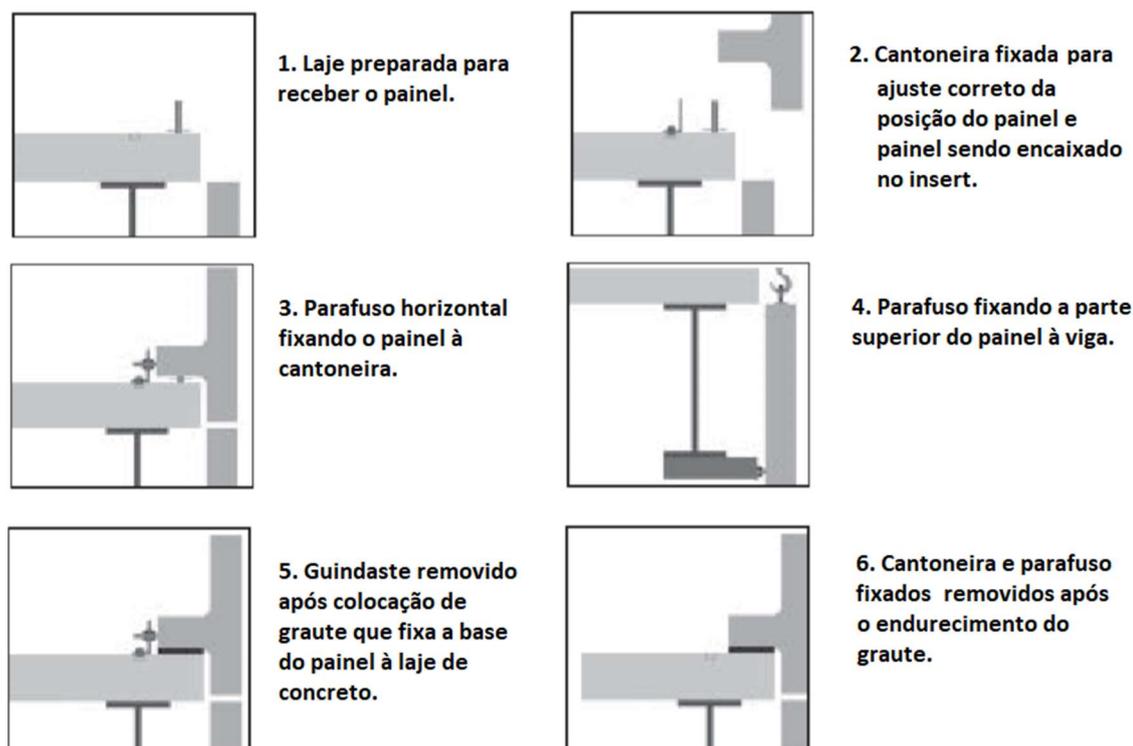
(fonte: adaptado de painéis de vedação, 2004)

### 6.4.2 Fixação na base do painel

Uma base horizontal de apoio suporta o peso próprio e as cargas do vento. Nesta configuração, o painel atua sob compressão. A fixação à laje de concreto é feita por cantoneiras e dois *inserts* de fixação nas extremidades da base do painel: apenas uma das extremidades é fixada com graute, prevenindo qualquer movimentação entre a laje e o painel. A cantoneira de ajuste do painel é retirada após o endurecimento do graute.

Cantoneiras e parafusos situados nas extremidades da parte superior do painel são fixados à base da viga que recebe a laje do pavimento superior. Estas fixações acomodam movimentações no plano vertical e horizontal decorrentes de deformações térmicas. A figura 22 ilustra a sequência de montagem deste método.

Figura 22 – Sequência de montagem do sistema de fixação na base do painel

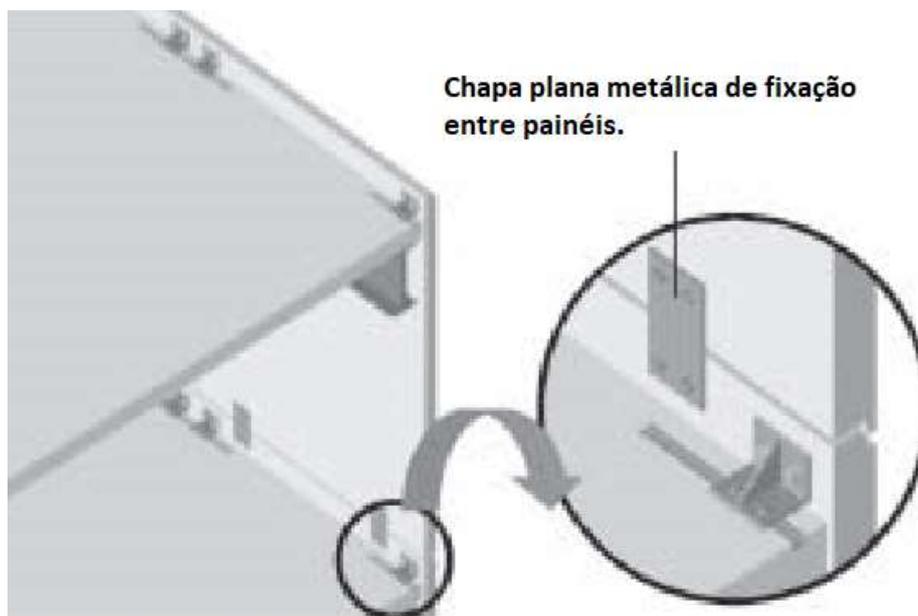


(fonte: adaptado de painéis de vedação, 2004)

### 6.4.3 Fixação de painéis sem a base horizontal de apoio

É uma derivação do primeiro tipo de fixação, com o diferencial de utilizar uma cantoneira de fixação em substituição à base horizontal de apoio. Cantoneiras de fixação são colocadas em dois pontos no topo do painel, para suporte do peso próprio da peça. A cantoneira também possui a função de ajuste correto da posição do painel. A fixação entre painéis é feita por uma chapa plana metálica aparafusada, que tem por função resistir apenas às cargas de vento que poderiam causar rotação do painel ao redor de sua conexão. A restrição às movimentações decorrentes de deformações térmicas do painel é análoga à fixação no topo do painel, conforme item 6.4.1.

Figura 23 - Fixação de painéis sem base horizontal de apoio.



(fonte: painéis de vedação, 2004)

Independente do sistema de fixação adotado, é importante garantir que o sistema permita movimentações horizontais e verticais devido a dilatação e retração térmica dos painéis de concreto. Outro fator importante é padronizar as ligações, a fim de otimizar a produção e diminuir a chance de erros na montagem.

### 6.5 EXECUÇÃO DO SELAMENTO

Conforme Barth e Vefago (2007), o preenchimento das juntas deve seguir os seguintes procedimentos, a fim de garantir o correto funcionamento do selante:

- a) limpeza das bordas do painel: as bordas próximas às juntas devem ser limpas para a colocação das fitas adesivas de proteção. Antes de realizar a instalação do selante nas juntas, deve-se fazer uma verificação das larguras das mesmas, respeitando as tolerâncias de montagem estabelecidas. Com os painéis instalados, faz-se a limpeza das laterais dos mesmos, a fim de retirar partículas de poeira ou umidade contidas nas juntas;
- b) proteção das bordas: as fitas adesivas são colocadas no perímetro do painel junto à borda, de modo que o mesmo não seja manchado durante o selamento;

- c) aplicação da camada de base: caso seja recomendado pelo fabricante, faz-se a aplicação de uma camada de base. Este produto é utilizado para aumentar adesão entre o selante e o painel, fechar os poros da superfície e reduzir pressão por capilaridade dos painéis. Cuidados devem ser tomados para que o *primer* seja aplicado somente nas laterais da junta e antes da colocação do limitador de junta, pois se o selante for aplicado sobre a superfície do limitador, pode aderir em três faces, o que pode gerar tensões, provocando ruptura;
- d) colocação do perfil limitador de junta: este perfil tem a função de controlar a profundidade da espessura da junta, a fim de evitar desperdícios de material selante e impedir que o mesmo tenha adesão no fundo da junta. Para os painéis de concreto, recomenda-se o tarugo de poliestireno, pois este se adapta às movimentações das juntas, protegendo o selante, principalmente no período de cura, quando está mais vulnerável e deforma-se facilmente. É recomendado que o diâmetro do perfil seja aproximadamente 20% maior que a largura da junta;
- e) aplicação do material selante: o selante deve ser aplicado com inclinação em relação ao plano do painel e de forma constante. Juntas estreitas devem ser executas em uma só camada. Para juntas largas é permitido a aplicação em camadas, porém, vazios internos devem ser evitados para não provocar falha prematura no material;
- f) acabamento superficial do selante: durante o período de cura a superfície do selante deve ser conformada segundo as discriminações de projeto, podendo ser plana ou côncava. O acabamento da junta serve para torná-la lisa, espalhar e compactar o selante, gerando a forma final desejada. Após este procedimento deve-se retirar a fita adesiva das laterais antes da formação da película externa do selante.

## 6.6 TOLERÂNCIAS DE MONTAGEM

As tolerâncias de montagem, conforme Oliveira (2002), são aquelas que estabelecem critérios de aceitação do componente pré-fabricado após montagem na estrutura, ou seja, define valores para desalinhamento entre painéis, aberturas de juntas, variações de prumo, entre outros.

