

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Ângela Patrícia Raffler

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SUBSTRATOS DE FACHADAS VENTILADAS  
COM FOCO NA ANCORAGEM DA SUBESTRUTURA DE FIXAÇÃO**

Santa Cruz do Sul

2019

Ângela Patrícia Raffler

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE SUBSTRATOS DE FACHADAS VENTILADAS  
COM FOCO NA ANCORAGEM DA SUBESTRUTURA DE FIXAÇÃO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Marcus Daniel Friederich dos Santos.

Santa Cruz do Sul

2019

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu gostaria de agradecer àqueles que são o meu porto seguro, meus pais Alberto Raffler e Ádila Regina Argenton Raffler, pelo amor, apoio e compreensão incondicionais, que sem dúvidas foram fundamentais para a realização deste trabalho. Agradeço ao meu irmão Adriano Argenton Raffler por ter estado sempre disposto a ajudar, inclusive para, no dia do próprio aniversário, fazer furos em substratos comigo. Cabe ainda um agradecimento especial ao meu primo Jeferson Emmel, que foi sempre muito solícito para auxiliar no que fosse necessário.

Agradeço ao meu orientador, Marcus Daniel Friederich dos Santos por todo o conhecimento transmitido nas inúmeras orientações, pelas críticas construtivas que, sem dúvidas, tornaram este trabalho melhor, por ter acreditado na pesquisa e dado suporte, sem medir esforços, para que ela se concretizasse.

O meu sincero muito obrigada às minhas colegas e amigas do coração, Lilyana Dalbosco, Luisa Leites, Julia Weber, Maira Krann, Milka Ricalde e Larissa Almeida, por terem sempre me apoiado e compartilhado comigo essa inesquecível jornada.

Agradeço também aos laboratoristas Rafael Henn e Henrique Eichner por toda a assistência prestada durante a realização da parte experimental da pesquisa.

Agradeço ao Engenheiro Geraldo Groisman Neto, por toda a colaboração prestada ao presente trabalho.

Para que esse texto caiba em uma página, deixo aqui minha gratidão a todas as pessoas, que foram inúmeras, que de alguma forma contribuíram para este trabalho, seja com materiais, projetos, dicas, informações, na parte experimental, ou simplesmente com um “calma, vai dar tudo certo”.

E, sobretudo, agradeço a Deus por sempre me dar forças e por colocar pessoas maravilhosas em minha vida.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.*

*Albert Einstein*

## RESUMO

O presente estudo trata sobre a comparação do desempenho de diferentes sistemas construtivos empregados no substrato de fachadas cujo revestimento é do tipo não aderido, quanto à resistência oferecida aos esforços oriundos do peso próprio do revestimento, do vento e de cargas acidentais, com foco esforço de arrancamento das fixações no contexto do sistema de fachadas ventiladas. A problemática que motivou a pesquisa consiste no estabelecimento da relação entre o tipo de substrato e a forma de dimensionamento a ser adotada para as fixações do revestimento, considerando que cada tipo de substrato oferece um grau de confiabilidade distinto assim como cada tipo de fixação interage de uma forma diferente com o revestimento, transmitindo os esforços ao substrato de forma também particular; nesse sentido, as análises foram centralizadas em sistemas de ancoragem pontual através de furações nos bordos do revestimento. O objetivo do trabalho residiu em analisar de forma desmistificada os esforços existentes em fachadas ventiladas e, as interações entre os elementos constituintes do sistema para a transmissão dos esforços ao substrato em que o revestimento é ancorado, a fim de contribuir para a popularização e viabilização técnica do projeto e execução do sistema, tendo em vista que poucos responsáveis técnicos na região dominam o assunto.

A metodologia utilizada envolveu ensaios em laboratório de caracterização do revestimento de granito (ensaios de determinação dos índices físicos, resistência à flexão, resistência ao impacto de corpo duro e resistência ao cisalhamento do revestimento nos furos em que são introduzidos os *inserts* de fixação), ensaios de arrancamento de chumbadores químicos e mecânicos de dois fabricantes em substratos de concreto armado, alvenaria de tijolos maciços, juntas de argamassa de assentamento na parede de tijolos maciços e alvenaria estrutural grauteada; além disso, foram feitas inspeções *in loco* em obras cujo sistema de revestimento não aderido estava em execução, a fim de entender melhor o sistema. Como resultados, em termos de caracterização do revestimento verificou-se que a saturação do revestimento influi em seu peso próprio e na sua resistência a flexão e, a disposição não aderida do revestimento interfere na sua resistência a cargas acidentais. No que tange os testes de arrancamento, verificou-se que o concreto armado suportou maiores cargas, sendo seguido pela alvenaria estrutural grauteada; no substrato de tijolos maciços verificaram-se cargas inferiores às dos outros substratos, sendo que os chumbadores mecânicos tiveram melhor desempenho em furos sobre o tijolo e os químicos responderam melhor na junta de argamassa.

Palavras-chave: Substratos. Chumbadores. Ancoragens pontuais. Fachadas ventiladas. Granito.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- <i>Cavity Wall</i> .....	23
Figura 2 - Evolução das Paredes.....	24
Figura 3 - Paredes dos anos 90 aos dias atuais .....	25
Figura 4 - Fachada cortina .....	27
Figura 5 - Fachada ventilada com placas rejuntadas .....	27
Figura 6 - Fachada completamente ventilada .....	28
Figura 7 - Edifício Brigadeiro, em São Paulo, com fachadas ventiladas NBK.....	29
Figura 8 - Sede do SINAFER-SP após reforma com fachada ventilada da ULMA.....	29
Figura 9 - Shopping JK Iguatemi em São Paulo .....	30
Figura 10 - Prédio do SESC em Goiás com sistema de fachada ventilada .....	30
Figura 11 - Edifício Odebrecht em São Paulo .....	31
Figura 12 - Fachada ventilada na UNISINOS em Porto Alegre .....	31
Figura 13 - Visualização de detalhes do revestimento da UNISINOS.....	32
Figura 14 - Visualização das ancoragens do revestimento da fachada da UNISINOS .....	32
Figura 15 - Vento e rugosidade do terreno .....	35
Figura 16 - Influência da forma da edificação no movimento do ar .....	36
Figura 17 - Propagação das chamas através do efeito chaminé .....	38
Figura 18 - Progressão do fogo na Torre Grenfell.....	38
Figura 19 - Detalhe do revestimento após o incêndio .....	39
Figura 20 - Compartimentação vertical e propagação das chamas .....	40
Figura 21 - Compartimentação vertical de fachada envidraçada .....	42
Figura 22 - Compartimentação em fachada ventilada com o uso de isolante térmico .....	43
Figura 23 - Detalhe da interface entre o gato de fixação, camisa e resina com a alvenaria .....	45
Figura 25 - Diferenciação entre as tipologias geométricas de revestimentos.....	53
Figura 26 - Tipologias das superfícies dos revestimentos.....	54
Figura 27 - Defeito apresentado pelo fechamento das juntas com mastique.....	55
Figura 28 - Estanqueidade de juntas abertas e fechadas.....	56
Figura 29 - Penetração da água por capilaridade.....	56
Figura 30 - Controle da infiltração de água por ação do vento .....	57
Figura 31 - Efeito da diferença de pressão sobre partículas de água na junta entre os elementos de revestimento.....	57
Figura 32 - Parafuso com porca sextavada e arruelas .....	59

Figura 33 - Esquema de ligação por atrito e diagrama de forças nas peças .....	60
Figura 34 - Chumbador de Expansão .....	61
Figura 35 - Fixador com ancoragem química.....	61
Figura 36 - Bucha de expansão (a) e Chumbador mecânico (b) .....	62
Figura 37 - Tipos de ruptura do sistema de ancoragem.....	62
Figura 38 - Placas fixadas em subestrutura metálica ancorada da estrutura da edificação .....	65
Figura 39 - Placas fixadas com ancoragens pontuais diretamente sobre a alvenaria .....	66
Figura 40 - Detalhe da ancoragem utilizando cavilhas.....	66
Figura 41 - Subestrutura de fixação de fachada cortina com perfil z .....	67
Figura 42 - Detalhe do sistema de fixação .....	68
Figura 43 - Ranhura contínua (a), descontínua (b) e furação (c).....	69
Figura 44 - Fixação simples com grampos nos bordos .....	69
Figura 45 - Fixação simples com grampos e sobreposição de juntas .....	70
Figura 46 - Fixação simples com colagem do tardoz .....	70
Figura 47 - Fixação com furações nos bordos .....	71
Figura 48 - Fixação com furações no tardoz .....	71
Figura 49 - Fixação com rebites .....	72
Figura 50 - Fixação com ranhuras descontínuas nos bordos e discos .....	72
Figura 51 - Fixação com ranhuras descontínuas no tardoz .....	73
Figura 52 - Fixação com ranhuras contínuas nos bordos do revestimento.....	73
Figura 53 - Fixação com ranhuras contínuas no tardoz.....	74
Figura 54 - Fixação linear e revestimento com ranhuras contínuas nos bordos.....	74
Figura 55 - Sistema de acoplamento visível a partir de grampos .....	75
Figura 56 - Movimentos estruturais na fachada .....	76
Figura 57 - Isopletas da velocidade básica $V_0$ (m/s).....	81
Figura 58 - Corpos de prova submersos até 1/3 da sua altura .....	91
Figura 59 - Corpos de prova com a submersão completa.....	92
Figura 60 - Processo de pesagem submersa dos corpos de prova através da balança hidrostática .....	92
Figura 61- Pesagem dos corpos de prova saturados .....	93
Figura 62 - Secagem dos corpos de prova em estufa .....	93
Figura 63 - Corpos de prova secos .....	94

Figura 64 –Aparelho para o ensaio de impacto de corpo duro em revestimentos conforme dimensões NBR 15845-8:2015 (a) e configuração dele desenvolvido em consonância com essas diretrizes (b).....	95
Figura 65 - Verificação do nível da placa assentada sobre o colchão de areia para a execução do ensaio de impacto de corpo duro .....	96
Figura 66 - Alçamento da esfera na altura inicial de 20 cm em relação ao revestimento e posterior aumento progressivo da altura de queda de 5 em 5 cm.....	96
Figura 67 - Ensaio de impacto de corpo duro apoiado.....	97
Figura 68 - Disposição recomendada do corpo de prova no dispositivo para a determinação do módulo de ruptura em rochas .....	99
Figura 69 - Linhas auxiliares para o posicionamento dos apoios.....	99
Figura 70 - Corpos de Prova saturados.....	100
Figura 71 - Realização do ensaio de flexão por três pontos e corpos de prova com a marcação do centro, posição dos roletes.....	101
Figura 72 - Amostra do conjunto ancoragem e granito preto São Gabriel ensaiada a flexão	102
Figura 73 - Amostra do conjunto ancoragem e granito branco Itaúnas ensaiada a flexão .....	102
Figura 74 - Amostra do conjunto ancoragem e granito marrom São Gabriel ensaiada a flexão .....	102
Figura 75 - Ancoragem pontual de granitos fixados em fachadas por furação nos bordos....	103
Figura 76 - Parabolt com prisioneiro PBA - Passante da Âncora .....	105
Figura 77 - Chumbador WB Walsywa .....	106
Figura 78 – Chumbadores em processo de fixação em furos nos tijolos e nas juntas de argamassa .....	107
Figura 79 - Chumbadores fixados em viga de concreto armado C30 .....	107
Figura 80 - Chumbadores fixados em blocos canaletas grauteados em empreendimento de alvenaria estrutural .....	108
Figura 81 - Equipamento para a realização do ensaio de arrancamento .....	109
Figura 82 - Fachada da obra visitada com revestimento não aderido em execução.....	113
Figura 83 - Exemplo de projeto da modulação de fachada com ancoragens pontuais.....	113
Figura 84 - Revestimento em processo de fixação .....	114
Figura 85 - Detalhe da ancoragem.....	115
Figura 86 - Furação das peças para o encaixe na fixação.....	116
Figura 87 - Arremate da viga superior (solução do projeto) .....	116



Figura 88 – Ancoragem descontínua no tardo da rocha .....	117
Figura 89 - Solução de projeto para interface esquadria, revestimento e pingadeira .....	118
Figura 90 - Visualização da instalação da pingadeira inferior sobre o substrato .....	118
Figura 91 - Defeito verificado em peça que virá a ser substituída .....	119
Figura 92 - Subestrutura auxiliar para a fixação do ACM .....	120
.....	120
Figura 93- Desprendimento de placa em condomínio residencial de Porto Alegre .....	121
Figura 94 - Dano à estrutura treliçada ocasionado por conta da queda da placa de granito...	122
Figura 95 - Empreendimento comercial com fachada não aderida de ACM em execução em Santa Cruz do Sul .....	122
Figura 96 - Solução adotada de fixação da subestrutura metálica da fachada nas juntas de argamassa de assentamento .....	123
Figura 97 - Padrões representativos de ruptura verificados no ensaio de impacto de corpo duro .....	131
.....	131
Figura 98 - Padrões de ruptura representativos no ensaio de impacto de corpo duro apoiado .....	135
.....	135
Figura 99 - Tipologia das rupturas visualizadas no ensaio de flexão por três pontos .....	139
Figura 100 - Ruptura por tração da seção abaixo do furo .....	141
Figura 101 - Ruptura completa e uma das placas .....	141
Figura 102 - <i>Insert</i> metálico após a aplicação de carga.....	141
Figura 103 - Ruptura na haste roscada (a), no substrato com formação de cone de ruptura (b) e ruptura no <i>parabolt</i> em sua porção anteriormente mais espessa (c).....	149
Figura 104 - Ruptura do substrato em alvenaria estrutural com fissuras radiais (a) e cone de ruptura (b).....	150
Figura 105 - Ruptura do substrato de tijolo maciço, com formação de cone de ruptura.....	151
Figura 106 – Ruptura na junta de argamassa após a realização do teste de arrancamento do chumbador. (%).....	152

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grau de confiabilidade do substrato para ancoragens de revestimentos não aderidos .....	45
Quadro 2 - Formas de fixação para revestimentos cerâmicos .....	50
Quadro 3 - Tipos de juntas entre os elementos de revestimento .....	55
Quadro 4 - Espaçamento mínimo entre chumbadores e distância recomendada das arestas para elementos sujeitos ao esforço cortante .....	63
Quadro 5 - Espaçamento mínimo entre chumbadores e distância recomendada das arestas para elementos sujeitos à tração .....	64
Quadro 6 - Definição de categorias de uso para determinadas ações de impacto .....	77
Quadro 7 - Parâmetros meteorológicos .....	82
Quadro 8 - Fator de rugosidade do terreno S2.....	83
Quadro 9 - Fator estatístico S3 .....	84
Quadro 10 - Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos horizontais e ocorrência de falhas sob a ação de cargas horizontais de serviço .....	85
Quadro 11 - Critérios e cargas de ensaio para peças suspensas fixadas por mão francesa .....	86
Quadro 12 - Recomendações do fabricante para a fixação do QPO 300 .....	105
Quadro 13 - Recomendações do fabricante para a fixação do WQI 44 .....	105
Quadro 14 - Recomendações do fabricante para a fixação do PBA Passante com prisioneiro da Âncora .....	106
Quadro 15 - Recomendações do fabricante para a fixação do Chumbador WB da Walsywa .....	106
Quadro 16- Índices físicos do granito preto São Gabriel .....	124
Quadro 17 - Índices físicos do granito branco Itaúnas .....	125
Quadro 18 - Índices físicos do granito marrom Guaíba .....	126
Quadro 19 - Resultados apresentados pelo granito preto São Gabriel no ensaio de impacto de corpo duro.....	129
Quadro 20 - Resultados apresentados pelo granito branco Itaúnas no ensaio de impacto de corpo duro.....	130
Quadro 21 - Resultados apresentados pelo granito marrom Guaíba o no ensaio de impacto de corpo duro.....	130
Quadro 22 - Resultados apresentados pelo granito preto São Gabriel no ensaio de impacto de corpo duro não aderido .....	133