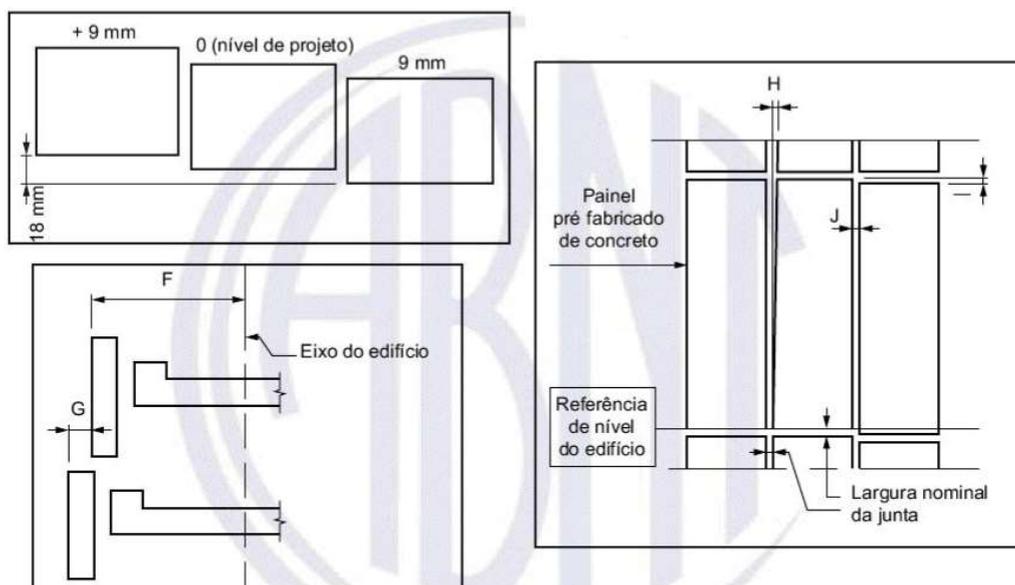
A NBR 16475 (ABNT, 2017), define na tabela 13, as tolerâncias máximas aceitáveis.

Tabela 13 – Tolerâncias de montagem

Dimensão	Parâmetro conforme Figura	Tolerância mm
Excentricidade do painel em relação ao eixo do edifício	F	$\pm 13$
Alinhamento da face externa entre painéis de parede adjacentes	G	$\pm 6$
Desalinhamento das juntas em cunha	H	$\pm 6$
Máxima diferença de nível em painéis de parede adjacentes	I	$\pm 6$
Largura nominal da junta	J	$\pm 6$
Nivelamento da face superior do painel em relação ao nível do projeto (teórico)	–	$\pm 9$

(fonte: ABNT NBR 16475, 2017)

Figura 24 – Parâmetros conforme tabela 13



(fonte: ABNT NBR 16475, 2017)

Tabela 14 – Tolerâncias da estrutura de suporte

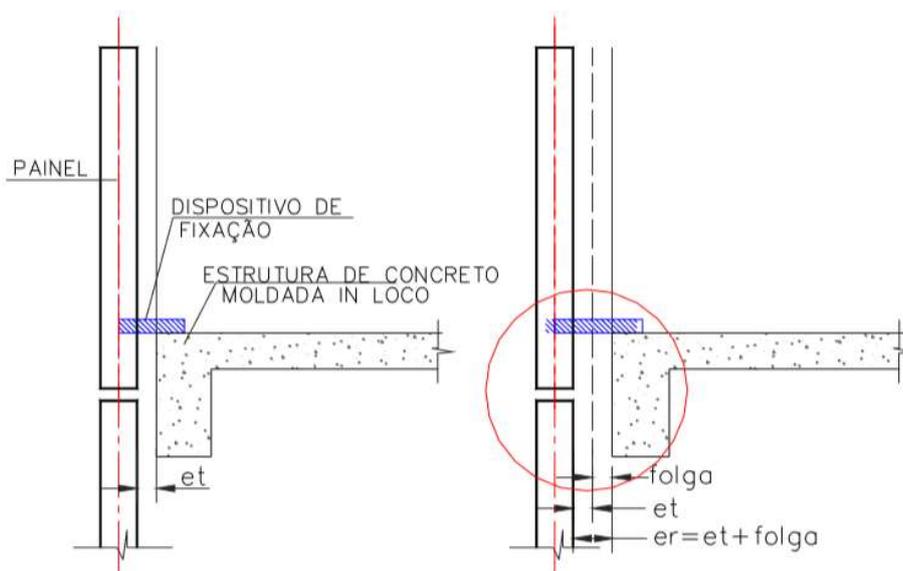
Descrição	Tolerância
Varição de prumo (alinhamento vertical)	A cada 3m ..... 6mm (máximo = 25mm até 30m)
Varição de nível (altura)	Até 3m ..... $\pm 6\text{mm}$
	Maior que 6m ..... $\pm 10\text{mm}$
Varição do limite do edifício com colunas e paredes	Vãos até 6m ..... $\pm 12,5\text{mm}$
	Vãos entre 6m e 12m .... $\pm 25\text{mm}$
Varição da dimensão de colunas e vigas	- 6mm, + 12,5mm
Varição na localização de ancoragem de fixação	$\pm 6\text{mm}$

(fonte: adaptado de Oliveira, 2002 apud PCI, 1989)

## 6.7 ESTABELECIMENTO DE FOLGAS DE PROJETO

Analisando as tolerâncias de fabricação (ver item 5.5), montagem e estrutura de suporte, Oliveira (2002), propõe o estabelecimento de folgas entre todos componentes considerados. Essas folgas têm a finalidade de absorver as tolerâncias relativas às dimensões dos componentes e ao seu alinhamento após montados. A especificação das folgas deve ser clara e coerente, buscando economia e construtibilidade das peças. A fim de exemplificar folgas em projeto, considera-se a figura 25 e a tabela 15.

Figura 25 – Esquema para estabelecimento de folga em projeto



(fonte: Oliveira, 2002)

Tabela 15 – Tolerâncias a serem consideradas para cálculo da folga entre painel e estrutura (figura 25).

<b>1</b>	<b>Tolerância de produto</b>	
	Espessura da secção transversal do painel	-3mm; +6mm
	Empenamento do painel	+1,50mm
	Varição dimensional da viga (estrutura de concreto moldado no local)	-6mm; +12,50mm
	Sub-total= (considerando pior situação)	+ 20mm
<b>2</b>	<b>Deformações</b> (desconsiderar por facilitar o cálculo de exemplo)	
<b>3</b>	<b>Tolerância de montagem</b>	
	Varição de prumo da estrutura de concreto	± 25mm
<b>4</b>	<b>Ajustes de montagem devido à localização e tipo dos componentes</b> (nada a considerar)	
<b>5</b>	<b>Considerações econômicas</b>	
	Soma algébrica	+45mm
<b>6</b>	<b>Considerações Estruturais</b> (Nenhum ajuste a considerar)	
<b>7</b>	<b>Verificar as condições de tolerâncias mínimas</b> (-3-6-25= 34mm)	
<b>8</b>	<b>Estabelecimento da folga final</b> (45mm)	

(fonte: Oliveira, 2002)

Oliveira (2002) apud PCI (1989), apresenta alguns valores para estabelecimento de folgas, como mostra a tabela 16.

Tabela 16 – Estabelecimento de folgas de acordo com PCI (1989)

12,50mm – entre componentes pré-fabricados
25,00mm a 38mm – entre componentes pré-fabricados e estrutura em concreto moldada in loco
25,00mm - entre componentes pré-fabricados e estrutura metálica

(fonte: Oliveira 2002 Apud PCI, 1989)

Para Oliveira (2002), se as tolerâncias não forem consideradas, muitas vezes pode-se inviabilizar a montagem das peças ou criar retrabalhos, prejudicando a qualidade e a produtividade da execução da fachada. Entretanto as tolerâncias devem estar num intervalo que atenda a padrões técnicos e econômicos.

Portanto, a análise dos fatores referente a envio de peças, içamento, armazenamento e fixação considerados em projeto e planejamento de forma racional, é de grande importância para eficiência e velocidade de montagem dos painéis de vedação.

## 7. ESTUDO DE CASO

A apresentação da obra, neste capítulo, visa exemplificar como a tecnologia construtiva de painéis pré-fabricados de concreto está sendo utilizada no Rio Grande do Sul.

Para o desenvolvimento do estudo, coletou-se dados, através de vistas ao canteiro de obras, da construtora que executou o empreendimento e do fornecedor dos painéis pré-fabricados. Após esta etapa fez-se uma análise crítica visando melhorias no processo de execução.

### 7.1 CARACTERIZAÇÃO DA OBRA

A obra localiza-se na cidade de Porto Alegre, zona norte. Apresenta uma torre de 4 pavimentos, totalizando em torno de 1450 m<sup>2</sup> construídos. A edificação será utilizada como um centro de integração para jovens, possuindo salas de aula, biblioteca, laboratórios e auditórios. Possui uma área de fachada em torno de 1300 m<sup>2</sup>, equivalente a 252 painéis pré-fabricados. A estrutura da edificação foi construída com pilares, vigas e lajes pré-fabricadas de concreto armado.