Quadro 23 - Resultados apresentados pelo granito branco Itaúnas no ensaio de impacto de corpo duro não aderido .....	133
Quadro 24 - Resultados apresentados pelo granito marrom Guaíba no ensaio de impacto de corpo duro não aderido .....	134
Quadro 25 - Forças e tensões de ruptura apresentadas pelas amostras de granito preto São Gabriel sob a flexão de 3 pontos .....	137
Quadro 26 - Forças e tensões de ruptura apresentadas pelas amostras de granito branco Itaúnas sob a flexão de 3 pontos .....	138
Quadro 27 - Forças e tensões de ruptura apresentadas pelas amostras de granito marrom Guaíba sob a flexão de 3 pontos .....	139
Quadro 28 – Cargas, formas e tensões de ruptura do conjunto granito preto São Gabriel e <i>insert</i> metálico .....	142
Quadro 29 - Cargas, formas e tensões de ruptura do conjunto granito branco Itaúnas e <i>insert</i> metálico .....	143
Quadro 30 - Cargas, formas e tensões de ruptura do conjunto granito marrom Guaíba e <i>insert</i> metálico .....	144
Quadro 31 - Tensões normais médias de tração da seção longitudinal dos furos, ocasionadas pela carga de ruptura do conjunto.....	145
Quadro 32 - Cargas máximas de tração aplicadas nos chumbadores químicos e mecânicos da Âncora .....	146
Quadro 33 - Cargas máximas de tração aplicadas nos chumbadores químicos e mecânicos da Walsywa .....	147

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Densidades aparentes médias.....	127
Gráfico 2 – Porosidades aparentes médias .....	127
Gráfico 3 - Índices de absorção de água médios .....	128
Gráfico 4 - Energias de ruptura dos granitos sob impacto de corpo duro .....	132
Gráfico 5 - Energias de ruptura de placas de granito apoiadas em 4 pontos sujeitas ao impacto de corpo duro.....	135
Gráfico 6 - Comparação entre energias de ruptura constatadas no ensaio de impacto de corpo duro padrão em relação ao realizado sob condição de quatro apoios.....	136
Gráfico 7 - Tensões de ruptura das placas de granito sujeitas a flexão por três pontos .....	140
Gráfico 8 - Tensões de flexão normal simples ocasionadas pela carga de ruptura do conjunto .....	145
Gráfico 9 - Cargas de arrancamento médias resistidas pelos chumbadores Químico e Mecânico da Âncora nos diferentes substratos ensaiados.....	147
Gráfico 10 - Cargas de arrancamento médias resistidas pelos chumbadores Químico e Mecânico da Walsywa nos diferentes substratos ensaiados (%).....	148
Gráfico 11 - Formas de ruptura ocorridas no substrato de concreto armado (%) .....	149
Gráfico 12 -Formas de ruptura ocorridas no substrato de alvenaria estrutural (%) .....	150
Gráfico 13 - Formas de ruptura ocorridas no substrato de tijolos maciços (%).....	151
Gráfico 14 - Formas de ruptura no substrato de juntas de argamassa (%).....	152

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1	Área de pesquisa.....	17
1.2	Limitação do tema .....	17
1.3	Objetivos.....	17
1.3.1	Objetivo geral .....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
1.4	Justificativa .....	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.1	Fachadas .....	21
2.2	Origem da técnica construtiva .....	22
2.3	Definições preliminares.....	26
2.3.1	Fachada cortina.....	26
2.3.2	Fachada ventilada com placas rejuntadas.....	27
2.3.3	Fachada ventilada com placas isoladas .....	28
2.4	Fachadas ventiladas no Brasil.....	28
2.5	Ventilação natural.....	32
2.5.1	Efeito chaminé.....	36
2.6	Comportamento em situações de incêndio .....	37
2.7	Substrato .....	44
2.8	Isolante Térmico .....	46
2.8.1	Isolantes de origem natural.....	46
2.8.2	Isolantes termorrígidos .....	47
2.8.3	Isolantes termoplásticos.....	47
2.9	Cavidade Ventilada.....	47
2.10	Materiais utilizados como revestimento .....	48

2.10.1	Rocha natural.....	48
2.10.2	Concreto .....	48
2.10.3	Naturocimento .....	49
2.10.4	Cerâmico.....	50
2.10.5	Fenólico .....	51
2.10.6	Vidro.....	51
2.10.7	Porcelanato .....	51
2.11	Geometria dos Revestimentos .....	52
2.11.1	Dimensões das peças e formatos .....	52
2.11.2	Juntas entre elementos de revestimento.....	54
2.12	Diferenciação dos tipos de subestruturas de fixação .....	58
2.12.1	Tipos de parafusos e ancoragens .....	58
2.12.2	Falhas na ancoragem .....	62
2.12.3	Sistemas de fixação de fachadas ventiladas .....	64
2.13	Esforços atuantes .....	74
2.13.1	Peso Próprio.....	75
2.13.2	Movimentações Estruturais .....	76
2.13.3	Cargas acidentais .....	77
2.13.4	Vento .....	77
2.14	Norma de desempenho NBR 15.575-4:2013.....	84
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>88</b>
3.1	Caracterização da pesquisa .....	88
3.2	Delineamento da pesquisa .....	88
3.3	Delimitações .....	89
3.4	Técnicas e instrumentos de coleta de dados .....	90
3.4.1	Caracterização do revestimento.....	90

3.4.2	Comparação da resistência ao arrancamento de chumbadores oferecida por diferentes substratos	103
3.5	Técnicas e instrumentos de análise de dados.....	109
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>112</b>
4.1	Inspeções in loco .....	112
4.1.2	Obra de edifício comercial em Porto Alegre .....	112
4.1.3	Desprendimento de placa de granito verificado em empreendimento existente ...	121
4.1.3	Obra comercial com fachada não aderida de ACM.....	122
4.3	Ensaios.....	123
4.3.1	Obtenção dos índices físicos .....	123
4.3.2	Ensaio de impacto de corpo duro .....	128
4.3.4	Ensaio flexão por três pontos.....	136
4.3.5	Testes de arrancamento .....	146
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>154</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>158</b>
	<b>APÊNDICES .....</b>	<b>163</b>
	APÊNDICE A – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Mecânicos da Âncora e respectivas tensões de tração calculadas .....	163
	APÊNDICE B – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Químicos da Âncora e respectivas tensões de tração calculadas .....	165
	APÊNDICE C – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Mecânicos da Walsywa e respectivas tensões de tração calculadas.....	167
	APÊNDICE D – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Químicos da Walsywa e respectivas tensões de tração calculadas.....	169

## 1 INTRODUÇÃO

As edificações, para que funcionem como abrigo a determinado uso ou finalidade, devem possuir vedações que as isolem do ambiente externo, essas vedações são denominadas de fachadas. De acordo com Riesco (2002), as fachadas, desenvolvidas a partir de materiais pré-definidos, envelopam a edificação com o intuito de dar uma personalidade arquitetônica ao empreendimento, mas acima de tudo devem atender a requisitos de desempenho para garantir a habitabilidade e eficiência da edificação. Exemplos desses requisitos são a durabilidade, estabilidade, proteção contra o vento, o respeito às juntas estruturais, o isolamento térmico e acústico, além de proporcionar proteção contra a umidade originada da chuva, neve e condensação.

Durante muito tempo acreditou-se que as fachadas eram responsáveis apenas pela aparência estética da edificação, no entanto, atualmente, à luz da NBR 15.575, o entendimento é mais aprofundado. Vislumbra-se que é possível mensurar se uma edificação atende a parâmetros mínimos de desempenho, pois assim como na indústria automobilística é factível verificar indicadores como o consumo de gasolina e a potência do motor, se consegue medir se a edificação isola acústica e termicamente de forma adequada, e, aos poucos, ocorre uma aproximação da indústria da construção civil à precisão das demais indústrias. Portanto, agora, mais do que nunca, é imprescindível atender aos padrões de desempenho das edificações, pois existem parâmetros concretos estabelecidos através de norma técnica para constatar se ela atende aos critérios necessários para a sua habitabilidade.

Tendo isso em vista, observa-se que é muito importante que existam estudos que abordem técnicas construtivas que objetivem garantir o adequado desempenho do imóvel, o que, no entendimento de Gerola (2013), vem a ser uma das propostas das fachadas ventiladas. O autor expõe que este sistema busca, em sua concepção, aliar os quesitos de desempenho da edificação aos arquitetônicos, garantindo a boa funcionalidade e estética da edificação concomitantemente, “Muito além da estética, que apresenta um visual limpo e continuidade de linhas harmônicas, os sistemas de fachada ventilada vêm tomando força no Brasil por seu desempenho térmico e eficiência na preservação de estruturas.”.

Em síntese, as fachadas de uma edificação exigem especial atenção em termos de projeto e execução, pois conforme elucidado anteriormente elas funcionam como uma capa protetora do empreendimento contra diversos agentes agressivos. O sistema de fachadas ventiladas é uma potencial alternativa para melhorar o desempenho de uma edificação, e já é inclusive utilizado



em algumas regiões brasileiras, no entanto ainda é um tópico pouco estudado em ambiente nacional. De acordo com Moura (2009), nos dias de hoje ainda não existe uma norma técnica no país que dê respaldo e sirva de referência para os profissionais da área dimensionarem o sistema e planejarem a sua execução.

## **1.1 Área de pesquisa**

As análises contidas neste trabalho acadêmico serão voltadas à área de revestimentos não aderidos, com foco no dimensionamento das fixações e subestrutura de fachadas ventiladas.

## **1.2 Limitação do tema**

O estudo se centralizará na comparação do desempenho de diferentes sistemas construtivos empregados no substrato (superfície externa da edificação) quanto à resistência ao arrancamento das fixações e subestrutura de fachadas ventiladas.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem por objetivo analisar o comportamento de fixações metálicas de fachadas ventiladas, verificando os diferentes esforços gerados no substrato a que as fachadas com revestimento não aderidos estão sujeitas.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Estudar os sistemas de fachadas ventiladas, a fim de detalhar as suas principais tipologias, quais modelos são mais adequados para cada sistema construtivo e de que forma se dá o projeto e execução do sistema;
- Verificar, em laboratório, a resistência ao arrancamento das fixações da fachada ventilada em diferentes substratos;
- Estudar os diferentes esforços a que são expostas as fachadas ventiladas, demonstrando de que forma cada um deve ser considerado no seu respectivo dimensionamento;

- Analisar as principais condicionantes locais em termos de dimensionamento de fachadas ventiladas;
- Realizar inspeções em obras que utilizem o sistema de fachadas ventiladas, para verificar as interfaces entre a fachada e as esquadrias, e quais são os principais pontos que devem ser previamente planejados.

#### **1.4 Justificativa**

O estudo se justifica porque as fachadas ventiladas, além de proporcionarem agradável efeito estético às edificações, vêm ao encontro do que propõe a norma brasileira de desempenho em termos de eficiência térmica, acústica e energética. De acordo com Sousa et al. (2016), essa tecnologia tem ganhado força porque através da ventilação proporciona a redução da umidade existente nas faces da “caixa de ar” entre o revestimento e o substrato, além de trazer vantagens no comportamento térmico e de estanqueidade das edificações.

As fachadas são a envoltória protetora da edificação, e trabalham na linha de frente para proteger a construção das intempéries e demais agentes agressivos, razão pela qual estão se tornando cada vez mais complexas, exigindo detalhadas especificações de projeto e execução e, para tanto, é necessário se dispor de amplo conhecimento sobre o sistema de fachadas a ser implantado. Atualmente há carência de estudos sobre fachadas ventiladas, pois embora existam muitas notícias genéricas sobre as suas vantagens, pouco se encontra de materiais científicos que tratem com profundidade tópicos com relação ao seu comportamento mecânico, potencialidades, desvantagens, dimensionamento, projeto e execução. Além disso, no presente momento não existe uma norma técnica brasileira que dê suporte aos engenheiros e arquitetos para especificar o sistema de fachadas ventiladas, desta forma é compreensível a razão pela qual poucos profissionais tenham o domínio sobre o referido recurso na região.

Para se atingir o almejado desempenho do sistema, é necessário que ele ofereça segurança quanto a sua estabilidade. Portanto é imprescindível conhecer e considerar os esforços atuantes sobre ele, especialmente aqueles provenientes do vento. A ação do vento pode ser fatal caso a estrutura não tenha sido dimensionada para suportar, pois apesar de ventos mais intensos terem caráter eventual, são altamente destrutivos. De acordo com Blessmann (2001), as principais causas de acidentes provocados pelo vento se dão na falta de ancoragem (caso recorrente em arrancamento de telhas), contraventamento insuficiente de paredes e

telhados, e ainda casos de dimensionamento insuficiente das estruturas, como em um exemplo citado pelo autor de um pavilhão em estrutura metálica que sofreu flambagem na cidade de Gravataí no Rio Grande do Sul. Segundo o autor, do ponto de vista aerodinâmico, os principais fatores que provocam acidentes são os coeficientes aerodinâmicos, pressão interna, velocidade do vento e objetos lançados pelo vento.

O Brasil, por ser um país tropical, pode tirar significativo proveito dos benefícios oferecidos pelas fachadas ventiladas, ao passo que recebe grande quantidade insolação ao longo do ano, aquecendo o ar e favorecendo a ocorrência do efeito chaminé e, também, em virtude das elevadas temperaturas a que o país é exposto, se justifica a necessidade de tecnologias que deem maior conforto térmico às edificações e ao mesmo tempo proporcionem melhor desempenho energético a partir da redução da necessidade de uso de ares-condicionados. No entanto, em razão das suas condições climáticas peculiares, as normas existentes em países nórdicos ou europeus não podem ser aplicadas integralmente para a realidade nacional; inclusive, por conta de o Brasil ser muito extenso territorialmente, dentro do próprio país podem ser feitas subdivisões climatológicas. Devido ao que foi exposto, se observa a importância de se prever ancoragens da fachada suficientes para suportar os esforços horizontais e verticais de sucção, pressão e sobrepressão provenientes do vento. Os acidentes de vento são evitáveis, porém é necessário se utilizar de uma base de dados fidedigna a realidade no momento de concepção e dimensionamento do sistema.

Nesse sentido, é de vital importância que sejam desenvolvidas pesquisas aprofundadas sobre a temática, a fim de difundir o conhecimento sobre fachadas ventiladas, e ao mesmo tempo amparar os responsáveis técnicos, que ainda se encontram muito dependentes da confiabilidade do serviço oferecido pelos fabricantes, sem ter uma metodologia clara para a devida verificação e aceitação do produto. É importante pontuar que embora esse sistema ainda seja pouco utilizado no Brasil, trata-se de uma técnica altamente promissora e inovadora.

O sistema construtivo se mostra como uma alternativa funcional para melhorar o desempenho de edificações em termos de isolamento térmico, redução do uso de ar-condicionado e de proteger as vedações das intempéries, além de proporcionar uma fachada sem patologias como descolamentos, trincas e eflorescências. A solução é utilizada em países do hemisfério norte há mais de trinta anos, e aos poucos está se disseminando no mercado brasileiro, sendo mais recorrente em edifícios de alto padrão (ROCHA, 2011). A problemática é extremamente relevante, ao passo que visa expandir o conhecimento sobre o sistema construtivo através da verificação, com dados teóricos e empíricos, sobre como se proceder no

dimensionamento das subestruturas de fixação de fachadas ventiladas, para colaborar na viabilização técnica do uso do sistema.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A presente seção contém uma revisão sobre a teoria existente com relação a fachadas ventiladas, comentando elementos que interferem no seu funcionamento, reação a incêndio, assim como cada uma das partes constituintes do sistema, desde o substrato, subestrutura de fixação, isolamento térmico, cavidade ventilada até o revestimento.

### 2.1 Fachadas

Todas as edificações, desde a mais rudimentar criada pelo ser humano nos primórdios da história, dispuseram de algum tipo de fachada para compor a sua envoltória. Nem sempre a fachada teve o mesmo propósito, no início a sua finalidade concentrava-se em oferecer proteção aos seus habitantes. De acordo com Sousa et al. (2016), em virtude da necessidade da proteção contra agentes externos como o clima e animais, após a utilização de cavernas e de outras proteções naturais, as primeiras habitações que o homem construiu eram abrigos constituídos de materiais provenientes do meio que o envolvia. Logo nas primeiras construções cada material utilizado possuía uma determinada função, respondendo a uma solicitação específica. Em alguns casos de abrigos ou tendas, os ossos de animais de grande porte e os galhos de árvores eram utilizados como a estrutura portante, enquanto as peles de animais e folhas serviam como uma delimitação primitiva para cobrir a estrutura isolando o interior do exterior, isto é, funcionando como fachadas.

Aos poucos as fachadas foram se tornando mais complexas à medida que as tecnologias construtivas foram evoluindo e passaram a representar o status e dignidade dos habitantes através da imagem da edificação. Atualmente, a complexidade da fachada deriva tanto da preocupação com a aparência exterior, quanto do progressivo aumento das exigências de desempenho, aliando a inovação tecnológica em materiais de construção às normas e instruções técnicas, para buscar garantir o correto desempenho do conjunto resultante. A fachada tecnológica constitui o intento de conferir “vida” à fachada dos edifícios, não apenas criando jogos cheios, vazios e texturas, mas incorporando tecnologia na própria pele exterior da edificação. A tecnologia permite alterar a percepção exterior do edifício, mas também trabalhar com a entrada de luz natural, ventilação, e potencializar os ganhos energéticos a partir do adequado planejamento, de vital importância, dessa superfície de fronteira com o exterior. (SOUSA et al., 2016).

A elaboração de projetos específicos para o revestimento externo ganha uma dimensão de importância muito grande, pois é necessário se considerar a sua relação com os outros subsistemas, incorporando informações contidas nos projetos de alvenarias, estruturas, impermeabilizações, esquadrias e demais variáveis particulares de cada empreendimento. Nesse sentido, é imprescindível que haja diretrizes claras tanto do produto final do revestimento de fachada, como do seu processo de execução, para a prevenção de problemas que surgem por inadequadas especificações (GRIPP, 2008).

Ao mesmo tempo que atualmente as fachadas representam um custo expressivo de execução e manutenção em relação a outros subsistemas, podendo representar até 20% do custo total da obra, elas agregam valor ao empreendimento em função de aspectos estéticos e culturais (OLIVEIRA, 2009). A autora ainda pontua que as fachadas, em conjunto com as esquadrias, são mediadoras entre o ambiente interno e externo, tendo importante responsabilidade na criação de condições de habitabilidade na edificação, além de que, quando projetadas para esse fim, podem minimizar os impactos ambientais de uso do empreendimento.

## **2.2 Origem da técnica construtiva**

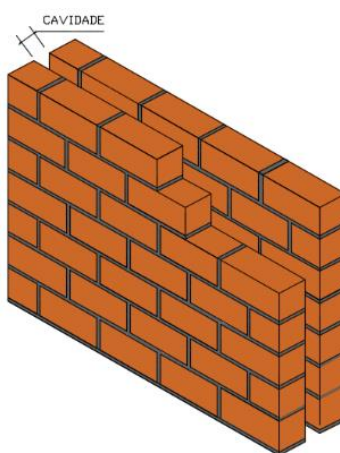
Para se alcançar modelos funcionais de fachadas com revestimentos não aderidos, ocorreram muitas inovações em termos de sistemas de isolamento e revestimento de fachadas, assim como na construção civil de modo geral. Tendo isso em vista, será apresentado um breve compilado referente a trajetória percorrida até a presente concepção de fachadas ventiladas.

Garantir o eficiente desempenho das edificações quanto ao conforto térmico e acústico é um desafio que acompanha a construção civil desde os seus primórdios. Um dos primeiros sistemas a serem concebidos no âmbito de isolamento térmico através de fachadas não aderidas é o denominado *Cavity Wall*, que foi o precursor das fachadas ventiladas, pois representa a evolução de uma fachada simplesmente sólida para uma composta por uma parede de duas folhas com uma câmara de ar entre elas, sendo que a parede interna é portante, dessa forma a parede exterior é presa a interior através de pontes de aço, possuindo uma limitação de 3 andares por conta disso. Este sistema surgiu na Inglaterra a partir de 1925, e a partir de 1970 a colocação de isolamento entre as paredes foi incluída (POYATOS, 2012).

A separação física das duas folhas que compõem as paredes foi um passo importante para a evolução dos sistemas construtivos. As dificuldades oferecidas pelas *Cavity Walls* referem-se às limitações impostas pelo sistema construtivo, porque a folha exterior somente seria totalmente independente da interior até que atingisse a altura máxima de sua capacidade

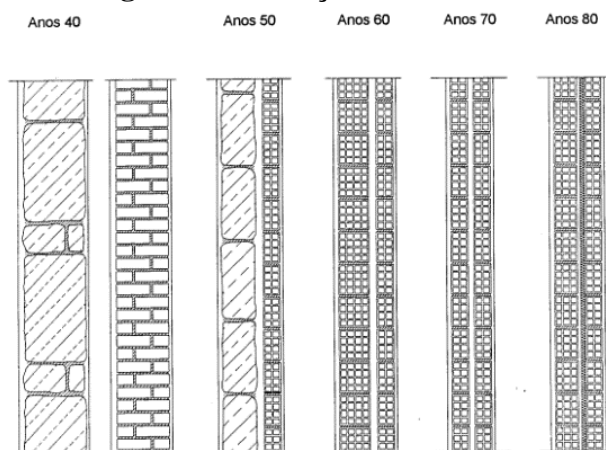
autoportante, a partir desse ponto se tornaria necessário fazer o uso de ancoragens na parede interna utilizando materiais como ferro galvanizado, gerando-se pontes térmicas. Por conta de a parede externa receber diretamente as radiações solares, surgiu um novo problema, que vinha a ser o movimento dos materiais. A parede externa dilata mais do que a interior, exigindo maiores vínculos com a parede interna, para reduzir os efeitos da dilatação diferencial (EIRAS, 1995). Na Figura 1 visualiza-se um exemplo de parede dupla com cavidade, sem o uso de ancoragens metálicas entre as alvenarias.

**Figura 1- Cavity Wall**



Fonte: Autora, 2019.

No contexto de Portugal, verifica-se que nos anos 40 predominava a construção de alvenaria de pedras, e posteriormente, com a evolução dos materiais, passou-se a utilizar predominantemente as paredes de alvenaria com blocos cerâmicos. As paredes duplas de alvenaria foram impulsionadas nos anos 60, com a ascensão das construções em concreto armado. Nos anos 60, na típica solução de parede dupla empregada, a parede exterior era mais espessa do que a parede interior, sendo que os panos de parede não possuíam ligações e a cavidade entre as paredes não apresentava nenhum material de enchimento. Ao longo do século XX as alvenarias empregadas eram predominantemente com furação horizontal. Observa-se que nos anos 70 ocorreu uma redução da espessura da parede exterior, que aumentou novamente nos anos 80, para atender a requisitos de desempenho térmico. Após esse processo, passou-se a utilizar um material isolante térmico, preenchendo a cavidade existente entre as duas alvenarias, com o intuito de melhorar ainda mais o conforto térmico da edificação (Sousa et al., 2016). Na Figura 2 é possível visualizar graficamente a evolução das paredes em Portugal, conforme descrito no presente parágrafo.

**Figura 2 - Evolução das Paredes**

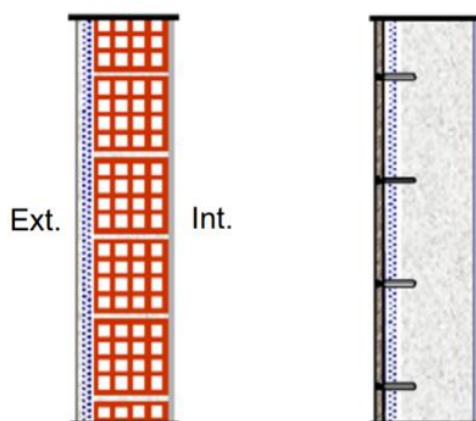
Fonte: Sousa, 1996.

Tendo em vista o que foi exposto, para tornar as paredes duplas mais eficientes quanto ao isolamento, a partir do conceito das *Cavity Walls* primitivas passou-se a empregar um isolante térmico entre as duas paredes. De acordo com Moura (2009), em virtude de o inverno ser rigoroso no hemisfério norte, onde essas fachadas foram desenvolvidas, se almejava a preservação do calor nos ambientes internos, por esta razão se passou a preencher a cavidade com uma camada de material isolante, geralmente lã de vidro ou lã de rocha.

Após a incorporação de isolamento térmico nas paredes duplas com cavidade nos anos 80, que preenchiam parcial ou integralmente o vão entre as paredes, verificou-se que não estava havendo o necessário cuidado de se tratar as pontes térmicas. Portanto, no intuito de melhorar o desempenho do isolamento, na Europa passou-se a reforçar o isolamento térmico no interior da edificação e, a reforçar o isolamento pelo exterior, utilizando painéis ou blocos de menor condutibilidade térmica pois observou-se que apenas aumentando a espessura do isolante, a partir de determinada medida não se obtinha significativo incremento do desempenho térmico do conjunto. Nesse sentido, a utilização de elementos de menor condutibilidade térmica e reforço do isolamento pela face externa passou a se mostrar mais vantajosa, conforme os modelos apresentados na Figura 3 (SOUSA, 2010).



**Figura 3 - Paredes dos anos 90 aos dias atuais**



Fonte: Sousa, 2010.

Conforme apresentado por Crespo (199?), a primeira ocorrência de peles duplas de vidro se deu no ano de 1903, em uma fábrica de brinquedos projetada por Richard Steiff, a *Steiff Factory*, situada na cidade de Giengen, na Alemanha. A prioridade do empreendimento era a maximização da iluminação natural, pois na região predomina o clima frio com ventos fortes. Trata-se de um prédio com três pavimentos, constituído por uma estrutura de estrutura de aço que suporta duas camadas de vidro, constituindo a pele dupla, com um vazio 25cm de largura. O prédio foi um sucesso, posteriormente duas ampliações foram construídas em 1904 e 1908 com o mesmo sistema de pele dupla, mas usando madeira em vez de aço na estrutura por razões orçamentais.

Nos dias de hoje, as fachadas representam mais do que a aparência estética, uma forma de arte ou comunicação, almeja-se sobretudo, dentro das incumbências técnicas das fachadas, proporcionar conforto ao usuário. Mahfuz (2009) coloca que, os arquitetos, buscando suprir necessidades de habitabilidade e sustentabilidade, passaram a elaborar fachadas mais complexas, combinando-se várias camadas de diversos materiais.

Desenvolveram-se, portanto, os sistemas de fachadas ventiladas. Eles foram concebidos com a finalidade de resolver patologias por umidade nas fachadas, problemas de dilatação diferencial das camadas e ao mesmo tempo proporcionar conforto térmico no interior das edificações. Essa categoria de fachadas é utilizada em países europeus há mais de 30 anos, e no Brasil está aparecendo principalmente em projetos de edifícios comerciais e hospitais, incluindo casos de retrofit dessas tipologias (GEROLA, 2013).

## 2.3 Definições preliminares

Para a devida compreensão do presente trabalho, inicialmente será apresentada a diferenciação entre três tipologias de fachadas com revestimentos não aderidos, que vêm a ser a fachada cortina, a fachada ventilada com placas rejuntadas e, a fachada ventilada com placas isoladas. De acordo com Moura (2009), a fachada ventilada jamais deve ser confundida com a fachada cortina; ambas são distintas das fachadas convencionais, porém o único ponto que têm em comum é o fato de criarem um invólucro independente e separado por uma determinada distância do edifício. Princípios básicos referentes ao comportamento físico de fachadas não aderidas distinguem os dois modelos.

É importante constar que o sistema de fachada ventilada é um tipo de fachada cortina, em virtude de ser um revestimento não aderido, fixado através de *inserts* metálicos. No entanto, permite a existência de uma câmara de ar entre o revestimento e o substrato com constante ventilação em seu interior, diferentemente da fachada cortina propriamente dita. Portanto, toda fachada ventilada é uma fachada cortina, mas o contrário não é verdadeiro (MACIEL, 2013).

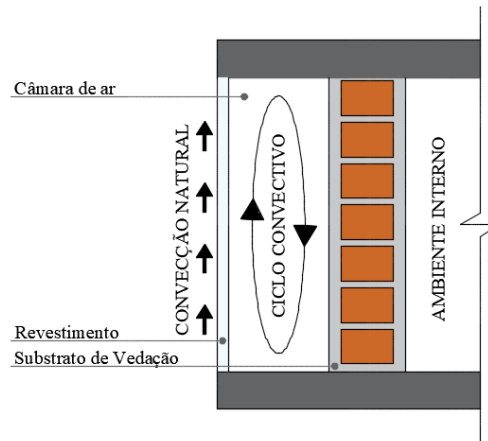
### 2.3.1 Fachada cortina

Siqueira Junior (2003) defende que as definições de fachada cortina se restringem ao posicionamento e vinculação em relação a estrutura da vedação, não especificando que tipo de revestimento ou vedação deve receber. Nesse contexto, o autor define as fachadas cortina como um sistema formado por uma subestrutura auxiliar utilizada para fixar placas ou painéis à base, que vem a ser a superfície externa do edifício, constituindo, portanto, o revestimento externo da vedação.

As fachadas-cortina têm por característica o revestimento ser instalado sobre montantes metálicos com afastamento em relação ao substrato, porém sem aberturas entre as peças ou entre o revestimento e a câmara de ar interna, dessa forma não permitindo a ventilação do interior da cavidade da fachada. Oliveira (2009, p. 21), define fachada-cortina como, “fachada leve, constituída de uma ou mais camadas, posicionada totalmente externa à estrutura do edifício, formando uma pele sobre o mesmo”. Como não existem aberturas entre as peças nesta modalidade, a fachada cortina tem como funções a interrupção da infiltração por capilaridade e a drenagem das águas pluviais por gravidade (SOUSA, 2010). De acordo com Direito (2011), essa modalidade de fachada possui uma caixa de ar estanque e não ventilada, dessa forma o revestimento funciona como uma barreira ao ar, sem aberturas entre a caixa de

ar e o exterior. O funcionamento, no que diz respeito a convecção do ar, de uma fachada cortina não ventilada é ilustrado na Figura 4.

**Figura 4 - Fachada cortina**

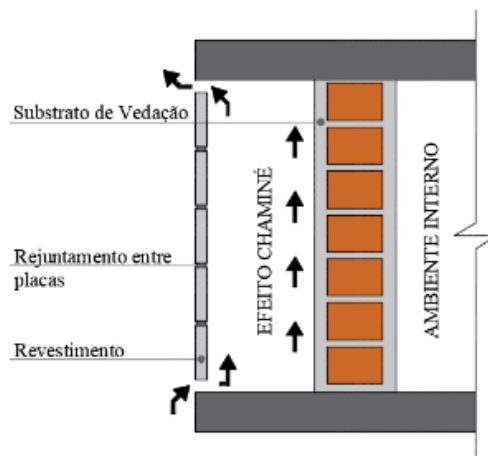


Fonte: Autora, 2019.

### 2.3.2 Fachada ventilada com placas rejuntadas

De acordo com Kiss (1999), o sistema de fachadas ventiladas tem por característica “a existência de um espaço intersticial entre a camada de revestimento e a parede que permanentemente ventilada no sentido vertical pelo chamado efeito chaminé (convecção)”. Diferentemente das fachadas cortina, a fachada ventilada com placas rejuntadas apresenta aberturas frontais nas extremidades superior e inferior, dessa forma ocorre a circulação de ar na cavidade entre o substrato e o revestimento. A seguir, na Figura 5, representa-se como se dá o fluxo do ar em uma fachada ventilada com placas rejuntadas.

**Figura 5 - Fachada ventilada com placas rejuntadas**



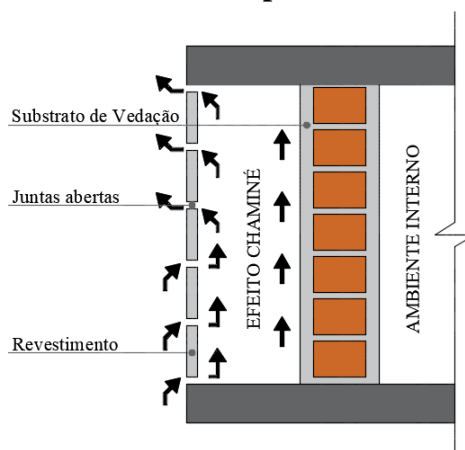
Fonte: Autora, 2019.

### 2.3.3 Fachada ventilada com placas isoladas

Sahade (2017, p.3) define o sistema como “Sistema construtivo que utiliza diferentes capas (camadas de revestimento), que criam uma ventilação interposta em seu interior. Caracterizada como revestimento não aderido, é composto por painéis independentes à parede suporte, fixados em uma subestrutura de alumínio, criando uma câmara ventilada interior.”. A diferença desta para o anterior é a ausência de rejuntamento entre as peças, dessa forma o ar consegue circular livremente, constituindo uma fachada totalmente ventilada. Segundo Direito (2011), as fachadas ventiladas de juntas abertas devem ser evitadas em situações climáticas extremas, uma vez que não oferecem elevada proteção contra a ação da chuva.

De acordo com Sousa et al. (2016), a fachada ventilada é um sistema de revestimento não aderido que integra o revestimento e o sistema de fixação, permitindo a criação de uma caixa de ar entre o substrato e o revestimento. O autor pontua que pode haver a complementação da superfície de suporte do sistema a partir da colocação de isolamento térmico, sendo que o revestimento se constitui por elementos descontínuos suportados a partir de colagem ou por fixação mecânica e, com juntas geralmente abertas, com funcionamento em termos de ventilação conforme representado na Figura 6.