Figura 26 – Vista da fachada da obra



(fonte: própria do autor)

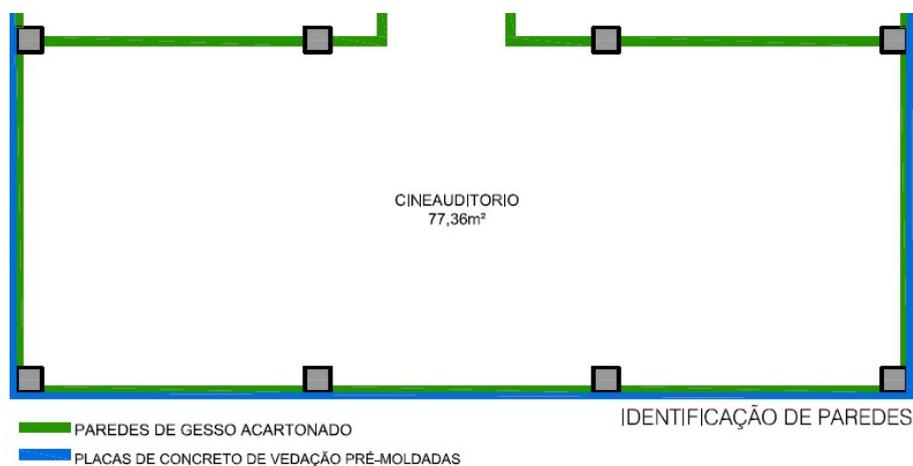
A escolha do sistema de vedação em painéis de concreto, se deu basicamente por três fatores:

- a) aproveitamento da estrutura pré-moldada: como a estrutura da edificação foi executada com pilares, vigas e lajes pré-fabricadas, não foi difícil adequar o sistema de fachada com painéis de concreto. Outro fator positivo, foi a utilização do mesmo fornecedor para fabricar a estrutura e os painéis de vedação;
- b) cronograma: o prazo de entrega da obra, desde seu início, era de 150 dias. A grande produtividade que se poderia obter utilizando este sistema, foi determinante para a escolha;
- c) formato geométrico: pode-se notar, na figura 26, que o formato geométrico retangular das fachadas, contribui para o sistema de painéis pré-fabricados, não sendo difícil sua modulação. Um fator importante, é que a dimensão dos vãos se repete várias vezes, facilitando o processo de fabricação do painel.

Inicialmente, as paredes externas da edificação seriam compostas pelo painel de concreto e por uma estrutura de perfis com uma placa de gesso acartonado no lado interno (ver figura 27), facilitando as instalações elétricas e hidráulicas nas paredes externas, além de um melhor conforto térmico e acústico. As paredes internas foram executadas com placas de gesso acartonado (sistema *Dry Wall*).

O orçamento da obra, porém, foi reduzido e optou-se pela retirada dos perfis e placas internas de gesso acartonado que compunham a parede externa. Esta decisão, além de reduzir o desempenho da edificação, também gerou algumas dificuldades construtivas. O projeto elétrico, que antes previa instalações embutidas, foi modificado e adotou-se o sistema de eletrodutos e tomadas aparentes. O projeto de instalações hidrossanitárias foi adaptado para que as tubulações não ficassem tão expostas aos usuários, gerando assim, furações em lajes não previstas no projeto original.

Figura 27 – Projeto inicial das paredes externas da edificação

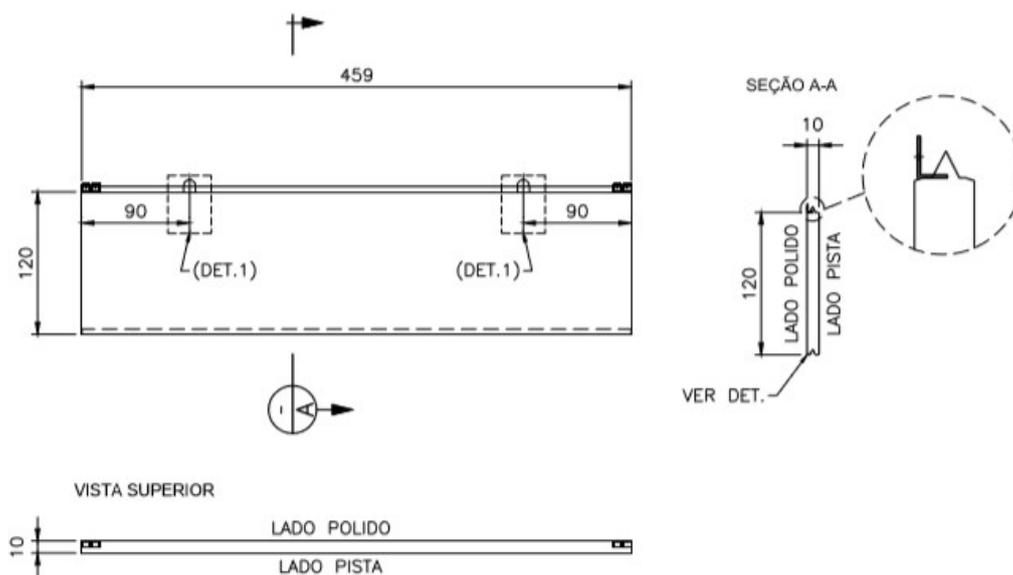


(fonte: própria do autor)

### 7.1.1 Pannel

O pannel da obra visitada é do tipo maciço, conforme item 4.4.1.1, e não possui nenhum tipo de revestimento aderido. A espessura dos painéis foi padronizada em 10 cm, enquanto seu comprimento varia de 40 cm a 560 cm. As vistas do pannel são apresentadas na figura 28.

Figura 28 – Vistas do pannel de concreto



(fonte: própria do autor)

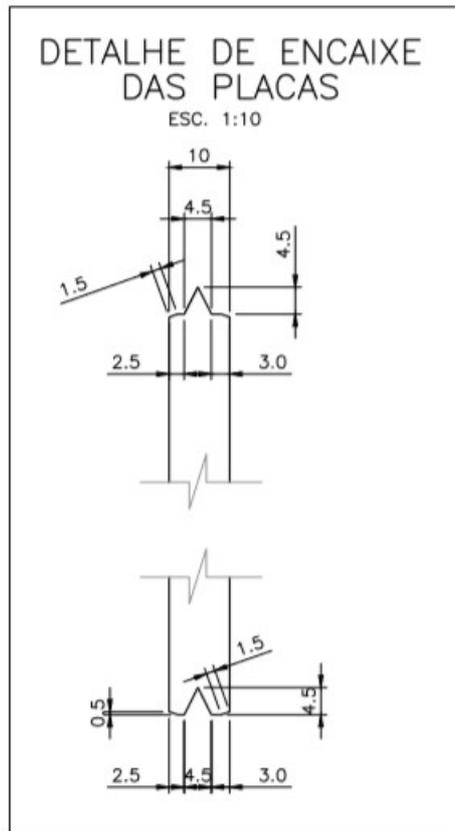
Os painéis foram desformados com resistência à compressão mínima de 15 MPa após 12h de cura, durante a qual foram cobertos com lona plástica para evitar a perda de água por evaporação. Antes do envio, a peça teve um de seus lados polidos com disco diamantado, com o objetivo de dar acabamento. Optou-se por utilizar o lado polido na parte interna da edificação e o lado voltado para pista de concretagem na parte externa. A resistência à compressão aos 28 dias é de 35 MPa. A armação do painel é em aço CA-50/ CA-60, com cobrimento de 2,5 cm. Tanto no lado externo, quanto no lado interno da edificação, os painéis foram revestidos apenas com selador e pintura acrílica, portanto, foi de extrema importância que o elemento apresentasse boas condições de acabamento.

### **7.1.2 Sistema de fixação**

Para a fixação dos painéis projetou-se dois tipos de ligação: gravidade e contraventamento. Os painéis foram fixados faceando o lado externo de pilares e vigas, portanto, não foi previsto nenhum tipo de folga de projeto, como descrito no item 6.7. Também não foi previsto ligações de alinhamento, conforme item 4.5.1.1 deste trabalho.

As ligações de gravidade foram feitas a partir de um encaixe macho no painel inferior e um encaixe fêmea no painel superior. Na base dos pilares foi projetado um console, a fim de garantir o apoio do primeiro painel. As figuras 29 e 30 mostram como foram projetadas as ligações de gravidade.