**Figura 6 - Fachada completamente ventilada**



Fonte: Autora, 2019.

## 2.4 Fachadas ventiladas no Brasil

Embora ainda não haja larga escala de ocorrências de empreendimentos brasileiros que utilizem o sistema de fachadas ventiladas, este está paulatinamente sendo inserido no contexto nacional. Esta seção dedicar-se-á a mostrar alguns empreendimentos executados no país que

fizeram o uso deste tipo de revestimento, a fim de reafirmar a importância de pesquisas e normatização nacional para o seu projeto e execução. Um exemplo interessante vem a ser o Edifício Brigadeiro, em São Paulo, que foi construído com o sistema de fachadas ventiladas da NBK, apresentado na Figura 7.

**Figura 7 - Edifício Brigadeiro, em São Paulo, com fachadas ventiladas NBK**



Fonte: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/tecnologia---especial-fachadas-fachadas-ventiladas>>

A Figura 8 apresenta o resultado após a reforma da sede do Sindicato da Indústria de Artefatos de Ferro, Metais e Ferramentas em Geral do Estado de São Paulo, situada no bairro Higienópolis, próximo à Avenida Paulista. Este empreendimento ilustra uma ocorrência de retrofit, em que foi feita a instalação da fachada em um prédio antigo. Conforme apresentado pela empresa na descrição do empreendimento, o grande desafio foi a utilização de peças de dimensões 1,90mx0,90m, alinhando níveis e prumos de paredes existentes.

**Figura 8 - Sede do SINAFER-SP após reforma com fachada ventilada da ULMA**



Fonte: <<http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/projetos/a-nova-sede-do-sinafer-sp-reformada-com-a-fachada-ventilada-da-ulma/>>

O *shopping* JK Iguatemi (Figura 9), localiza-se na cidade de São Paulo, também utilizou o sistema de fachada ventilada em seu revestimento externo. O projeto da fachada foi feito pela empresa Eliane Tec e conforme consta no portal da empresa, o sistema aplicado no *shopping* envelopou uma área de 8.000 m<sup>2</sup>. De acordo com Santos (2015), as construções em São Paulo do Shopping JK Iguatemi (Figura 9) e Edifício Odebrecht (Figura 11), da mesma forma que o prédio do SESC em Goiás (Figura 10), passaram a ser exemplos da aplicação e adequação de procedimentos da norma de desempenho à realidade das fachadas ventiladas.

**Figura 9 - Shopping JK Iguatemi em São Paulo**



Fonte: <<https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/tecnologia---especial-fachadas-fachadas-ventiladas>>

**Figura 10 - Prédio do SESC em Goiás com sistema de fachada ventilada**



Fonte: Portobello S. A., 2016.

**Figura 11 - Edifício Odebrecht em São Paulo**



Fonte: <<https://elianetec.com/projetos/fachadas-ventiladas>>

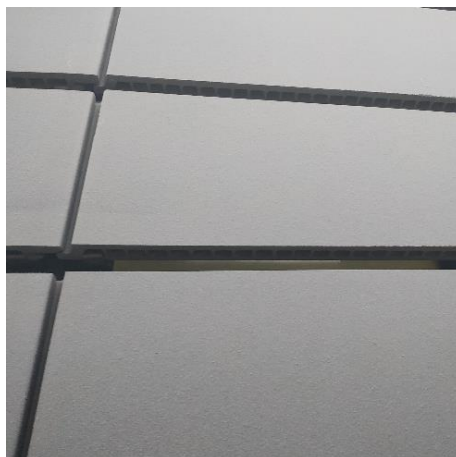
O edifício da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Figura 12), localizado na cidade de Porto Alegre, fez uso do sistema de fachadas ventiladas. Conforme consta no relatório técnico da obra executada pela Empresa Engenhosul (2017), apresentado ao Sinduscon Premium 2016/2017, nas fachadas leste e oeste utilizou-se um sistema espanhol de fachadas ventiladas, com revestimento cerâmico fixado a uma estrutura de alumínio e com isolamento térmico de lã de rocha que apresenta resistência à água. É possível observar detalhes do revestimento do empreendimento na Figura 13 e na Figura 14.

**Figura 12 - Fachada ventilada na UNISINOS em Porto Alegre**



Fonte: <<http://www.radiopampa.com.br/ufrgs-pucrs-e-unisinos-realizam-evento-para-discutir-o-futuro-de-porto-alegre/>>

**Figura 13 - Visualização de detalhes do revestimento da UNISINOS**



Fonte: autora, 2019.

**Figura 14 - Visualização das ancoragens do revestimento da fachada da UNISINOS**



Fonte: autora, 2019.

## **2.5 Ventilação natural**

As fachadas ventiladas representam um caso prático de aplicação das leis básicas da termodinâmica. Para compreender o seu mecanismo de funcionamento é importante conhecer de que forma o calor é transmitido. De acordo com Costa (2005), a transmissão de calor pode ser efetuada através da convecção, condução e radiação, e para isso ocorrer devem existir diferenças de temperaturas entre dois corpos, considerando que o fluxo de calor sempre se dá no sentido das temperaturas mais elevadas para as mais baixas, isto é, um corpo perde calor para outro.

Em resumo, o autor explica que a condução ocorre quando o calor é transmitido por contato direto; a mecânica do calor considera que quanto maior a temperatura maior o nível de agitação das partículas, dessa forma elas se encontram em estado vibratório, e quando entram



em contato direto, por conta dessa vibração, as moléculas se chocam e dessa forma as de maior temperatura cedem calor para as de menor temperatura. Já a convecção é definida como a passagem de calor de um corpo para o outro através de um fluido, a partir do movimento relativo de suas partículas, que é provocado pela diferença de temperatura que por consequência gera uma diferença de densidade dentro da massa fluida. A radiação, por sua vez, vem a ser a absorção de calor a partir da emissão de energia calorífica semelhante à luz; todos os corpos emitem radiações, dependendo em quantidade da sua natureza e temperatura (COSTA, 2005).

Existem materiais condutores e isolantes, que podem ser convenientemente incorporados nas fachadas para condicionar determinado comportamento térmico. No caso de paredes com camadas justapostas de materiais diferentes obedece-se a lei de Fourier, na qual a transmissão de calor se dá por condução, de forma unidirecional e permanente e, segundo essa lei o fluxo térmico é diretamente proporcional à área da superfície através da qual ocorre a passagem de calor e ao gradiente de temperatura (diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno), sendo inversamente proporcional a espessura da camada, além de ser diretamente proporcional ao coeficiente de condutibilidade interna que é característico dos materiais (COSTA, 2005).

Na realidade, a condução de calor ocorre de forma semelhante à condução de energia elétrica. Os materiais da parede funcionam como os resistores ao fluxo de calor e a diferença de temperatura é o que impulsiona a condução, semelhante ao funcionamento da diferença de potencial e às resistências no caso de circuitos elétricos. O autor ainda expõe que materiais isolantes possuem baixa densidade, portanto apresentam baixo coeficiente de condutibilidade. Dessa forma, materiais pouco densos são bons isolantes devido a quantidade de espaços vazios ocupados por ar no seu interior, sendo que o ar é um mau condutor (COSTA, 2005).

O ar carrega, dissipado em sua massa, uma determinada carga de vapor, de acordo com a umidade relativa do ar em dado momento. Esse vapor pode entrar em condensação ao entrar em contato com uma superfície fria, porém existe um caso especial que é o da condensação dentro das paredes. Por mais impermeável que seja o material de construção, existe uma tendência de passagem de vapor d'água, quando estão sujeitos a uma diferença de pressão. Caso seja constatado que a permeabilidade dos materiais adotados permite a condensação de vapor em seu interior, convém utilizar uma barreira de vapor, constituída por um material altamente impermeável (COSTA, 2005).

É importante constatar de que forma a condutibilidade térmica ocorre em fachadas ventiladas. Como foi observado, existe um espaço intersticial entre o revestimento e o substrato,

que permite a passagem do ar a partir do efeito chaminé, que será devidamente explicado na sequência do trabalho. O fato é que dessa forma se reduz o contato entre o revestimento e o substrato, evitando a condução de calor por contato, e por conta de existirem aberturas para o ar escapar não se forma um movimento convectivo confinado da massa de ar, então o ar simplesmente passa pela câmara ventilada, resfriando o substrato e subestrutura, mantendo o conjunto seco.

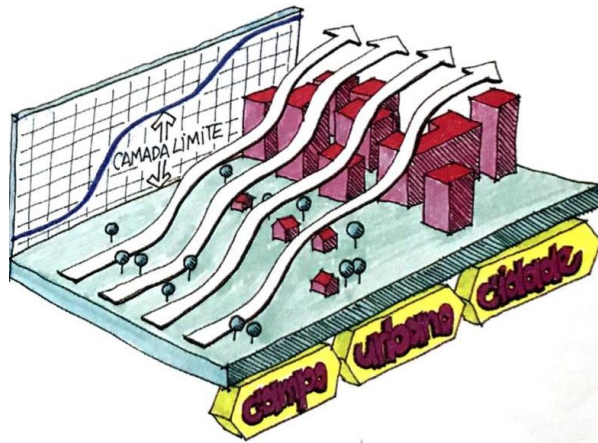
Costa (2005) expõe que se houver intuito de melhorar o conforto térmico da edificação no período de verão, é interessante que se utilize um maior índice de renovação de ar dentro dos ambientes. Observa-se que o código de obras de Santa Cruz do Sul, instituído a partir da lei complementar 66 não dispõe sobre o índice de renovação de ar a ser utilizado no dimensionamento das aberturas, no entanto, em seu capítulo XIV, dos vãos de iluminação e ventilação, dentre outros requisitos estabelece que a área total das aberturas de iluminação e ventilação em cada compartimento não pode ser inferior a  $1/6$  da área do piso, no caso de compartimentos de permanência prolongada e  $1/10$  da área do piso no caso de ambientes de permanência transitória.

Em síntese, existem diferentes tipos de ventilação, que Costa (2005) subdivide em natural ou espontânea, e artificial e forçada. A artificial pode ser exaustora ou diluidora, a ventilação exaustora utiliza um captor, que podem ser coifas, capelas, ou demais sistemas que capturam o elemento poluidor e extraem o contaminante, já a diluidora o ar exterior é mecanicamente misturado com o ar interior viciado, diluindo os contaminantes até limites admissíveis. Além disso, Montenegro (1984) comenta sobre os sistemas de condicionadores de ar, explicando que eles fazem o mesmo ar circular no ambiente por horas, embora o sistema filtre o ar e reduza a sua umidade, aos poucos o oxigênio do ambiente vai sendo substituído por anidrido carbônico; embora existam dispositivos que permitam que os ares-condicionados renovem o ar interno, são pouco utilizados porque reduzem substancialmente a eficiência do sistema. De modo geral, o sistema de interesse do trabalho refere-se à ventilação natural, pois é a partir dela que a fachada ventilada busca dar melhores condições de conforto térmico na edificação, e reduzir o uso de condicionadores de ar.

Analisando de forma holística o fluxo do vento, Lamberts (1997) pontua que as condições de vento local são influenciadas por presença de vegetação, outras edificações e anteparos naturais ou artificiais, dessa forma possibilitando-se a utilização da topografia local para canalizar os ventos. O autor explica que a rugosidade local tem grande influência na velocidade dos ventos, sendo que os obstáculos reduzem a sua velocidade, portanto em áreas

urbanas com muitos edifícios a velocidade do vento é menor do que em campos abertos. Além disso, destaca que há mais turbulência e direcionamento mais variável do vento da cidade do que em campo aberto, pois em ambiente urbano o vento encontra mais anteparos interferindo em sua trajetória; é possível observar esse fenômeno na Figura 15.

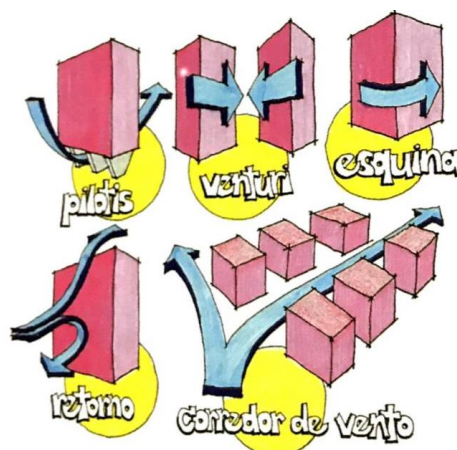
**Figura 15 - Vento e rugosidade do terreno**



Fonte: Lamberts, 1999.

Lamberts (1999) destaca que a forma arquitetônica do empreendimento tem elevada influência no seu conforto ambiental e consumo energético, pois interfere nos fluxos de ar em seu interior e exterior; as edificações podem ser construídas de forma a canalizar o vento, ou o barrar. Em reportagem da BBC (2015), referente ao efeito do vento em arranha-céus, foi comentado o efeito Venturi, no qual ocorre uma canalização do vento a partir do estrangulamento do seu fluxo, pois ao atravessar um espaço estreito entre edifícios é gerada uma aceleração, ganhando maior velocidade; além disso, nela comentou-se sobre o efeito provocado por edifícios muito altos, que ocasionam elevado retorno de vento na base, podendo ser desconfortável ao transeunte. Através da Figura 16, se observa de que forma se dá a trajetória do vento quando influenciado pelos efeitos de pilotis, Venturi, esquina, retorno e corredor de vento.

**Figura 16 - Influência da forma da edificação no movimento do ar**



Fonte: Lamberts, 1999.

De acordo com Costa (2005), a ventilação natural ou espontânea é aquela que se verifica por ação dos ventos em razão das diferenças de pressões naturais, geradas pelos gradientes de temperaturas existentes através das superfícies que delimitam o ambiente considerado. A ventilação natural provoca o escalonamento horizontal das pressões. Vale observar que diferenças de pressão da ordem de  $0,5 \text{ N/m}^2$  são suficientes para provocar correntes de ar satisfatórias em aspectos de ventilação, desde que haja um caminho para o ar percorrer.

### 2.5.1 Efeito chaminé

O efeito chaminé, comentado na definição de fachadas ventiladas, ocorre em diversos contextos, desde que haja diferença de pressão no ar e um caminho que ele possa seguir. Ou seja, o efeito chaminé não é verificado apenas em fachadas ventiladas, ele também se aplica à ventilação natural para parte interna da edificação através das aberturas e esquadrias. Aberturas convenientemente posicionadas intensificam a ação dos ventos, como por exemplo, janelas colocadas em paredes opostas na direção dos ventos dominantes. Com relação ao posicionamento das esquadrias para o favorecimento da ventilação natural, Montenegro (1984) diz que a versão mais otimizada é a que a saída de ar se encontra junto ao forro, pois no topo do ambiente é onde se concentra a massa de ar quente e ela precisa de um caminho para sair. Na solução comumente adotada as janelas se encontram no mesmo nível, porém dessa forma se fica retido um colchão de ar quente que não consegue escoar pela abertura.

O aquecimento do ar provoca a redução de sua massa específica, o que tem por consequência a formação de diferenças de pressão, escalonando-se verticalmente (COSTA,

2005). O fenômeno descrito pelo autor é facilmente explicável pela física, uma vez que quando aquecidas as partículas se afastam, o que diminui a sua massa específica e por consequência gera uma zona de baixa pressão; por ser mais leve essa massa de ar tem a tendência de subir, da mesma forma, a massa mais fria, zona de alta pressão, tende a descer gerando uma corrente convectiva de vento.

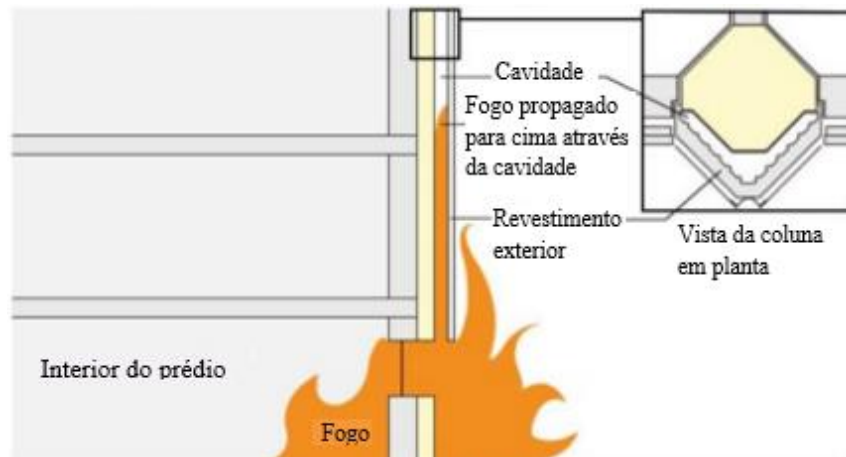
Dessa forma, a diferença de pressão gerada por uma coluna de ar quente em um ponto com temperatura “T2”, com uma temperatura superior a outro ponto com temperatura “T1”, depende do módulo dessas temperaturas e da altura da coluna. O resultado dessas condicionantes gera o efeito de termossifão (ou efeito chaminé), conforme colocado por Costa (2005), trata-se de uma aplicação do princípio de Arquimedes “o ar aquecido recebe um impulso de baixo para cima, igual ao peso da massa de ar frio deslocada”.

É possível calcular a ventilação por diferenças de temperatura identificando a diferença de pressão disponível devido ao termossifão e subtraindo as perdas de carga no deslocamento, afinal, o ar é um fluido no estado gasoso. De acordo com Costa (2005), as perdas de carga se dão principalmente nas aberturas de entrada e saída por onde obrigatoriamente o ar deve passar, sendo diretamente proporcionais a pressão dinâmica do ar relativa à sua velocidade ao passar pela abertura.

## **2.6 Comportamento em situações de incêndio**

Na madrugada do dia 13 para 14 de junho de 2017, setenta e duas mortes foram provocadas por um incêndio ocorrido no edifício Torre *Grenfell*, em Londres, capital da Inglaterra. O referido edifício havia passado por um processo de reforma em 2016, com um investimento de 8,6 milhões de euros, em que foi utilizado o sistema de fachadas ventiladas para a renovação do seu revestimento externo. De acordo com reportagem da BBC (2017) o incêndio teve origem na cozinha de um apartamento no quarto andar e, em poucos minutos o fogo subiu pelo exterior do edifício, utilizando a chaminé formada pelo revestimento não aderido da fachada como um caminho para rapidamente espalhar as chamas para os outros andares, fenômeno ilustrado na Figura 17. Conforme consta na reportagem, um dos fatores que contribuiu para que o fogo se espalhasse tão rápido foi o fato de as placas do revestimento conterem polietileno em sua constituição. As placas de ACM possuíam um enchimento de polímero de polietileno, que além de ser altamente combustível, derrete e flui quando submetido a temperaturas elevadas, liberando grande quantidade de energia em sua combustão.

**Figura 17 - Propagação das chamas através do efeito chaminé**



Fonte: Adaptado de notas de aula de Vargas, 2017.

Na Figura 18 se identifica-se como se deu a progressão do incêndio no edifício Grenfell, cabendo destacar o nível de destruição do incidente ocorrido. Já na Figura 19 demonstra-se que o incêndio consumiu todo o revestimento, por conta de ele ser constituído de material inflamável e, a subestrutura metálica de fixação sofreu significativas deformações por conta da exposição ao calor.

**Figura 18 - Progressão do fogo na Torre Grenfell**



Fonte: BBC, 2018.

**Figura 19 - Detalhe do revestimento após o incêndio**



Fonte: BBC, 2018.

Conforme apresentado ainda em reportagem da BBC (2017), o ocorrido foi intensificado por uma sucessão de erros, desde falhas no sistema passivo de prevenção e combate a incêndio do edifício, que não possuía uma reserva de água e tubulação para ser usada em caso de incêndio, revestimento e esquadrias de materiais combustíveis, falta de compartimentação vertical da fachada e, inclusive, no dia do incidente, o fato de os bombeiros terem orientado os moradores a ficarem nos seus apartamentos enquanto o fogo seria combatido, plano que falhou assombrosamente. O portal de notícias *Independent*, do Reino Unido, em reportagem de Griffin (2017), também noticiou o ocorrido, pontuando que no momento da concepção da reforma a escolha do sistema de fachadas ventiladas foi balizada pelo fato de o revestimento propor a melhora do isolamento ajudando a manter o som e o frio fora do prédio, além de melhorar a ventilação. No entanto, na reportagem também se enfatizou que diversos especialistas alertaram que a adição do revestimento, usualmente utilizado para atualizar prédios antigos, poderia ajudar a espalhar o fogo funcionando como uma chaminé.

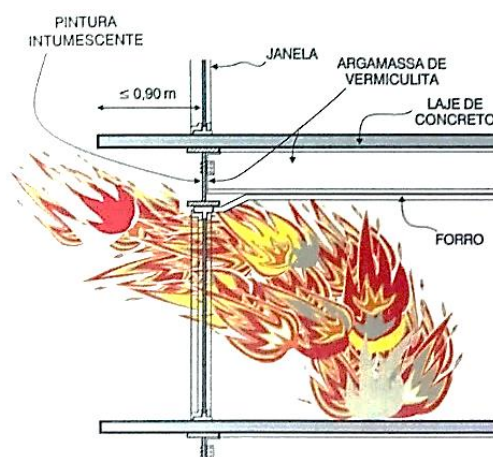
A partir desta experiência trágica é possível assimilar lições para prevenir que ocorrências assim aconteçam novamente. De acordo com Sousa et al. (2016) alguns aspectos que recorrentemente são esquecidos e contribuem para intensificar incêndios referem-se a características do revestimento, que pode ser assimétrico, isto é, ter faces compostas por materiais diferentes, dessa forma deve-se ter atenção para que todos os materiais constituintes do revestimento ofereçam segurança contra o incêndio, além de se verificar de que forma ocorrerá propagação do fogo dentro da caixa de ar. Nesse sentido, um dos atuais desafios tocantes ao sistema de fachadas ventiladas se dá no oferecimento de segurança em situação de incêndio. As fachadas ventiladas, assim como os demais sistemas de revestimento, devem atender a requisitos de compartimentação vertical, que consiste em isolar os pavimentos

verticalmente, de forma que em uma situação de incêndio o fogo não se propague de um pavimento para o outro.

De acordo com Colwell (2003), citado por Martins (2009), as chamas, em razão do seu confinamento ao entrarem na cavidade do sistema de revestimento, se alongam procurando oxigênio para a ocorrência da combustão. Dessa forma ocorre o efeito chaminé, os gases mais quentes sobem por serem menos densos, juntamente com as chamas, que se prolongam para alcançar o comburente e sustentar o fogo, fato que pode aumentar de cinco a dez vezes o seu tamanho original, independente do material utilizado no revestimento. Isso demonstra a necessidade de compartimentar verticalmente o revestimento não aderido a partir de barreiras corta-fogo.

Para limitar a propagação do incêndio, se torna necessário compartimentar a edificação em células com capacidade de resistir às chamas, impedindo o seu alastramento. Isto é, em projeto devem-se estabelecer condições que proporcionem o confinamento do fogo em sua origem até que ele seja extinto. A compartimentação horizontal trabalha a partir de paredes corta-fogo formando septos isolados que dificultam o alastramento das chamas dentro do pavimento, impedindo, em caso de incêndio, que grandes áreas sejam afetadas. Já a compartimentação vertical tem a finalidade de impedir o espalhamento das chamas entre os pavimentos, atuando a partir do enclausuramento das escadas com paredes corta-fogo, do emprego de abas verticais ou parapeitos e, de abas horizontais projetadas além da fachada que sejam resistentes ao fogo (DIAS, 2006). Na Figura 20 é ilustrado um edifício compartimentado verticalmente a partir de lajes projetadas em balanço sobre as vigas da fachada, o que cria um septo horizontal para evitar a propagação vertical das chamas aos pavimentos superiores.

**Figura 20 - Compartimentação vertical e propagação das chamas**



Fonte: Dias, 2006.



Com relação ao que dispõe a INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 08 (2018) do Corpo de Bombeiros, que trata da segurança estrutural da edificação contra incêndio, a escolha e aplicação dos materiais de revestimento com resistência ao fogo é de responsabilidade dos responsáveis técnicos do empreendimento. Ademais, devem ser asseguradas as propriedades térmicas e o desempenho em situação de incêndio dos materiais de revestimento quanto à “aderência, combustibilidade, fissuras, toxidade, erosão, corrosão, deflexão, impacto, compressão, densidade”, além de outras características que garantam o desempenho e durabilidade dos materiais. Conforme a referida instrução, a garantia desses atributos pode ser assegurada a partir de ensaios realizados em laboratório nacional ou estrangeiro reconhecido internacionalmente, sendo que os ensaios devem ser feitos em conformidade com as normas técnicas nacionais e, na ausência destas, em consonância com normas estrangeiras.

Segundo Direito (2011), a classificação quanto a reação ao fogo não deve ser efetuada apenas para o revestimento, mas sim para o comportamento conjunto do sistema. No caso das fachadas ventiladas, deve-se considerar as interações entre revestimento, a sua estrutura de fixação e o isolamento térmico; aconselha-se que cada um dos elementos individualmente apresente boa reação ao fogo. A autora destaca que os sistemas de fixação e revestimento devem ser suficientemente robustos para suportar a exposição térmica e as distorções derivadas do aquecimento sem perder a resistência.

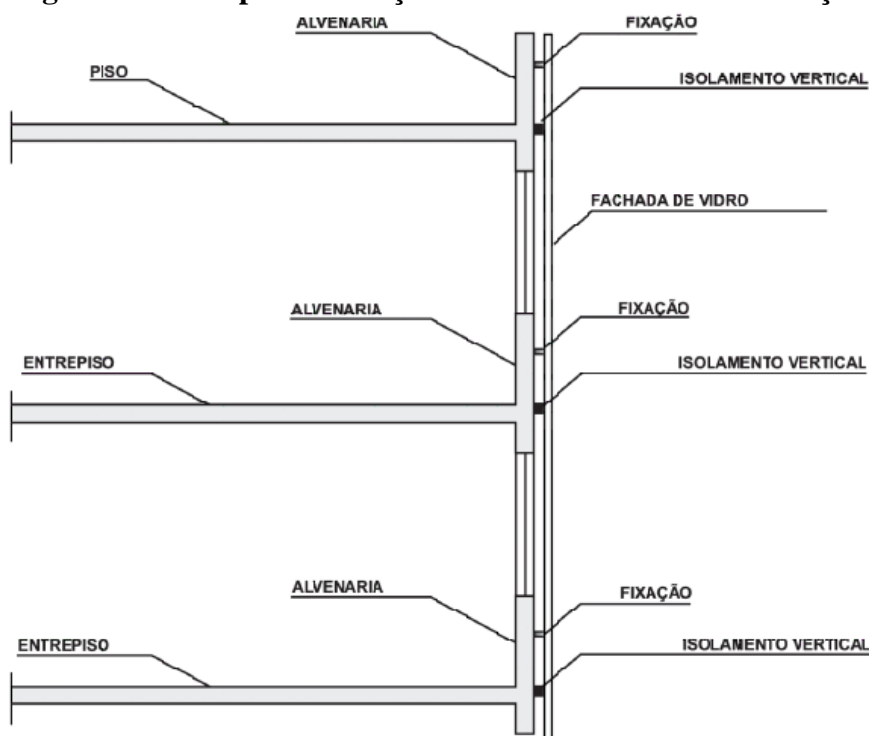
Atualmente o corpo de bombeiros brasileiro não dispõe de uma instrução técnica que esclareça como se proceder na compartimentação vertical de fachadas ventiladas. No entanto, a INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 09 (2018) trata sobre a compartimentação horizontal e vertical de edificações, detalhando os requisitos de compartimentação a serem oferecidos pelos revestimentos e esquadrias em fachadas. De acordo com a instrução, denomina-se de elemento corta-fogo o material que, por um estabelecido período de tempo, garanta as propriedades de resistência mecânica a impactos, estanqueidade à passagem de chamas e fumaça e o isolamento térmico.

A INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 09 (2018) dispõe que existe compartimentação vertical entre dois pavimentos com uma fachada de parede simples, quando, dentre outros requisitos, atende uma distância vertical mínima entre as aberturas de um metro e vinte centímetros. Além disso, quanto à compartimentação horizontal, coloca que as aberturas situadas na mesma fachada, em lados opostos de uma parede interna de compartimentação, devem ser afastadas no mínimo 2 m entre si. A distância vertical mencionada anteriormente pode ser substituída por um prolongamento da parede de compartimentação, externo à edificação, com extensão mínima

de 0,90 m. A compartimentação também pode ocorrer a partir de prolongamentos dos entrepisos, e de acordo com a instrução técnica, nessa situação, as abas devem ser projetadas, no mínimo, em noventa centímetros além do plano externo da fachada. Além disso, na INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 09 (2018) é destacado que os caixilhos e componentes das janelas devem ser compostos por materiais incombustíveis.

No que diz respeito a compartimentação de fachadas totalmente envidraçadas ou fachadas cortina, a INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 09 (2018) dispõe que, se a própria fachada não for constituída de elementos envidraçados corta-fogo, atrás dessas fachadas deverão ser dispostos elementos corta fogo para a compartimentação vertical, como parapeitos, vigas, ou prolongamento dos entrepisos. Além disso, as aberturas entre a fachada-cortina e os elementos de separação, como ocorre nos vãos das esquadrias, devem ser vedados com selos corta fogo em todo o perímetro, sendo que devem ser independentes dos caixilhos da fachada, não sofrendo danos com a movimentação de elementos estruturais da edificação. Da mesma forma, as aberturas existentes nas paredes de compartimentação devem ser protegidas por elementos corta-fogo, sendo que esses elementos podem apresentar tempo requerido de resistência ao fogo de 30 minutos inferior às paredes de compartimentação, porém nunca menor do que 60 minutos. A compartimentação vertical de fachadas-cortina envidraçadas exigida pela INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 09 (2018), é apresentada na Figura 21.

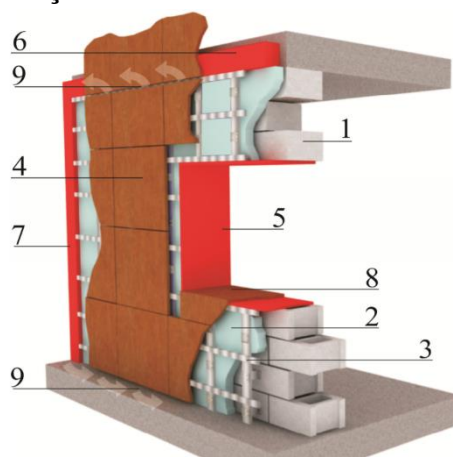
**Figura 21 - Compartimentação vertical de fachada envidraçada**



Fonte: Adaptado de INSTRUÇÃO TÉCNICA Nº 09, 2018.

Em fachadas ventiladas, áreas sensíveis como as aberturas das esquadrias devem possuir barreiras corta-fogo, assim como é interessante que existam barreiras aplicadas na vertical ao longo do perímetro da fachada, devidamente espaçadas, para evitar a propagação lateral das chamas. O detalhamento dessas barreiras é específico de cada projeto pois não é possível generalizar uma solução para qualquer fachada ventilada, uma vez que o tipo de barreiras depende do gênero do revestimento, forma de fixação e de outras especificações particulares de cada empreendimento. De modo geral, deve-se elaborar com precisão o detalhamento da compartimentação da fachada e especialmente nos pontos críticos durante a fase de projeto (MARTINS, 2009). Na Figura 22 é representado um sistema de fachadas ventiladas com o uso de isolante térmico em que foi feita a compartimentação horizontal nos entrepisos, na abertura da esquadria, assim como a compartimentação disposta lateralmente na fachada do edifício.

**Figura 22 - Compartimentação em fachada ventilada com o uso de isolante térmico**



Fonte: Martins, 2009.

**Legenda:**

- 1- Elemento de suporte;
- 2- Isolamento térmico;
- 3- Estrutura de suporte do revestimento;
- 4- Revestimento;
- 5- Elemento corta-fogo nos vãos das esquadrias;
- 6- Elemento corta-fogo na zona de entre pisos;
- 7- Elemento corta-fogo vertical;
- 8- Arremate no vão da abertura;
- 9- Cavidade de ventilação.

## 2.7 Substrato

Um dos primeiros itens a ser definido na concepção de um sistema de fachadas ventiladas é o seu substrato, isto é, de que material será constituída a base da superfície externa da edificação. Com base nisso é possível especificar qual tipo de estrutura de fixação é compatível com o sistema. De acordo com Siqueira Júnior (2003), um fator relevante no custo de implantação do sistema de fachada ventilada é a definição de substratos com resistência à flexão, para que exista a possibilidade de fixação da ancoragem da subestrutura auxiliar em mais pontos, dessa forma é possível reduzir a seção do perfil dos montantes, gerando um consumo menor de alumínio. Nesse sentido, o autor destaca que se deve levar em consideração os fatores que influenciam no desempenho do conjunto da vedação, verificando-se a deformabilidade de cada um dos seus componentes, assim como a resistência à flexão da base.