Figura 29 – Detalhe de encaixe entre placas



(fonte: própria do autor)

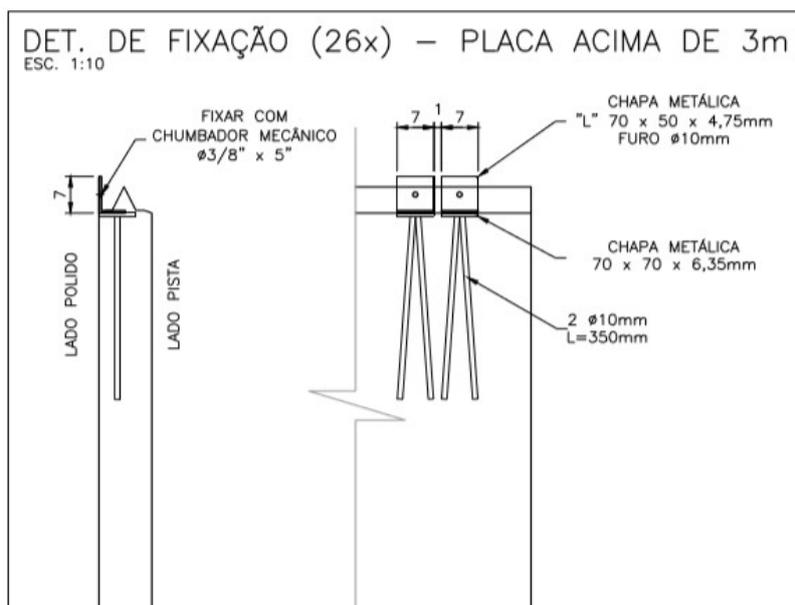
Figura 30 - Detalhe do console dos pilares para sustentação dos painéis



(fonte: própria do autor)

Para ligações de contraventamento, foi utilizado chapas e cantoneiras metálicas ASTM-A36 ancoradas ao painel. Segundo a ASTM (*American Society for Testing Material*) o ASTM-A36 é uma classificação para aço carbono estrutural com limite de escoamento  $\geq 250$  MPa. A chapa metálica é colocada no momento da fabricação do painel e antes do envio da peça para a obra, a cantoneira é soldada à chapa e é aplicado um fundo anticorrosivo. A fixação na estrutura é feita a partir de um chumbador mecânico. O detalhe da ligação de contraventamento pode ser verificado na figura 31.

Figura 31 - Detalhe da ligação de contraventamento

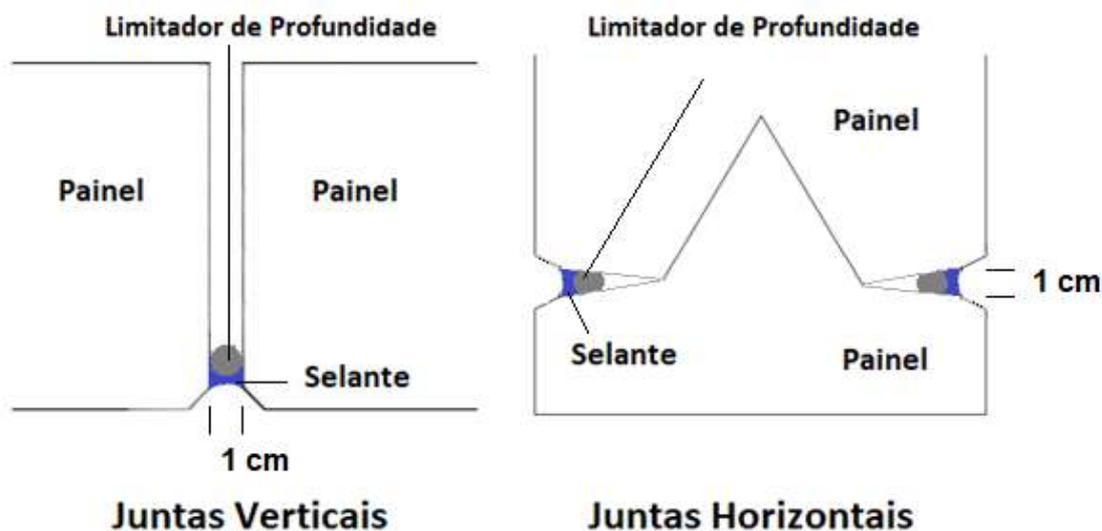


(fonte: própria do autor)

### 7.1.3 Juntas

As juntas foram projetadas com um formato geométrico simples, justapostas com largura de 10 mm. A figura 32, representa o esquema de juntas entre painéis na horizontal e na vertical.

Figura 32 – Detalhe das juntas horizontais e verticais



(fonte: própria do autor)

O material de preenchimento das juntas utilizado, foi um selante híbrido a base de polímeros sintéticos. Na figura 33, pode-se observar a ficha técnica do produto.

Figura 33 – Dados técnicos do selante utilizado nas juntas

Dados Técnicos		
Base		Polímeros Sintéticos
Aparência		Pastosa
Cor		Branca/Cinza
Sistema de Cura		Umidade do Ar
Densidade	20°C	1,48 ± 0,02 g/ml <sup>3</sup>
Formação de Pele	23°C e 50%HR	45 min
Tempo de cura	23°C e 50%HR	2,5 mm/dia
Temperatura de Aplicação		+5°C a +35°C
Dureza Final Shore A		30
Alongamento na Ruptura	ISO 8339	681%
Tensão na Ruptura		0,91 MPa
Resistência a Tração		1,72Mpa
Módulo Elástico 100%	ISO 8339	0,67 MPa
Resistência à Temperatura		180°C à 200°C
Capacidade de Movimentação		20%

(fonte: ficha técnica Solufix N405 A, 2019)

Segundo a Solufix (2019), o produto é de uso versátil e atende diversas demandas da construção civil, garante boa aderência ao concreto, resistência a radiação ultravioleta e boa durabilidade, apesar de não informar a vida útil do produto.

## 7.2 EXECUÇÃO DA FACHADA

Para que a montagem da estrutura e da fachada da edificação fosse realizada, analisou-se primeiramente as condições de acesso no local da construção e também as condições do solo para estabilidade de carretas e guindaste. Foi necessário a intervenção da construtora em ambas situações.

Verificou-se que o acesso principal da obra possuía curvas acentuadas, não sendo possível a passagem de carretas de pré-fabricados. Portanto, a construtora executou uma melhoria na via, suavizando sua curvatura e tornando possível o acesso de carretas, como pode ser verificado na figura 34.

Figura 34 – Execução de melhoria na via para acesso de carretas



(fonte: própria do autor)

A estabilidade do solo no local da construção também foi um fator preocupante para a construtora, que tomou medidas preventivas, a fim de evitar atolamento e tombamento de guindastes e carretas. Foi realizada a remoção da primeira camada do solo argiloso nas

áreas onde o guindaste foi patolado e também nas áreas de manobra da carreta de pré-fabricados. A figura 35 mostra o solo removido e aplicação de brita número 4 e pó de brita no local de manobra de carretas.

Figura 35 – Aplicação de brita na área de manobra de carretas



(fonte: própria do autor)

Para a elevação de placas, foi utilizado um guindaste com capacidade máxima de 12,6 toneladas e alcance de até 20,8 metros. Os painéis utilizados na fachada pesam menos de 2 toneladas e a altura da edificação possui 17,6 metros, portanto a escolha do equipamento foi adequada. O *insert* de içamento utilizado nos painéis foi do tipo elo, que conforme o item 6.2, é o mais seguro, apesar de possuir o maior custo.

A logística de montagem utilizada na execução da fachada, foi baseada nas seguintes premissas:

- a) aproveitamento máximo do guindaste: para otimizar o processo de montagem, procurou-se evitar que o guindaste se deslocasse a todo momento devido ao processo lento de patolagem (calçamento do guindaste). Portanto, foi necessário garantir que o acesso da carreta ou área de armazenamento dos elementos pré-fabricados estivessem no raio de ação do guindaste;
- b) montagem *just in time*: sempre que possível foi adotado o método *just in time*, conforme item 6.1, evitando armazenamento de painéis;
- c) montagem por panos de fachada: quando possível, foi priorizado a montagem dos painéis de forma vertical, pois há um aproveitamento melhor do guindaste. Além

disso, sempre na troca de panos de montagem, é importante que se inicie em uma fachada adjacente, a fim de garantir o alinhamento das juntas dos painéis.

O processo de montagem foi realizado por 4 funcionários: 1 operador de guindaste e 3 montadores. Durante a montagem foram utilizadas plataformas de trabalho aéreas para fixação de painéis, nivelamento e aplicação de selante em juntas e guindaste para elevação de painéis. Na tabela 17, é possível verificar a sequência de montagem.

Tabela 17 – Processo de montagem de painéis.

<b>Processo de montagem</b>	
1	Amarração do cabo de elevação do guindaste no <i>insert</i> em forma de elo do painel.
2	Elevação do painel pelo guindaste.
3	Encaixe do painel próximo a sua posição definitiva.
4	Com auxílio de uma plataforma de trabalho aérea, o montador coloca o painel na posição definitiva, confere nível e prumo e se necessário faz a correção.
5	Fixação das ligações de contraventamento.
6	Após a colocação de todos os painéis da fachada, é feito a aplicação do selante nas juntas com auxílio de uma plataforma de trabalho aérea.

(fonte: própria do autor)

Na figura 36, pode-se verificar que alguns itens citados acima não foram cumpridos durante todo o tempo de montagem. Primeiramente, pode-se notar que as placas estão armazenadas no canteiro, não caracterizando a montagem *just in time*. Em segundo, nota-se que a fachada dos fundos, na qual está sendo aplicado o selante com auxílio da plataforma amarela, não está com todos os painéis colocados, pois, em alguns momentos houve um descompasso entre a fabricação de painéis e a montagem na obra, portanto, para que o processo não parasse, foi iniciada a montagem na fachada adjacente.