No caso de se fazer ancoragens na vedação, além de a dimensionar para o recebimento de cargas excêntricas e garantir a sua estabilidade estrutural, deve-se analisar qual a natureza desse substrato, para ver se ele é adequado, em termos de execução e compatibilidade, para servir de suporte para a fachada ventilada. Soriano (1999), citado por Siqueira Júnior (2003), pontua que quando se pensa em comportamento mecânico, é pressuposto que o elemento tenha determinada homogeneidade para poder prever o seu desempenho; dessa forma, em uma parede de alvenaria de vedação, por exemplo, as ancoragens podem atingir pontos ociosos, com variação de espessura, juntas de argamassa, ou ainda a união das juntas verticais, diminuindo o grau de previsibilidade do comportamento.

Tendo em vista o que foi apresentado, no que concerne o grau de confiabilidade do substrato, um dos melhores materiais é o concreto, pois ele oferece a necessária homogeneidade. Dentro das famílias de alvenarias, os tijolos maciços também oferecem bom grau de confiabilidade. O Quadro 1 mensura o grau de confiabilidade do substrato enquanto base para ancoragens de sistema de revestimento não aderido, de acordo com o material utilizado.

**Quadro 1 - Grau de confiabilidade do substrato para ancoragens de revestimentos não aderidos**

Natureza do Suporte	Grau de Confiabilidade
Concreto	Excelente
Tijolo Maciço	Muito Bom
Bloco de concreto com separação entre as paredes de 30mm e septos com espessura de 30mm	Bom
Tijolo cerâmico com pequenas células ocas	Bom
Bloco cerâmico vazado	Inaceitável
<b>Nota: Quando do dimensionamento da ancoragem deve-se levar em conta, além da resistência do material, a situação das juntas e bordas da alvenaria (quando utilizado sem reforços, como cintas entre outros).</b>	

Fonte: Adaptado de Soriano (1999), citado por Siqueira Júnior (2003).

Dutra (2010) realizou experimentalmente análises sobre o comportamento do revestimento em fachadas ventiladas. Para tanto, em laboratório, construiu uma parede de alvenaria com blocos de dezesseis furos, na qual foram utilizadas fixações do tipo gato para afixar o revestimento. O que importa à presente seção de substratos, em relação ao estudo realizado pelo autor, é mostrar de que forma se constituiu a interface entre as fixações e a alvenaria. Após a realização dos furos, fez-se o uso camisas que foram inseridas na parede, que posteriormente foram preenchidas com uma resina que saía pelos furos da camisa, consolidando a fixação dos gatos, além de garantir a impermeabilidade ao ponto de ancoragem, conforme visualiza-se na Figura 23.

**Figura 23 - Detalhe da interface entre o gato de fixação, camisa e resina com a alvenaria**



Fonte: Dutra, 2010.

## 2.8 Isolante Térmico

Siqueira Junior (2003) destaca que a fachada ventilada pode ou não ter um isolante térmico incorporado, e quando se verificar a necessidade do uso esse isolante pode ser fixado no substrato, no interior da câmara ventilada. A configuração do isolamento na fachada é exemplificada na Figura 24, em que se utilizou uma manta de fibra de vidro sobre o substrato, antes da fixação da subestrutura metálica.

**Figura 24 - Isolamento térmico com manta de fibra de vidro em fachada ventilada**



Fonte: Marazzi (1999), citado por Siqueira Júnior (2003).

Martins (2009) subdivide os materiais que podem ser utilizados como isolantes térmicos quanto a sua composição em de origem mineral ou vegetal, termorrígidos e termoplásticos. Quanto aos de origem mineral ou vegetal, as principais representantes são as lãs de rocha e de vidro. Os termorrígidos são representados principalmente pelo poliuretano, e os termoplásticos pelo estireno.

### 2.8.1 Isolantes de origem natural

#### a) Lã de rocha

É um material natural e inorgânico; sua constituição é de fibras de lã de rocha unidas por uma resina termoendurecida. Apresenta boa reação ao fogo, com comportamento incombustível; seu peso específico varia entre 32 e 160 kg/m<sup>3</sup>. A exposição à umidade pode comprometer o seu desempenho (MARTINS, 2009).

## **b) Lã de vidro**

A lã de vidro é um isolante térmico que se apresenta na forma de uma manta flexível composta por filamentos de vidro, sua densidade varia de 10 a 100 kg/m<sup>3</sup>. Assim como a lã de rocha, é incombustível apresentando adequada reação ao fogo, pois não propaga chamas. (MARTINS, 2009).

### **2.8.2 Isolantes termorrígidos**

Os isolantes termorrígidos são polímeros produzidos industrialmente por meio do aquecimento até a liquefação dos materiais que reagem entre si; essa mistura líquida é colocada em moldes e após o seu endurecimento não é possível a tornar líquida novamente, isto é, na sua elaboração ocorre uma reação química irreversível. A maioria desses materiais são combustíveis, sendo um exemplo a espuma rígida de poli-isocianurato. Outro representante dessa classe é o poliuretano projetado, os dois apresentam baixa condutibilidade térmica, porém o poliuretano projetado apresenta pior desempenho em situações de incêndio. Uma alternativa que torna onerosa a execução do isolante, mas retarda a combustão do poliuretano é a execução de uma película de material incombustível sobre o isolante, como por exemplo uma camada de gesso. O peso específico de soluções em isolantes termorrígidos varia entre 30 e 60 kg/m<sup>3</sup> (MARTINS, 2009).

### **2.8.3 Isolantes termoplásticos**

Os isolantes termoplásticos também possuem origem polimérica, diferenciando-se do termorrígido pelo fato de poder ser aquecido e remoldado. Em virtude disso, em situação de incêndio tem a tendência de voltar a fase líquida e fluir, portanto, são materiais combustíveis com reação ao fogo ruim. Os principais representantes desse tipo de isolante são o poliestireno expandido extrudido (XPS) e o poliestireno expandido moldado (EPS) (MARTINS, 2009).

## **2.9 Cavity Ventilada**

Conforme já foi elucidado, existe uma cavidade de ar entre o suporte e o revestimento da fachada ventilada. O principal motivo para existir essa “caixa de ar”, reside na durabilidade da fachada, além de por consequência melhorar o conforto térmico no ambiente interno. A

ventilação da fachada evacua a umidade de infiltrações que possivelmente ocorram após precipitações pluviométricas, assim como facilita a secagem de condensações que ocorram no substrato, podendo este ser a própria parede ou o isolamento térmico, caso este elemento tenha sido incorporado na fachada. Para que haja eficiência na ventilação da fachada, deve-se evitar perdas de carga excessivas, para isso nas zonas com maior estrangulamento do fluxo não se deve utilizar uma largura inferior a 2 cm (SOUSA et al., 2016).

## **2.10 Materiais utilizados como revestimento**

A definição do material de revestimento a ser utilizado é uma decisão de primordial importância, que impacta diretamente no tipo de fixação a ser utilizada. O peso próprio dos elementos de revestimento, assim como as suas propriedades mecânicas, químicas e geométricas devem ser consideradas no momento de concepção do sistema de fachada ventilada. De acordo com Sousa et al (2016), a escolha de materiais mais leves para constituir a envolvente ventilada do empreendimento agiliza a execução do revestimento no canteiro de obras, além de, com isso, se possibilitar a utilização de suportes de fixação menos resistentes.

### **2.10.1 Rocha natural**

As rochas naturais são uma alternativa muito recorrente enquanto revestimentos em fachadas. No contexto de Portugal as mais utilizadas são a ardósia, basalto, mármore, granito e calcário. É extremamente importante que seja escolhido um material adequado para o nível de agressividade a que uma fachada é exposta, nesse sentido a rocha deve ter determinada resistência a ataques químicos e uma porosidade reduzida, para evitar a sua degradação por infiltração de água e poluentes. Além de as rochas variarem quanto a sua constituição, o acabamento dado a elas também é um fator importante que gera diversos efeitos estéticos; os mais comuns são o acabamento polido, amaciado, flamejado e areado (SOUSA et al., 2016).

### **2.10.2 Concreto**

O concreto, diferentemente das rochas naturais, constitui uma pedra artificial. O fato de ele ser moldado, confere versatilidade de formas e dimensões, assim como apresenta homogeneidade de características e atinge elevadas resistências. Além disso, a partir do concreto pode-se criar diversos tipos de texturas de acabamento (Sousa et al., 2016).



Dentre os tipos de concreto empregados como revestimento, cabe citar o concreto normal, concreto leve, concreto pesado, concreto polímero e concreto reforçado com fibras de vidro. Conforme consta na NBR 8953:2015, que trata sobre concreto para fins estruturais, define-se como concreto leve aquele com massa específica seca inferior a  $2000\text{kg/m}^3$ , como concreto normal aquele que tem o seu peso específico variando entre  $2000$  e  $2800\text{kg/m}^3$  e, por fim, tem-se o concreto pesado ou denso, que apresenta massa específica seca superior a  $2800\text{kg/m}^3$ .

O concreto polímero, com resinas, é constituído por um ligante orgânico, e pode ser feito com agregados naturais ou artificiais, com o uso de formas, e processos de mistura e vibração semelhantes ao concreto convencional. Já o concreto reforçado com fibras de vidro, popularmente conhecido por GRC, vem a ser o concreto convencional (com o uso de ligante hidráulico cimentício) acrescido de fibras de vidro, o que o confere maior resistência. Os mais utilizados enquanto revestimento de fachada ventilada são o concreto polimérico, por ter satisfatória durabilidade e baixa porosidade, e o reforçado com fibras de vidro, por permitir espessuras reduzidas em virtude do seu reforço (SOUSA et al., 2016).

Por outro lado, a ACI (2003) define as misturas cimentícias modificadas por polímero como a combinação entre cimento hidráulico, em mistura com polímeros orgânicos com ou sem agregados, que podem ser incorporados tanto em argamassas como em concreto. Destaca também que a adição de polímeros ao concreto proporciona benefícios em termos de força de ligação, resistência à tração, ao congelamento e à abrasão, assim como reduz a permeabilidade do elemento. De acordo com Dutra (2010, p. 13) “O betão polímero, material homogêneo, graças à combinação de sílica, quartzo, resinas de poliéster estável, consegue manter excelentes características físicas e mecânicas e também apresenta uma variada gama de cores e texturas.”.

### **2.10.3 Naturocimento**

Em substituição ao fibrocimento, foi desenvolvido o naturocimento, que vem a ser um material que não contém amianto em sua composição. No lugar do amianto foi incorporada a tecnologia PVA, que faz o uso de celulose e fibras sintéticas como o polivinil álcool para a sua fabricação. Apesar de ser mais utilizado em revestimento de telhados, este material tem se mostrado como uma alternativa versátil, com espessuras reduzidas, para revestir a fachada ventilada (SOUSA et al., 2016).





### 2.10.4 Cerâmico

Os revestimentos cerâmicos podem ser fabricados por extrusão ou prensagem, apresentando complexas geometrias. Por ser um material frágil, não permite a elaboração de placas de grandes dimensões, porém funcionam bem no formato de régua, podendo atingir comprimentos elevados (SOUSA et al., 2016).

Dutra (2010) apresenta que as dimensões dos elementos cerâmicos aplicados no revestimento de fachadas ventiladas têm dimensões variando de 30cm x 60cm a 60cm x 120cm, sendo que o seu processo de fixação usualmente requer uma subestrutura auxiliar. Destaca que os materiais cerâmicos apresentam ótimo desempenho em termos de resistência mecânica à compressão, porém menor resistência à tração. Se um objeto atingir a fachada com força o suficiente pode romper a peça cerâmica, nesse sentido o autor frisa que é recomendada aplicação de uma tela de fibra de vidro no tardo de da peça, para prevenir acidentes e impedir a sua queda.

De acordo com Sousa (2010, p.38), “As fixações mais utilizadas para este tipo de material são a ancoragem por grampos, linear, no tardo de ou por sistemas de encaixe. A ancoragem no tardo de pode ser fixada por parafusos ou por uma solução mista de parafusos com reforço de cola.”. No Quadro 2 são apresentados exemplos de geometrias de revestimentos cerâmicos e suas respectivas formas de ancoragem.

**Quadro 2 - Formas de fixação para revestimentos cerâmicos**

<b>Tipo</b>	<b>Forma</b>	<b>Fixação</b>	<b>Forma</b>	<b>Fixação</b>
<b>Placa</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ancoragem por grampos</li> <li>→ Ancoragem linear</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Ancoragem por grampos</li> <li>→ Sistema de encaixe</li> </ul>
<b>Lâmina</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Fixação em lâminas fixas</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>→ Fixação para lâminas fixas</li> <li>→ Fixação para lâminas móveis</li> </ul>

<p><b>Placas Sobrepostas</b></p>		<p>→ Ancoragem por grampos</p>		<p>→ Ancoragem por grampos</p>
----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------

Fonte: Adaptado de Sousa, 2010.

### 2.10.5 Fenólico

A partir dos compostos fenólicos produzem-se resinas plásticas de alta resistência, que podem ser utilizadas para a “colagem” das fibras de madeira no seu processo de transformação, as proporcionando propriedades especiais como resistência química e mecânica. Quanto a estética, são vastas as alternativas de apresentação, podendo ter texturas, cores lisas ou ainda impressões de imagens. Embora seja um material versátil, seu desempenho pode ser afetado pela exposição solar (SOUSA et al., 2016). Dutra (2010) confirma esse conceito definindo os revestimentos fenólicos como compostos constituídos de resinas termo endurecidas, denominadas de xenófilas, reforçadas com fibra de madeira, com processo de fabricação sob elevadas temperatura e pressão.

### 2.10.6 Vidro

Embora o uso de vidro seja usualmente associado a fachadas cortina não ventiladas, também é uma alternativa para revestimento para fachadas cortina ventiladas, porém em sistemas construtivos específicos. Os tipos de vidro usualmente utilizados são os laminados, temperados, aramados, impressos ou refletivos. Nesse sistema não se utilizam vidros duplos, pois por conta das juntas abertas eles não conseguem proporcionar o benefício do isolamento térmico e acústico (SOUSA et al., 2016).

### 2.10.7 Porcelanato

Outra alternativa de revestimento é constituída pelas placas de grês porcelanato, que apresentam elevada resistência mecânica e baixa absorção de água. De acordo com Mäntylä (2001) apud Siqueira Junior (2003), a escolha desse revestimento deve levar em conta as

características mecânicas de resistência a flexão e a impactos, de absorção de água do material, se a fixação utilizada será oculta ou visível, comentando também sobre a dimensão das peças, pois quanto maiores, maior a produtividade na etapa da execução.

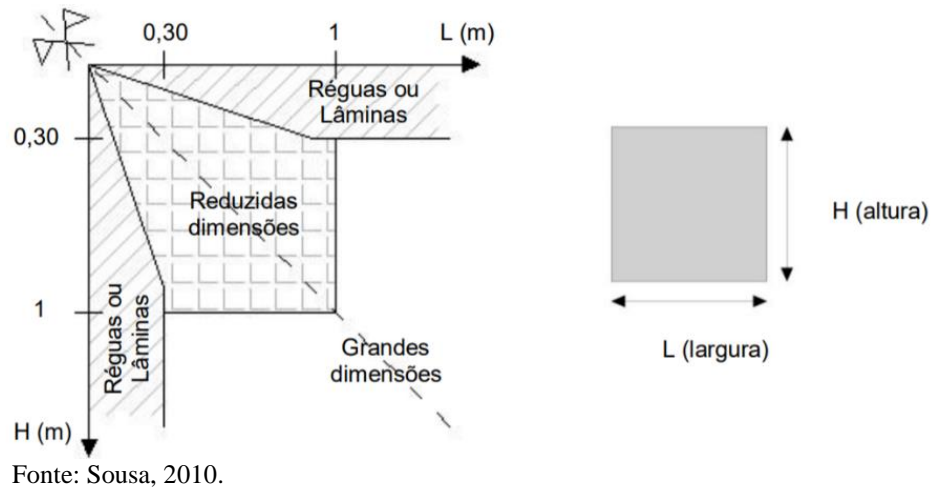
## **2.11 Geometria dos Revestimentos**

Ao se projetar um sistema de revestimento não aderido ventilado, um aspecto importante a ser considerado, que impacta diretamente no dimensionamento dos sistemas de fixações, vem a ser o formato geométrico dos elementos de revestimento. A geometria das peças, além de determinar como serão fixadas ao substrato, define de que forma os esforços de vento irão incidir sobre elas; em termos de seção transversal, as juntas entre as peças devem proteger a câmara ventilada das águas pluviais, para garantir a adequada estanqueidade do sistema.

### **2.11.1 Dimensões das peças e formatos**

Sousa et al (2016) defende que, devido às elevadas exigências arquitetônicas na atualidade e à rápida evolução das tecnologias construtivas, é necessário que se disponha de versatilidade em alternativas de materiais e formas para a fachada ventilada. O autor expõe que por ser modular, este tipo de revestimento pode rapidamente se tornar monótono. Por conta de o mercado estar em concordância com esse pressuposto, tem se alargado a gama de materiais e formatos das peças, nesse sentido é importante saber qualificar cada tipologia. O autor distingue as peças de revestimento quanto ao tamanho da face em: elementos de dimensões reduzidas, de grandes dimensões e elementos em forma de lâminas ou régua, na Figura 25 é apresentado um ábaco para qualificar nesses quesitos as peças de acordo com as suas medidas de largura e altura.

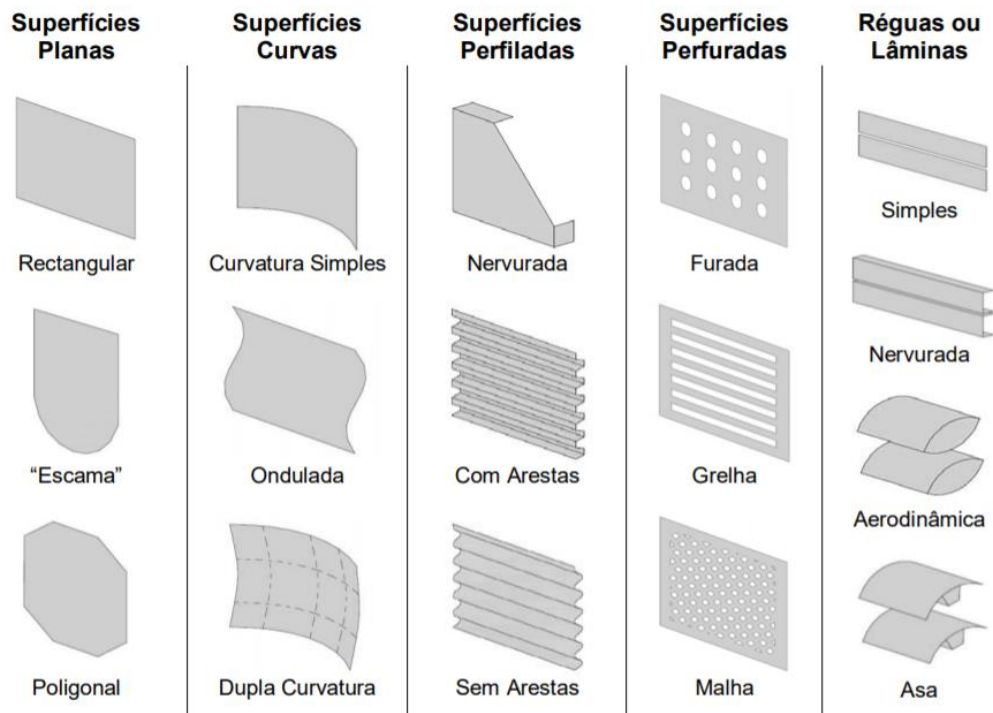
**Figura 25 - Diferenciação entre as tipologias geométricas de revestimentos**



As peças de revestimento também podem ser classificadas quanto a sua geometria em perfuradas, planas ou perfiladas. Existem também os revestimentos em forma de lâmina, que têm o intuito de oferecer proteção solar à edificação, conceituadas como fachadas ativas, que por serem móveis podem se adaptar e regular a entrada de luz solar (SOUSA et al., 2016).

Outra variável geométrica dos revestimentos é a conformação de sua superfície, que pode ser plana, curva, perfilada ou perfurada (no caso de placas), além de outras possibilidades com formatos aerodinâmicos, como as lâminas cerâmicas em forma de asa. Essas tipologias surgiram para acompanhar inovações arquitetônicas de proteção solar da edificação. Cabe ressaltar que as superfícies planas são as mais usuais para sistemas de fachadas ventiladas, pois são soluções aplicáveis a todos os materiais e facilitam o processo de montagem (SOUSA, 2010). Na Figura 26 são representados os tipos de superfícies dos revestimentos:

**Figura 26 - Tipologias das superfícies dos revestimentos**












Fonte: Sousa, 2010.

### 2.11.2 Juntas entre elementos de revestimento

Um ponto essencial para que a fachada ventilada apresente o esperado desempenho e durabilidade se concentra na forma com a qual é feita a junta entre os elementos de revestimento. Conforme já foi apresentado, essas juntas podem ser abertas ou rejuntadas, e ainda podem apresentar sobreposição das peças. De acordo com Sousa et al. (2016), na solução com juntas não se considera a hipótese de preenchimento com materiais como mastiques ou elementos que confirmam estanqueidade à fachada, embora seja utilizado em casos particulares. No Quadro 3 são apresentadas as possíveis configurações de juntas abertas, sobrepostas e juntas utilizando perfis metálicos, na sequência é explicado o comportamento das juntas em termos de estanqueidade da câmara ventilada.

**Quadro 3 - Tipos de juntas entre os elementos de revestimento**

<b>Juntas abertas</b>			
<b>Juntas Sobrepostas</b>			
<b>Perfil de Juntas</b>			

Fonte: Adaptado de Sousa, 2010.

Deve-se considerar qual o espaço será deixado na junta entre os elementos de revestimento, para que se garanta que a fachada funcione adequadamente em termos de estanqueidade. As juntas têm duas finalidades principais, que vêm a ser a absorção das deformações dos elementos de revestimento e, barrar a entrada de água na cavidade ventilada da fachada. A água consegue penetrar através das juntas a partir do efeito de gravidade, tensão superficial, vento, capilaridade e quantidade de movimento (DIREITO, 2011).

Manetti (2015) destaca que o fechamento das juntas com mastique, como na Figura 27, gera a degradação do revestimento e rejunte por infiltrações, sendo necessária a troca após aproximadamente 10 anos. Além disso, defende que essa prática elimina o efeito de ventilação, reduzindo significativamente o conforto térmico da edificação.

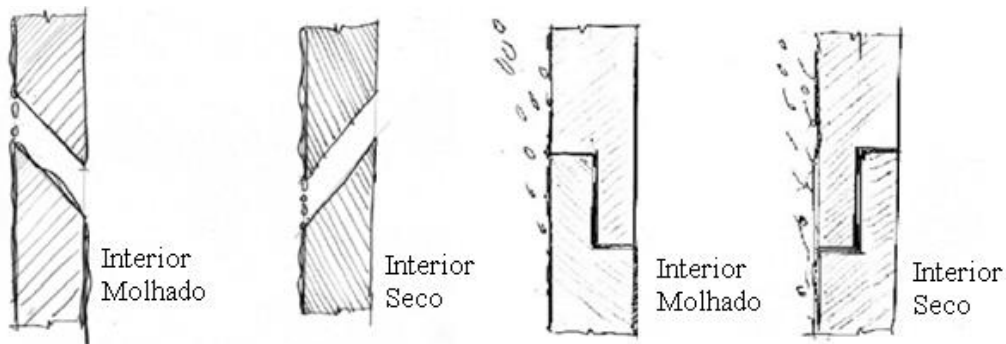
**Figura 27 - Defeito apresentado pelo fechamento das juntas com mastique**

Fonte: Manetti, 2015.

As juntas, apesar de serem abertas, tem a principal finalidade de controlar a entrada de água no interior da cavidade ventilada da fachada, devendo deixar passar o vento, mas barrar a

água. Observa-se que para isso o seu formato deve ser planejado para que permita o escoamento da água da chuva pela sua face externa, ou seja, seu caimento deve ser para fora da fachada, dessa forma, a geometria do revestimento consegue impedir o escoamento de água por gravidade em seu tardo, conforme demonstrado na Figura 28.

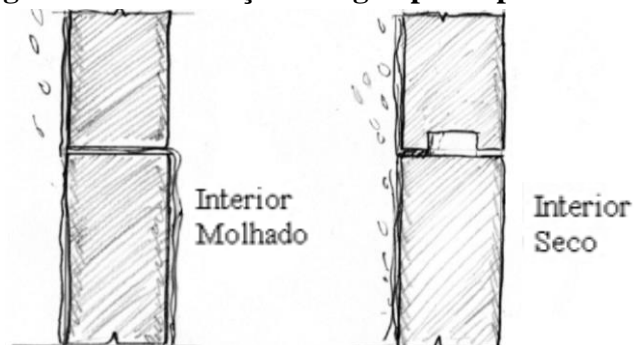
**Figura 28 - Estanqueidade de juntas abertas e fechadas**



Fonte: Adaptado de Direito, 2011.

De acordo com Direito (2011), para impedir que as águas pluviais atinjam o tardo do revestimento por meio do efeito de capilaridade, é necessário que essas juntas tenham mais 3mm de espessura. Os fluidos possuem a capacidade de subir ou descer em tubos muito finos, por conta do impulso gerado pelas tensões superficiais. Dessa forma, quando a junta entre as peças de revestimento tiver uma dimensão muito pequena, ela funciona como um tubo capilar, então a água adere às superfícies horizontais da junta e esco para o tardo. A autora destaca que esse problema pode ser solucionado a partir de uma pingadeira entre esses revestimentos, que elimine a tensão superficial, de acordo com o apresentado na Figura 29. Já Siqueira Junior (2003), apresenta que juntas de 0,01 a 4,5mm podem ocasionar pontes de escoamento, através da aderência da água por tensão superficial.

**Figura 29 - Penetração da água por capilaridade**

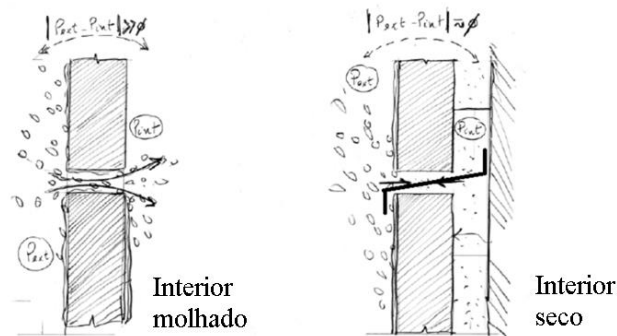


Fonte: Adaptado de Direito, 2011.



As partículas de águas pluviais, sob a ação do vento, atingem a junta do revestimento com determinados ângulo e energia e, dessa forma, respingam para dentro da caixa de ar. No sentido de barrar essas partículas de água, e ainda assim permitir a ventilação da fachada, são utilizados perfis de juntas, conforme destacado na Figura 30 (DIREITO, 2011).

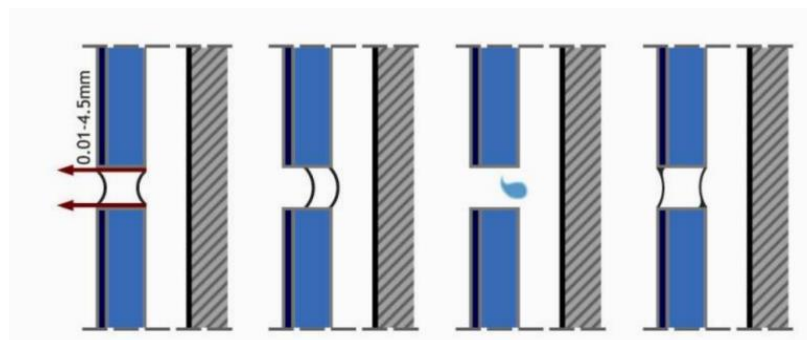
**Figura 30 - Controle da infiltração de água por ação do vento**



Fonte: Adaptado de Direito, 2011.

Dutra (2010) apresenta que a água pode se acumular entre as placas de revestimento formando uma película, que através do vento pode ser soprada contra a cavidade interna da fachada ventilada. Além do vento, o autor explica que diferenças de pressão existentes na parte interna e externa do revestimento podem impulsionar a partícula de água para a caixa de ar. Observa-se o referido efeito ocasionado pela diferença de pressões na Figura 31.

**Figura 31 - Efeito da diferença de pressão sobre partículas de água na junta entre os elementos de revestimento**



Fonte: Dutra, 2010.

## **2.12 Diferenciação dos tipos de subestruturas de fixação**

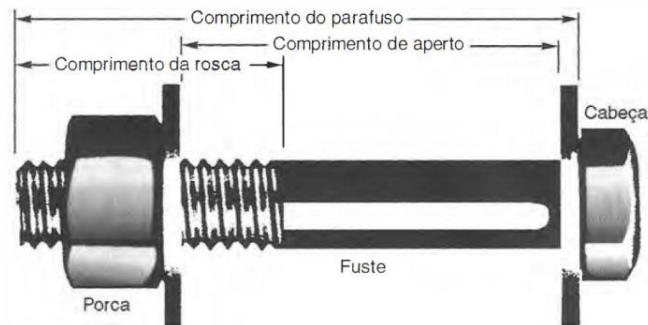
No que concerne as subestruturas de fixação do sistema de fachadas ventiladas, cabe observar que existe uma vasta gama de modelos, que serão devidamente apresentados nesta seção do trabalho. É importante, inicialmente, verificar de que forma se dá ancoragem de parafusos, rebites e demais fixadores em substratos, e, além disso verificar como usualmente é tratada essa ligação para fins de dimensionamento, para garantir que sustente a estrutura que estão suportando. Na sequência serão apresentados os modelos de fixações utilizadas nas fachadas ventiladas propriamente ditas.

### **2.12.1 Tipos de parafusos e ancoragens**

De acordo com Pfeil et al. (2000), em estruturas comuns compostas por duas ou mais chapas, para fazer a sua ligação são utilizados como conectores usualmente rebites, parafusos comuns e parafusos de alta resistência. O produto final dos rebites apresenta duas cabeças e a sua instalação ocorre a quente, portanto os rebites são aquecidos a cerca de 1000°C, colocados no furo e as duas cabeças são formadas a partir do martelamento do rebite quente. Quando ele é resfriado sofre uma contração térmica, apertando as duas chapas. Dessa forma cálculo dos rebites é feito com base nos esforços a ele transmitidos por apoio no fuste e por cisalhamento na seção transversal do fuste. Já os parafusos comuns, segundo o autor, “são, em geral, forjados com aços-carbono de teor moderado”, possuindo em uma extremidade uma cabeça quadrada ou sextavada, e na outra pode apresentar uma rosca com porca. Os parafusos são instalados a partir do aperto gerando atrito entre as chapas, porém como o aperto entre as chapas é muito variável, então não se pode garantir um valor mínimo a ser considerado. Para fins de cálculo, os parafusos são calculados como os rebites, considerando as tensões de apoio e de corte.

Dias (2006) diz que os parafusos comuns tem baixa resistência mecânica, com 41,5 KN/cm<sup>2</sup> de resistência a ruptura por tração (ASTM A 307), sendo eles utilizados apenas para peças secundárias como guarda-corpos, corrimãos, terças e outros elementos com poucas solicitações. A instalação deste tipo de parafuso é feita com chave manual comum e sem controle de torque. Na Figura 32 observa-se as nomenclaturas de cada parte constituinte de um parafuso com porca sextavada e arruelas.

**Figura 32 - Parafuso com porca sextavada e arruelas**

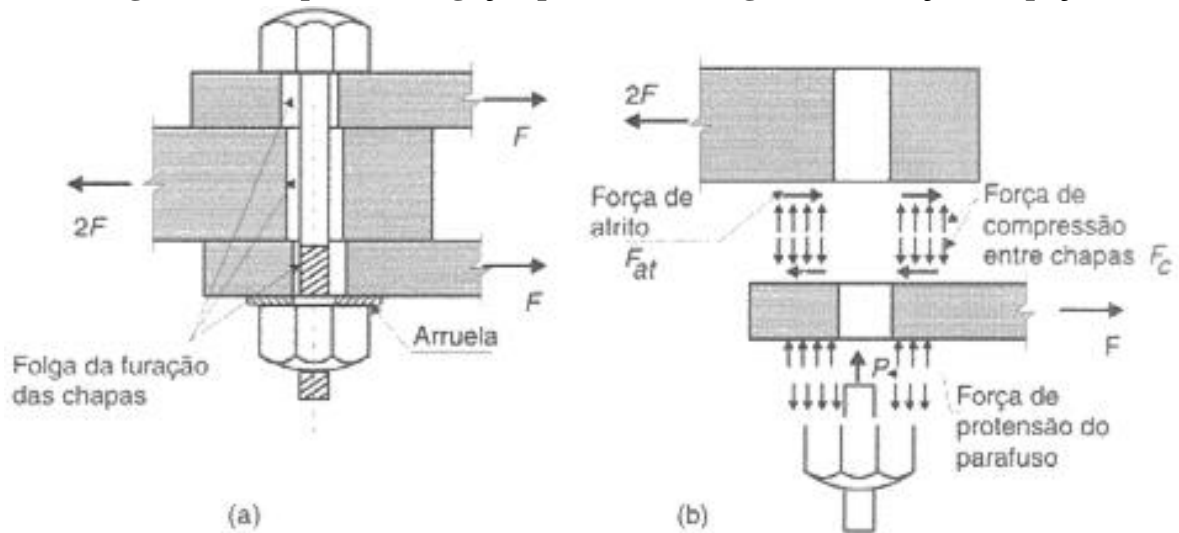


Fonte: Pfeil, 2009.