Figura 36 – Montagem de painéis



(fonte: própria do autor)

### 7.2.1 Atendimento ao cronograma

Apesar de ser um processo simples, a obra enfrentou diversas dificuldades na montagem dos painéis, o que acarretou em um atraso em relação ao cronograma inicial. A tabela 18, mostra o cronograma inicial de montagem de painéis.

Tabela 18 - Cronograma inicial de montagem de painéis

<b>Cronograma de montagem de painéis</b>			
<b>Tarefa</b>	<b>Início</b>	<b>Término</b>	<b>Duração (dias)</b>
Montagem de painéis fachada 1	07/11/2018	13/11/2018	5
Montagem de painéis fachada 2	14/11/2018	21/11/2018	6
Montagem de painéis fachada 3	22/11/2018	28/11/2018	5
Montagem de painéis fachada 4	29/11/2018	06/12/2018	6
Montagem de painéis cobertura	07/12/2018	11/12/2018	3

(fonte: própria do autor)

Pode-se perceber que somando a duração de cada tarefa, o tempo de execução da fachada como um todo, é de 25 dias, não levando em consideração os fins de semana. Para cumprir o cronograma deveria ser montado em torno de 10 painéis por dia, o que é uma produção razoável, e em condições normais, fácil de ser alcançada. Porém a duração real de execução foi de 46 dias úteis. Dentre os fatores que contribuíram para o atraso na montagem estão:

- a) condições do tempo: apesar de ser um sistema onde é possível trabalhar com chuva, a montagem da fachada foi parada quando a chuva era acompanhada de ventos fortes ou descargas elétricas;
- b) sequência de envio de peças: a maioria das cargas de painéis, chegaram à obra de forma desorganizada, fora da sequência de montagem, obrigando o armazenamento de painéis;
- c) descompasso entre fábrica e obra: muitas vezes foram enviados painéis de fachadas que não estavam sendo montadas, ou seja, peças que não condiziam com a real necessidade da obra;
- d) ausência de folgas de projeto: não foi previsto nenhum tipo de folga de projeto para a execução da fachada, portanto, qualquer irregularidade apresentada na estrutura, gerou dificuldades para montagem dos painéis. Um item recorrente foi a regularização das bordas do capeamento. Por tratar-se de lajes pré-fabricadas, foi executado um capeamento de concreto sobre as lajes e um painel de madeira foi usado como forma de borda (ver figura 39). Muitas vezes, a borda de concreto teve que ser regularizada antes da colocação do painel;
- e) falta de detalhes construtivos: não foi previsto nenhum detalhe de encaixe entre painéis superiores e inferiores na região da cantoneira metálica (ligação de contraventamento). Para solucionar o problema os montadores cortaram uma parte do concreto na região para que fosse possível a montagem (ver figura 39), este processo demandou um tempo maior do que o previsto;
- f) problemas de fabricação: foram encontrados em diversas ocasiões, problemas de dimensão dos elementos, esquadro e posicionamento de *inserts*, estes itens prejudicaram o andamento da montagem.

### 7.3 NÃO CONFORMIDADES

Durante as visitas realizadas na obra, notou-se diversas não conformidades na execução dos painéis. Para melhor entendimento da causa dessas falhas, elas serão apresentadas em três tipos: não conformidades de projeto, não conformidades de fabricação e não conformidades de montagem. A tabela 19, mostra o resumo das não conformidades encontradas na obra.

Tabela 19 – Resumo de não conformidades

<b>Item</b>	<b>Falha</b>	<b>Problema relacionado</b>	<b>Origem da falha</b>
7.3.1.1	Não conformidades no sistema de ligação dos painéis	Diminuição da vida útil da fachada, impossibilidade de manutenção, manifestações patológicas devido a expansão e retração térmica.	Projeto
7.3.1.2	Ausência de folgas de projeto	Atraso na montagem	Projeto
7.3.1.3	Escolha do material selante inadequado	Diminuição da vida útil do selante, problemas de vedação externa.	Projeto
7.3.1.4	Falta de detalhes construtivos	Atraso na montagem, problemas estéticos	Projeto
7.3.2.1	Dimensões de painéis fora de tolerância	Atraso na montagem, problemas estéticos, exposição da armadura ao cortar o painel	Fabricação
7.3.2.2	Painéis fora de esquadro	Problema estético, dificuldade para realizar o selamento das juntas	Fabricação
7.3.2.3	Erro de posicionamento da cantoneira metálica	Atraso na montagem	Fabricação
7.3.2.4	Fabricação de painel invertido	Problema estético	Fabricação
7.3.3.1	Exposição da armadura de painéis	Diminuição da vida útil da fachada, segurança dos usuários	Montagem
7.3.3.2	Desalinhamento da face externa entre painéis	Problema estético	Montagem / Fabricação
7.3.3.3	Execução inadequada de selamento de juntas	Diminuição da vida útil do selante, problemas de vedação externa.	Montagem

(fonte: própria do autor)

### 7.3.1 Não conformidades de projeto

Dentre as falhas encontradas na obra, percebeu-se que algumas delas poderiam ser evitadas se houvesse um melhor aprofundamento e detalhamento de projeto. As principais não conformidades encontradas no projeto foram: sistema de fixação; ausência de folgas de projeto; escolha do material selante, falta de detalhes construtivos.

#### 7.3.1.1 Não conformidades no sistema de fixação

O sistema de fixação escolhido pelo projetista, descrito no item 7.1.2, possui algumas limitações que deveriam ser consideradas no momento da escolha do sistema. O primeiro item que deve ser observado, é o material da cantoneira metálica nas ligações de contraventamento. O material escolhido foi o ASTM-A36, um aço carbono com pouca resistência à corrosão. Embora tenha-se aplicado um fundo anticorrosivo, o material já chegou à obra apresentando pontos de corrosão, conforme figura 37. Um ponto importante que deveria ter sido considerado, é a dificuldade de manutenção do sistema escolhido. Após as ligações de contraventamento serem executadas, o painel superior é encaixado, cobrindo totalmente a ligação, por este motivo, não há como realizar manutenção, sendo possível somente se a fachada for desmontada e montada novamente.

Figura 37 – Cantoneira metálica com pontos de corrosão



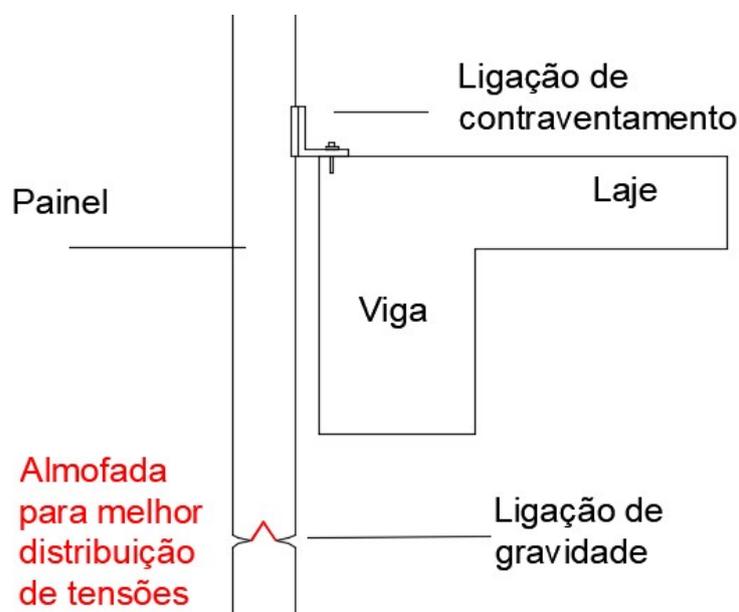
(fonte: própria do autor)

Outro fator que deveria ser melhor estudado, é a fixação dos chumbadores mecânicos diretamente em pilares e vigas. Este sistema não é o mais adequado, pois os esforços de pressão e sucção podem enfraquecer a ligação ao longo do tempo.

Nas ligações de gravidade, que foram executadas por encaixe, não foi previsto nenhum material entre painéis para absorção de esforços devido a expansão e retração térmica, podendo gerar fissuras na região do encaixe.

Verifica-se que o sistema de fixação escolhido pelo projetista, não atende aos requisitos dos itens 4.5 e 6.4 deste trabalho, portanto, propõe-se um novo detalhe de sistema de fixação que pode ser verificado na figura 38.

Figura 38 – Sistema de ligação proposto para edificação em estudo



(fonte: própria do autor)

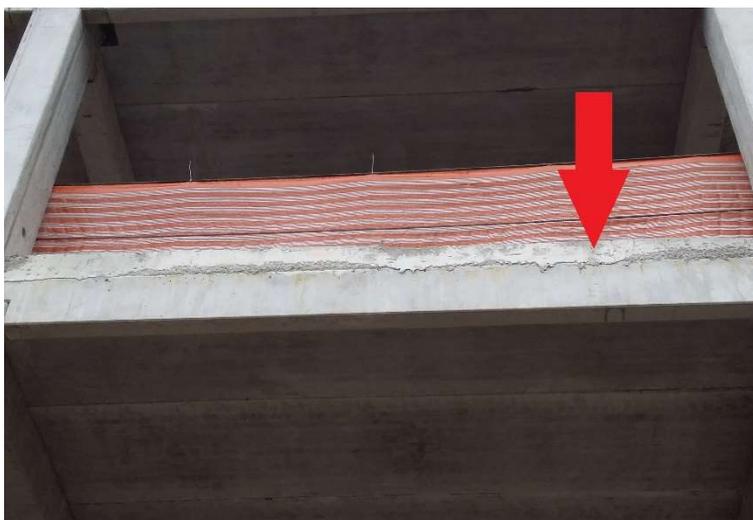
O sistema de ligação proposto para edificação possui uma ligação de contraventamento com cantoneira metálica soldada ao painel e fixada na viga através de chumbadores mecânicos, caso o aço utilizado seja o ASTM-A36, deve ser feito um tratamento com fundo anticorrosivo e pintura após a instalação. A cantoneira instalada da maneira que mostra na figura 38 possibilita ações de manutenção, diferentemente da situação executada na edificação em estudo. Na ligação de gravidade foi proposto o uso de almofada para melhor distribuição de tensões e acomodações devido a expansões térmicas e higroscópicas. Outro item proposto foi o uso de folga de projeto entre a viga e

o painel, facilitando a montagem e evitando adaptações no canteiro, esta folga deve ser preenchida com material resistente ao fogo.

### 7.3.1.2 Ausência de folgas de projeto

Conforme descrito no item 6.7 deste trabalho, as folgas de projeto têm a finalidade de absorver as tolerâncias relativas às dimensões dos componentes e ao seu alinhamento após montados. A ausência das folgas, prejudicou muitas vezes o desenvolvimento da montagem dos painéis. Qualquer desnível ou encurvamento encontrados em pilares, vigas e capa de concreto, teve que ser corrigido ou regularizado, a fim de possibilitar o andamento da fachada.

Figura 39 – Irregularidade no capeamento de concreto.



(fonte: própria do autor)

### 7.3.1.3 Não conformidade na escolha do material selante

Analisando os dados técnicos fornecidos pelo fabricante do material escolhido para selar as juntas dos painéis no item 7.1.3, pode-se perceber algumas limitações. O primeiro item que se observa é a temperatura de aplicação do produto, que segundo o fabricante fica entre 5°C e 35°C. O produto foi aplicado no verão entre os meses de dezembro e janeiro, onde a temperatura ambiente e os painéis de concreto atingem frequentemente

temperaturas mais elevadas que 35°C. Além disso, suas propriedades ficam um pouco abaixo dos selantes mais utilizados em fachadas, conforme tabela 2. Algumas informações como temperatura de serviço e durabilidade, não foram fornecidas claramente pelo fabricante. Portanto, este selante não é o mais adequado para esta região no período em que foi utilizado.

#### 7.3.1.4 Falta de detalhes construtivos

Não foi previsto nenhum detalhe de encaixe entre painéis superiores e inferiores na região da cantoneira metálica (ligação de contraventamento). Para solucionar o problema os montadores cortaram uma parte do concreto na região para que fosse possível a montagem, este processo demandou um tempo maior do que o previsto. Na figura 40, pode-se perceber a placa de concreto quebrada para possibilitar o encaixe.

Figura 40 - Falta de detalhe de encaixe na região da cantoneira metálica



(fonte: própria do autor)

#### 7.3.2 Não conformidades de fabricação

As não conformidades de fabricação dos painéis geraram diversas dificuldades de montagem. Embora o processo de fabricação possua tolerâncias bem especificadas em norma, a construtora aceitou a maioria dos elementos, pois o risco de não atendimento ao cronograma da obra era bastante alto, caso optasse pela troca do painel quando o mesmo apresentasse dimensões fora de tolerância. As principais não conformidades de fabricação

encontradas foram: comprimento do painel; esquadro do painel; posicionamento da cantoneira metálica; painéis invertidos.

### 7.3.2.1 Dimensão dos painéis

Durante as visitas à obra, foram encontrados diversos painéis com variações de comprimento ou largura acima das especificadas no item 5.5. Na maioria dos casos, a dimensão real do painel estava maior que o previsto em projeto. Estas falhas no processo de fabricação prejudicaram o desenvolvimento da fachada, pois alguns painéis foram cortados para se adequar a montagem, conforme mostra a figura 41.

Figura 41 – Painel com dimensões fora de tolerância



(fonte: própria do autor)

Outro item que sofreu influência devido ao problema, foi a produção de esquadrias. A ideia inicial era que as esquadrias fossem fabricadas em série, conforme vãos determinados em projeto. Contudo, isto não foi possível devido a variação dimensional dos painéis e em alguns vãos as esquadrias foram fabricadas sob medida, situação que não favorece a rapidez na produção.

### 7.3.2.2 Esquadro dos painéis

Foi verificado durante a montagem, que alguns painéis não apresentaram tolerâncias de esquadro conforme item 5.5, como a preferência foi manter o nível horizontal do painel, a falta de esquadro criou juntas verticais em cunha, gerando dificuldades para aplicação do selante nestas situações, além de problemas estéticos. A figura 42, mostra a junta em cunha criada pela falta de esquadro dos painéis.

Figura 42 – Falta de esquadro em painel



(fonte: própria do autor)

### 7.3.2.3 Posicionamento da cantoneira metálica

Conforme visto no item 5.5, a tolerância no posicionamento dos insertos de fixação é de 15 mm, porém foram encontrados pelo menos dois casos durante a montagem, no qual este limite se excedeu. Neste caso, a cantoneira e a chapa metálica que compõe o sistema tiveram que ser retiradas e realocadas na posição de projeto, para que fosse possível a fixação na estrutura. Na figura 43, é possível verificar a cantoneira na posição errada, percebe-se também que já havia um painel colocado sobre a cantoneira, portanto, este painel precisou ser retirado para que a solução do problema fosse possível. Este fato mostra o desperdício de tempo com o acúmulo de erros e o quanto é difícil solucionar um problema que poderia ser evitado pela simples conferência na fábrica.

Figura 43 – Cantoneira metálica fora de posição



(fonte: própria do autor)

#### 7.3.2.4 Painéis invertidos

Como explicado no item 7.1.1, optou-se por utilizar o lado polido do painel na parte interna da edificação e o lado voltado para pista de concretagem na parte externa. Em três ocasiões a fábrica falhou e os painéis chegaram a obra com seus lados invertidos. Mais uma vez a construtora aceitou o painel, pois acarretaria na paralisação da montagem por alguns dias. Embora após a montagem a fachada seja revestida com selador e tinta, ao observar com cuidado será possível notar a diferença de textura entre os dois acabamentos dos painéis. A figura 44, mostra a diferença de tonalidade do painel invertido para os demais.

Figura 44 – Painel fabricado de forma invertida.



(fonte: própria do autor)

### 7.3.3 Não conformidades de montagem

Durante a execução da fachada, encontrou-se algumas não conformidades de montagem. É importante ressaltar que alguns destes problemas poderiam ser evitados, se houvesse um melhor controle de qualidade na fabricação dos painéis. As principais não conformidades de montagem percebidas foram: exposição da armadura do painel, desalinhamento da face externa dos painéis, execução do selamento de juntas.

#### 7.3.3.1 Exposição da armadura dos painéis

Como descrito no item 7.3.2.1, alguns painéis foram cortados para se adequar as dimensões de projeto. Ao cortar o elemento de concreto, houve exposição da armadura. O cobrimento da armadura exposta foi realizado com graute, porém, em alguns casos ficou abaixo de 2 cm, que é o mínimo exigido pela NBR 16475 (ABNT, 2017). Também se encontrou casos onde não houve tratamento da armadura exposta, conforme figura 45.

Figura 45 - Armadura do painel exposta



(fonte: própria do autor)

#### 7.3.3.2 Desalinhamento da face externa dos painéis

Durante a montagem dos painéis, notou-se que alguns painéis ficaram desalinhados e fora da tolerância de montagem descrita no item 6.6, parâmetro G. Apesar do problema ser percebido há tempo de ser corrigido, não houve sucesso, pois, o sistema de encaixe entre painéis não permite deslocamentos na direção do plano do painel. Portanto, para que o alinhamento da face externa fosse bem-sucedido, a precisão na fabricação dos encaixes entre painéis deveria ser perfeita ou deveria ser previsto alguma folga de projeto para que exista a possibilidade de ajuste no painel. Na figura 46, é possível perceber o desalinhamento da face externa entre painéis.

Figura 46 – Desalinhamento da face externa entre painéis



(fonte: própria do autor)

#### 7.3.3.3 Não conformidades na execução de selamento das juntas

A obra enfrentou algumas adversidades ao executar o selamento de juntas dos painéis. A falta de esquadro, dimensões fora de tolerância e desalinhamento dos painéis, criaram juntas que variam de 1 até 3 cm no mesmo alinhamento, ou seja, uma situação muito desfavorável para a aplicação do selante de forma adequada. A construtora optou por aplicar o selante de acordo com a maior largura de cada alinhamento, uma escolha que melhorou esteticamente a visualização das juntas, porém, prejudicou a vida útil do selante, pois, não foi mantida a relação de largura e espessura conforme item 4.6.3. Além disso, o selante que seria aplicado conforme figura 32, em diversas situações avançou sobre as bordas dos painéis, podendo gerar tensões não favoráveis ao material selante, propiciando sua falha. Verificou-se também, dificuldade no uso dos limitadores de profundidade. O ideal, é que o diâmetro do limitador seja 20% maior que a largura da junta, um procedimento que não foi possível executar em todos os casos, já que houve grande variação na dimensão das juntas. Na figura 47, é possível notar o avanço do selante sobre as bordas do painel, falhas no acabamento superficial e a não utilização de fita adesiva durante a aplicação, conforme descrito no item 6.5.

Figura 47 - Não conformidades no selamento de juntas



(fonte: própria do autor)

#### 7.4 ATENDIMENTO AO DESEMPENHO DA EDIFICAÇÃO

Neste item, será verificado o atendimento ao desempenho do sistema de vedação vertical da edificação analisada para os critérios estabelecidos no item 3.1 deste trabalho.

Não foi realizado nenhum tipo de ensaio do sistema, portanto, alguns dados serão extraídos de bibliografias existentes. Contudo, não será possível avaliar o desempenho estrutural da edificação, pois, não se conhece as solicitações presentes na edificação e também a estanqueidade à água, já que não será realizado nenhum tipo de ensaio.

##### 7.4.1 Atendimento ao desempenho contra incêndio

Para a edificação atender ao desempenho contra incêndio, é necessário analisar todos materiais utilizados na estrutura, vedação, materiais de revestimento e acabamento,

porém a proposta deste item é avaliar somente o sistema de painéis de concreto utilizado na edificação.

Conforme descrito no item 3.1.2, o tempo mínimo de resistência ao fogo para uma edificação do tipo E-2 (edificação com uso educacional), com altura entre 6 e 12m é de 60 minutos.

De acordo com BS (1992), uma parede de concreto armado de 10 cm, possui tempo de resistência ao fogo de 90 minutos. A tabela 20 mostra a relação do tempo de resistência ao fogo com a espessura dos painéis de concreto armado.

Tabela 20 – Relação da espessura de painéis e tempo de resistência ao fogo

TRRF(min)	Espessura mínima do painel (cm)
30	6
60	8
90	10
120	12
180	15
240	17,5

(fonte: adaptado de British Standard, 1992)

Verifica-se que o painel atende os critérios de desempenho mínimo, porém, o sistema é composto também por juntas, que é um ponto crítico do desempenho contra incêndio. Portanto, é necessário averiguar se o selante escolhido possui o tempo de resistência ao fogo exigido através de ensaios, pois, o fabricante normalmente não relata essa informação e caso seja verificado que o selante não atende ao desempenho exigido, deve ser projetado o uso de algum material resistente ao fogo entre as juntas do painel.

#### 7.4.2 Atendimento ao desempenho acústico

Para a edificação atender o desempenho acústico, é necessário analisar o conjunto da edificação, que é composto por paredes de vedação externa e interna, esquadrias, piso, forro, etc. Porém, neste trabalho se verificará somente o sistema de vedação vertical.

Foi verificado no item 3.1.3, que o nível máximo de pressão sonora em um ambiente como sala de aula, o local mais crítico da edificação em estudo, é de 40 dB.

Como a edificação fica em uma zona urbana, usou-se a pressão sonora de 80 dB, equivalente a um trânsito intenso, para verificar o nível de isolamento necessário da vedação externa.

Tabela 21 – Pressões sonoras

Fonte Sonora	Intensidade (dB)
Limiar da audição	0
Mínimo som audível	10
Conversa baixa	20
Rua silenciosa	30
Música baixa	40
Escritório	50
Conversa alta	60
Motor de caminhão	70
Trânsito intenso	80
Britadeira	90
Buzina	100
Show de Rock	110
Turbina de jato	120
Limiar da dor	120 a 130
Foguete espacial	200
Explosão nuclear	220

(fonte: Gouveia, acesso em 2019)

Portanto, seria preciso um isolamento acústico de 40 dB, na parede externa para que seja atendida a exigência da NBR 10152 (ABNT, 2017).

Segundo Kawnner (2016), uma parede maciça de concreto possui um isolamento acústico de 45 dB, o que seria necessário para atender à exigência da norma, porém é preciso avaliar também o comportamento acústico da junta através de ensaios. O sistema de parede externo inicial composto por painel de concreto e complementado internamente por um painel *dry wall*, poderia garantir o isolamento acústico, mesmo que o material de vedação das juntas entre painéis não apresentasse um desempenho acústico satisfatório. Como o *dry wall* não foi executado e não foi previsto nenhum outro material de

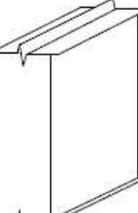
isolamento acústico para as juntas entre painéis, provavelmente este sistema não atenderá o desempenho mínimo exigido.

### 7.4.3 Atendimento ao desempenho térmico

Para que o desempenho térmico seja garantido, é necessário avaliar como se comporta o sistema de fechamento vertical, juntamente com esquadrias. Porém, neste estudo, por falta de dados, será analisado somente a parede de vedação.

Conforme a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), a transmitância térmica e capacidade térmica para paredes de concreto maciço de 10 cm de espessura são de 4,40 W/m<sup>2</sup>.K e 240 KJ/m<sup>2</sup>.K respectivamente.

Tabela 22 – Valores de transmitância, capacidade e atraso térmico para paredes de concreto

Parede	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> .K)]	C <sub>T</sub> [kJ/(m <sup>2</sup> .K)]	φ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7

(fonte: ABNT NBR 15220-2, 2005)

A absorvância para o concreto, de acordo com a NBR 15220-2 (ABNT, 2005), é de 0,65. Para este valor de absorvância e uma cidade localizada na zona bioclimática 3, a transmitância deve ser menor ou igual a 2,5 W/m<sup>2</sup>.K e sua capacidade térmica maior ou igual a 130 KJ/m<sup>2</sup>.K, conforme Tabela 4 (item 3.1.4).

Verifica-se que a transmitância térmica da parede de concreto desta edificação não atende aos critérios estabelecidos, portanto não possui o desempenho mínimo. Mais uma vez, o

sistema inicial, composto pelo painel de concreto e *dry wall*, apresentaria melhor desempenho para atender a NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

#### **7.4.4 Atendimento à durabilidade e manutenibilidade**

Conforme visto no item 3.1.6 para que seja garantida a vida útil da edificação, é necessário fazer manutenções preventivas e corretivas na vedação vertical. As ligações de contraventamento da edificação, foram projetadas de forma que, ao colocar o painel superior, a cantoneira metálica do painel inferior ficou totalmente coberta, impossibilitando a manutenção. Além disso, o aço utilizado na cantoneira, é de baixa resistência à corrosão, reforçando ainda mais a importância da manutenção.

Portanto, percebe-se que a vida útil do sistema pode ser prejudicada, devido à impossibilidade de manutenção das ligações de contraventamento, não atendendo aos critérios da NBR 15575-4 (ABNT, 2013b).

### **7.5 RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO**

Na obra acompanhada, verificou-se que a montagem dos painéis foi executada de forma segura, pois houve um investimento por parte da construtora em melhoria de acesso para carretas e melhoria do solo na área de patolagem (calçamento do guindaste). O içamento de painéis ocorreu de forma satisfatória, seguindo as instruções de documentos técnicos e a montagem foi parada quando houve ventos fortes e chuva acompanhada de descargas elétricas. Estes fatores contribuíram para que os funcionários trabalhassem com segurança, evitando acidentes.

O tempo de execução da fachada, descrito no item 7.2.1, foi praticamente o dobro do que o previsto no cronograma, ou seja, a velocidade na montagem não foi bem-sucedida. Apesar do acesso de carretas e equipamentos acontecer de forma satisfatória, os diversos problemas em projeto, fabricação dos painéis e logística de envio de peças prejudicaram a montagem da fachada. Portanto,

Foram constatadas não conformidades, descritas no item 7.3, no painel, nas ligações e no selamento de juntas. Percebe-se que a maioria das falhas poderiam ser evitadas ainda em fase de projeto e fabricação dos elementos. Pode-se considerar que houve um investimento baixo no planejamento do sistema e em detalhes construtivos que geraram dificuldade de montagem e soluções inapropriadas no canteiro de obras. O controle de qualidade na fabricação dos elementos deixou muito a desejar e foi um dos itens responsáveis pela falta de sucesso do sistema adotado, já que as grandes variações de dimensão, falta de esquadro e erros no posicionamento de *inserts*, prejudicaram o andamento da montagem e causaram problemas estéticos. As falhas apresentadas, facilitam manifestações patológicas na fachada, prejudicando sua vedação, desempenho e durabilidade do sistema.

Em relação ao atendimento ao desempenho, percebe-se que os painéis de concreto, individualmente, atendem as exigências quanto ao desempenho contra incêndio e acústico, mas ficou abaixo do desempenho térmico mínimo exigido por norma. Contudo, avaliando o painel individualmente não é possível garantir o atendimento ao desempenho, pois, as juntas entre painéis, assim como o selante utilizado, podem comprometer o sistema. Para que seja possível verificar o real desempenho contra incêndio, acústico e térmico deve-se realizar ensaios no sistema como um todo, contendo juntas seladas, painel e ligações e também esquadrias. Além disso, um fator que poderia contribuir para uma melhora significativa de desempenho acústico e térmico é o sistema de vedação externa composto por painel de concreto externo e placa de *dry wall* interna, que foi projetada inicialmente, mas foi retirada, tendo em vista uma redução orçamentária. A falta de acesso à manutenção nas ligações de contraventamento, também foi um fator que não atendeu aos critérios de durabilidade e manutenibilidade.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho, teve como objetivo analisar o sistema de vedação de painéis de concreto em uma obra situada na cidade de Porto Alegre, através de visitas à edificação, análise de documentos técnicos e não conformidades decorrentes de problemas encontrados nas etapas de projeto, fabricação, montagem e desempenho da edificação.

Conforme explicado nos capítulos anteriores, a velocidade na execução, uso de materiais de alta qualidade, redução de desperdícios e maior controle de qualidade e muitas vezes economia de recursos, são características que levam a escolha de painéis pré-fabricados de concreto. Contudo, para garantir um bom desempenho e para que o sistema escolhido funcione de fato, é preciso adotar projetos otimizados e dar atenção à etapa de fabricação dos elementos, que deve possuir um rigoroso sistema de qualidade, atendendo as tolerâncias estabelecidas em normas. Além disso, o planejamento de entrega dos elementos pré-fabricados deve funcionar em sintonia com a obra, para que se possa obter maior velocidade de execução e economia de recursos no canteiro. Para que o sistema *just in time* funcione, a fábrica deve possuir estoque de painéis ou deve ter um processo de retificação, para que chegue a obra dentro das condições de montagem. A execução da fachada deve ser realizada com mão de obra especializada, a fim de garantir um serviço de qualidade e segurança na execução. Os painéis pré-fabricados não permitem adaptações, portanto, ao escolher este sistema, deve-se tomar precauções necessárias para evitar tomadas de decisão no canteiro de obras.

Ao fim deste estudo percebe-se, que algumas escolhas, durante a fase de projeto, foram feitas de maneira equivocada. O sistema de fixação prejudicou a montagem, ocasionando em diversas situações, adaptações e retrabalhos no canteiro de obras. A retirada das placas de *dry wall* internas, interferiu diretamente no desempenho da edificação, já que seriam necessárias para atender às exigências de desempenho acústico e térmico. A escolha do selante, que não era adequado para o período do ano em que foi aplicado e impossibilidade de manutenção das ligações de contraventamento, geraram desconfiança quanto ao desempenho e durabilidade da fachada executada. Portanto, para que as principais expectativas do sistema de vedação sejam atendidas, deve haver um maior investimento em planejamento, detalhes construtivos e controle de qualidade, assim como uma mudança de postura de projetistas e fabricantes de painéis.

## REFERÊNCIAS

ACKER, A.V. **Manual de sistemas pré-fabricados de concreto**. Traduzidos por Marcelo de Araújo Ferreira. São Paulo: ABCIC, 2002. Disponível em: <[http://apoioididatico.iau.usp.br/projeto3/2013/manual\\_prefabricados.pdf](http://apoioididatico.iau.usp.br/projeto3/2013/manual_prefabricados.pdf)>. Acesso em: junho de 2019.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI – **Guide for precast concrete wall panels** – ACI 533R. Detroit, 1993.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM – **Standart guide for calculating movement and other effects when establishing selant joint width**. ASTM Committee C24 on Building Seals and Sealants. West Conshohocken, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM – **Standart specification for electrodeposited coating of zinco on iron and steel** - ASTM B633. In Annual Book of ASTM Standarts, 1994.

Archiexpo. Catálogo de painéis pré-fabricados: painel sanduíche **Archiexpo**. Disponível em:< <http://www.archiexpo.com/pt/prod/concast/product-105233-1025549.html>>. Acesso em: maio de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: desempenho térmico de edificações parte 2 – Métodos de cálculo da transmitância térmica, da

capacidade térmica e do fator solar de elementos e componentes de edificações . Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais – Desempenho - Parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: edificações habitacionais – Desempenho - Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas- SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16475**: painéis de parede de concreto pré-moldado – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: desempenho térmico de edificações – Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM67**: concreto - determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 1998.

BARBOZA, N. Planejamento e controle da qualidade resumem as principais características e vantagens dos pré-fabricados de concreto. **Téchne**. Agosto de 2016. Disponível em: <<https://techne.pini.com.br/2016/08/planejamento-e-controle-da-qualidade-resumem-as-principais-caracteristicas-e-vantagens-dos-pre-fabricados-de-concreto/>>. Acesso em: junho de 2019.

BARTH, F; VEFAGO, L.H.M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Centro tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2007. 259p.

BRITISH STANDARD INSTITUTION – BSI – **Code for practice for: design and installation of non-loadbearing precast concrete cladding – BS 8297**. London, 2000.

BRITISH STANDARD. **BS 1992-1-2: design of concrete structures: general rules: structural fire design**. London, 2004b.

DAWSON, S. **Cast in Concrete: reconstructed stone and precast concrete – A guide for architects**. London: architectural Cladding Association, 1995. 99 p.

**Decreto** nº 53.280 de 1º de novembro de 2016. Estabelece normas sobre segurança, prevenção e proteção contra incêndio nas edificações e áreas de risco de incêndio no Estado do Rio Grande do Sul.

DPB – Soluções Tecnológicas para Construção Civil. Informação de produto para sistema de paredes DPB de painéis nervurados pré-fabricados de concreto armado. **Painel nervurado DPB**. Nov. , 2018.

FRANCO, L.S. O projeto de vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção. In: I SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: Vedações Verticais – São Paulo, 1998. **Anais. EPEUSP/PCC**, 1998. P221-236.

GEROLLA, GIOVANNY. Painéis para construções industriais. **Revista Técnica**, ed. 145, abril de 2009. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/145/artigo287647-1.aspx>>. Acesso em: maio de 2019.

GOUVEIA, R. Ondas sonoras. Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/ondas-sonoras/>>. Acesso em julho de 2019.

**Instrução Técnica** Nº 08 /2018 – Segurança estrutural contra incêndio. Polícia Militar do Estado de São Paulo, Corpo de Bombeiros. São Paulo, 2018.

KAWNNER. Desempenho acústico de esquadrias e NBR 15575. 2016. Disponível em:<<https://docplayer.com.br/30152745-Desempenho-acustico-de-esquadrias-e-nbr.html>>. Acesso em: julho de 2019.

LEDBETTER, S.R; HURLEY, S; SHEEHAN, A. **Selant joints in the external envelope of buildings**: a guide to design, specification and construction. 179p. CIRIA R178. CIRIA. London, 1998.

Marka. Catálogo de painéis pré-fabricados: painel maciço **Marka**. Disponível em:<<http://www.markaweb.com.br/paineis-de-vedacao/>>. Acesso em: maio de 2019.

MARTINS, José Carlos et al. Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC. **Desempenho de Edificações Habitacionais**: . 2<sup>a</sup> ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 302 p.

MEDEIROS, J.S. **Patologia dos revestimentos**: fundamentos e prevenção. Curso organizado por Inovatec Consultores Associados. Apostila. São Paulo, 2006. 55P.

MELO, C.E.E. **Manual munte de projetos em pré-fabricados de concreto**. São Paulo, Ed. Pini, Munte – soluções concretas. 2<sup>a</sup> ed., 2007, 534p.

OLIVEIRA, A.L. Como construir: painéis pré-moldados maciços de concreto armado para paredes. **Téchne**. Julho de 2016. Disponível em:<<https://techne.pini.com.br/2016/07/como-construir-paineis-pre-moldados-macicos-de-concreto-armado-para-paredes/>>. Acesso em: junho de 2019.

OLIVEIRA, L.A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002, 191p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PRECAST CONCRETE INSTITUTE – PCI -Tolerances for precast and prestressed concrete – **PCI Journal**. V30, n.1 Jan/Fev, 1985.

RIBEIRO, F.A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**: levantamento do estado da arte. 2006, 175p. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia**. 1989. 336 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo 1989.

SABBATINI, F. H.; FRANCO, L .S.; BARROS, M. M. S. B. **Tecnologia de vedações verticais**. São Paulo: EPUSP, 1993. Apostila da disciplina de tecnologia da construção de edifícios I.

SILVA, J. Painéis para fechamento de fachadas: pré-moldados. **Revista Finestra**, ed. 56, março, 2009. Disponível em:<<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/paineis-para-fechamento-de-fachadas-pre-moldados-01-03-09>>. Acesso em: maio de 2019.

SILVA, M.G; SILVA, V.G. **Painéis de Vedação**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de siderurgia / centro Brasileiro da construção em aço, 2004. Séries Manuais da construção em Aço.

Solufix. Informação de produto, selantes para construção: **Solufix N405A**. Disponível em:< <http://www.solucaoselantes.com.br/wp-content/uploads/N-405A.pdf>>. Acesso em: abril de 2019.

THOMAZ, ERCIO. Quais os principais cuidados de projeto e execução de paredes de drywall em boxes de chuveiros. **Revista Técnica**, ed. 218, maio de 2015. Disponível em: <<http://techn17.pini.com.br/engenharia-civil/218/quais-os-principais-cuidados-de-projeto-e-execucao-de-paredes-347584-1.aspx>>. Acesso em: maio de 2019.