Por último cabe falar sobre os parafusos de alta resistência, que de acordo com Pfeil et al. (2009) são feitos de aço tratado termicamente, “o tipo mais usual é o ASTM A325, de aço-carbono temperado. Eles podem ser instalados com esforços de tração mínimos garantidos, os quais podem ser levados em conta nos cálculos”. O parafuso de alta resistência, para funcionar como ligação entre chapas, pode ser dimensionado por atrito quando não pode ocorrer o mínimo deslocamento entre as chapas, e quando pequenos deslocamentos são toleráveis, podem ser dimensionados como apoio (Pfeil et. Al 2000). Na imagem a seguir é mostrado um parafuso de alta resistência fixando três chapas por atrito, demonstrando os respectivos esforços entre as peças.

Dias (2006) acrescenta que os parafusos de alta resistência são empregados em ligações importantes, com resistência à ruptura da ordem de  $82,5 \text{ kN/cm}^2$  (ASTM a 325) para parafusos com diâmetro menor ou igual a  $25,4 \text{ mm}$ , para diâmetros maiores deve-se considerar resistência à ruptura de  $72,5 \text{ kN/cm}^2$ . Este tipo de parafuso deve ser instalado com controle de torque por meio de chaves calibradas (torquímetro ou chave pneumática), após o aperto inicial com chave comum. Os esforços existentes em uma ligação entre chapas por meio de parafusos, porcas e arruelas são ilustrados pela Figura 33.

**Figura 33 - Esquema de ligação por atrito e diagrama de forças nas peças**

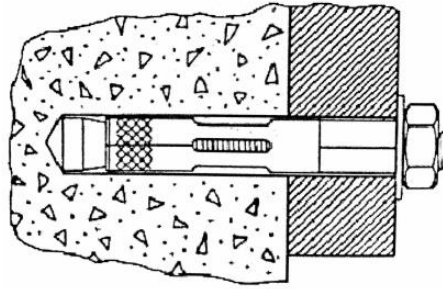


Fonte: Pfeil, 2009.

As siderúrgicas fabricam chapas e perfis laminados em dimensões padronizadas, portanto, para adaptar o elemento de aço às medidas do projeto se torna necessário cortes e conexões. A escolha do tipo de conexão deve levar em consideração o comportamento da conexão, se será rígida ou flexível, por contato ou por atrito, entre outros. As conexões podem ser executadas por soldagem ou parafusamento, atualmente evitam-se ligações rebitadas em virtude da baixa resistência mecânica, instalação lenta e dificuldade de inspeção (DIAS, 2006).

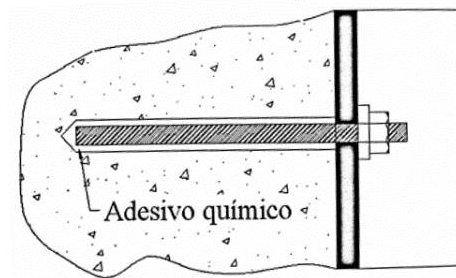
Para a fixação de vigas de aço em elementos de concreto existentes Bellei (2006) cita como alternativas de fixação os chumbadores de expansão e as fixações com ancoragem química. De acordo com o autor, o chumbador de expansão (Figura 34) é constituído por uma haste de aço com uma capa na ponta que permite a abertura quando apertado, fixando-se por meio de aderência ao concreto. A sua resistência a tração é baixa, variando de 15 a 60 kN, portanto são usados para fixações com pequenas solicitações de carga. Já os fixadores com adesivo químico (Figura 35) o autor define como “uma barra roscada de aço junto com cartucho de adesivo químico, que permite uma fixação rápida e segura”, com resistência a tração variando de 9,60 a 168,70 kN, dependendo do diâmetro da barra, resistência do concreto no qual será ancorada, profundidade, distância entre fixadores e também distância com relação a borda.

**Figura 34 - Chumbador de Expansão**



Fonte: Bellei, 2006.

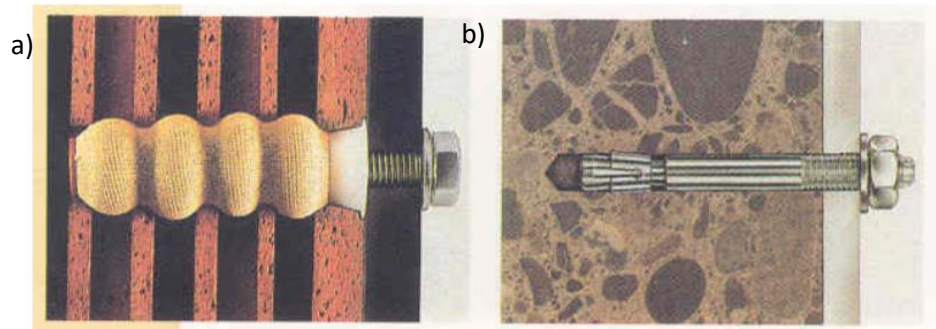
**Figura 35 - Fixador com ancoragem química**



Fonte: Bellei, 2006.

Os chumbadores mecânicos são adequados para substratos em concreto ou alvenaria de tijolos maciços, por conta de a superfície ter poucos vazios e ser bastante homogênea. Já os chumbadores químicos fixados a partir de resina poliéster bicomponentes funcionam bem também com superfícies com pontos vazados. Existem também as buchas de expansão, que se expandem ao se introduzir o parafuso fazendo a ancoragem, funcionando bem também para substratos com pontos vazados. É essencial, no sistema de fachadas ventiladas, que se especifique chumbadores adequados ao substrato em que serão fixados. (SIQUEIRA JUNIOR, 2003). Na Figura 36 é possível observar a interação entre uma bucha de expansão e o substrato em material cerâmico vazado e entre um chumbador mecânico e um substrato homogêneo em concreto.

**Figura 36 - Bucha de expansão (a) e Chumbador mecânico (b)**

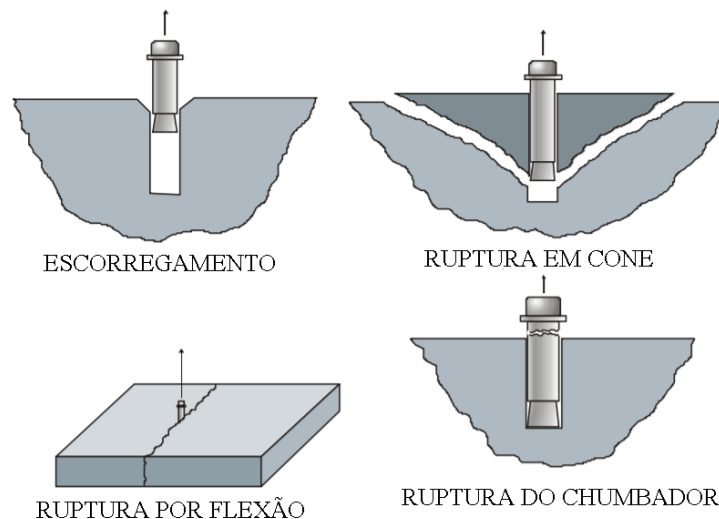


Fonte: Tectônica (1995), citado por Siqueira júnior (2003).

### 2.12.2 Falhas na ancoragem

Diversos fatores podem provocar a falha no sistema de fixação, como deformações da base, cargas acidentais, a exposição a variação de temperatura e demais cargas que atuem sobre o chumbador. De acordo com Senkiw e Lancelot (1991) apud Siqueira Junior (2003), as falhas podem ocorrer de quatro formas: por ruptura no substrato em forma cônica, por ruptura do próprio chumbador, por escorregamento do chumbador e pela ruptura da base por flexão. Os tipos de falhas citados estão representados na Figura 37 e, vale destacar que elas podem ocorrer simultaneamente.

**Figura 37 - Tipos de ruptura do sistema de ancoragem**



Fonte: Adaptado de Senkiw e Lancelot (1991) apud Siqueira Junior (2003).

Quanto a ruptura cônica, ao se expor um chumbador de expansão a carregamentos, nele é gerada uma tensão que se transmite ao substrato a partir de uma força de atrito lateral, normal

ao eixo longitudinal do parafuso. Quando as tensões são aumentadas, o mecanismo de expansão da fixação irradia para a superfície externa essa tensão longitudinal em ângulos entre 45 e 60°, formando um cone de tensões, que tem a tendência de diminuir de acordo com a profundidade da penetração da ancoragem (SENKIW E LANCELOT, 1991 apud SIQUEIRA JUNIOR, 2003).

A ruptura por flexão da base ocorre quando surgem rachaduras no substrato, principalmente quando este não é armado, ou quando a ancoragem é fixada muito próxima aos bordos do elemento. Já a falha por escorregamento é constatada quando a base falha por compressão, permitindo que o sistema de ancoragem seja arrancado. Por último, a ruptura por falha no chumbador ocorre quando este for solicitado até a sua tensão última de ruptura e a base mantiver a sua integridade. Portanto é visualizada principalmente em fixadores com muitas solicitações, sendo comum em ancoragens químicas, de expansão e aquelas que são incorporadas no concreto fresco (SIQUEIRA JUNIOR, 2003). Nos Quadro 4 e Quadro 5 são apresentadas as distâncias recomendadas para que não haja interseção entre os cones de tensão dos chumbadores.

**Quadro 4 - Espaçamento mínimo entre chumbadores e distância recomendada das arestas para elementos sujeitos ao esforço cortante**

Profundidade da ancoragem E	TIPO A Chumbador incorporado ao concreto ainda fresco		TIPO B Por alargamento da base		TIPO C E D Torque controlado ancoragem de expansão		TIPO E Deformação controlada ancoragem de expansão		TIPO F Ancoragem química e grauteada		TIPO G Atarraxada ao concreto	
	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M
4,0 D ≤ 6,0D	3,50E	1,75E	3,50E	1,75E	3,50E	1,75E	3,50E	2,00E	2,00E	1,00E	2,00E	1,75E
6,0 D ≤ 8,0D	2,00E	1,00E	3,00E	1,00E	2,00E	1,00E	3,00E	1,50E	1,50E	1,00E	1,50E	1,00E
≥ 8,0D	15D	10D	15D	10D	15D	10D	20D	10D	20D	10D	12D	10D

E = Profundidade da ancoragem.  
D= Diâmetro do chumbador.  
S= Distância entre chumbadores.  
M=Distância das arestas

Fonte: Adaptado de Senkiw e Lancelot (1991) apud Siqueira Junior (2003).

**Quadro 5 - Espaçamento mínimo entre chumbadores e distância recomendada das arestas para elementos sujeitos à tração**

Profundidade da ancoragem E	TIPO A Chumbador incorporado ao concreto ainda fresco		TIPO B Por alargamento da base		TIPO C E D Torque controlado ancoragem de expansão		TIPO E Deformação controlada ancoragem de expansão		TIPO F Ancoragem química e grauteada		TIPO G Atarraxada ao concreto	
	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M	S	M
4,0 D ≤ 6,0D	3,50E	1,00E	3,50E	1,00E	3,50E	1,00E	4,00E	2,00E	2,00E	1,00E	3,50E	1,00E
6,0 D ≤ 8,0D	2,00E	1,00E	3,00E	1,00E	2,00E	1,00E	3,00E	1,50E	1,50E	1,00E	2,00E	1,00E
≥ 8,0D	15D	6D	15D	6D	15D	6D	20D	10D	12D	6D	12D	6D

E = Profundidade da ancoragem.  
D= Diâmetro do chumbador.  
S= Distância entre chumbadores.  
M=Distância das arestas

Fonte: Adaptado de Senkiw e Lancelot (1991) apud Siqueira Junior (2003).

### 2.12.3 Sistemas de fixação de fachadas ventiladas

Para se definir o sistema de fixação da fachada ventilada, é necessário conhecer o tipo de revestimento e se as placas serão colocadas no sentido vertical ou horizontal, pois cada uma tem uma forma particular de se fixar. A partir disso deve-se planejar duas etapas, na primeira decide-se como será a estrutura metálica presa ao corpo do prédio, e depois deve-se definir o tipo de grade de alumínio e clipe de fixação disponibilizado pelo fornecedor (ROCHA, 2011).

Existem dois enquadramentos para o sistema de fixação das fachadas ventiladas, o mais usual é a fixação pontual, mas pode ser feito também por intermédio de uma estrutura secundária sobre uma superfície de alvenaria ou concreto armado. Outra possibilidade vem a ser a incorporação da fachada ventilada em um sistema de pré-fabricação, em que é fixada uma estrutura metálica secundária, que será o suporte da fachada ventilada, na estrutura de *steel frame* em que são fixados os painéis da parede. Ou seja, a importância do substrato no qual será fixada a fachada, além da sua resistência, reside no grau de vinculação que possui com o revestimento. Quando se fixam diretamente sobre a superfície externa da edificação *inserts* pontuais para suportar o revestimento, este encontra-se diretamente exposto a toda e qualquer deformação que ocorra na base, enquanto a inclusão da estrutura secundária garante maior estabilidade a fixação (SOUSA et al., 2016). Na Figura 38 é demonstrada a fixação de uma fachada ventilada com o uso de subestrutura auxiliar e, por conta de se tratar de um sistema em alvenaria de vedação e concreto armado, a subestrutura tem suas ancoragens na estrutura da



edificação. Vale observar que na ilustração também foi feito o uso de um isolante térmico sobre o substrato.

**Figura 38 -Placas fixadas em subestrutura metálica ancorada da estrutura da edificação**



Fonte: <<http://www.favenk.com.br/fachadaventilada.php>>.

Conforme apresentado em material de Manetti (2015), no Brasil são mais comuns as fixações pontuais diretamente sobre a alvenaria, em virtude de o sistema apresentar custo reduzido. O autor ainda destaca que as placas fixadas em estrutura metálica ancorada na estrutura da edificação podem tornar o sistema duas vezes mais caro. Por outro lado, Sousa (2010) coloca que a ancoragem sem o uso de estrutura auxiliar se dá principalmente no caso de fixação por cavilhas e em casos específicos de ancoragem no tardo, sendo as demais soluções acompanhadas da subestrutura auxiliar, que dentre outros benefícios auxilia no controle das deformações transmitidas pela base ao revestimento. Na Figura 39 visualiza-se um sistema de revestimento não aderido em que foram empregadas ancoragens pontuais sobre o substrato de alvenaria de tijolos maciços.

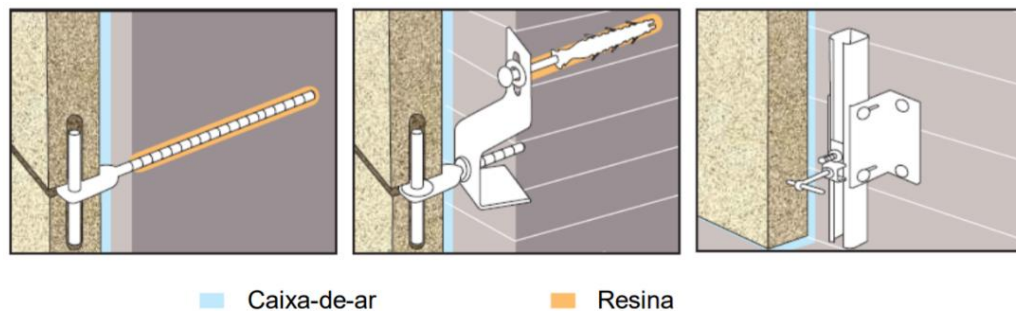
**Figura 39 - Placas fixadas com ancoragens pontuais diretamente sobre a alvenaria**



Fonte: Manetti, 2015.

Sousa (2010) define o elemento cavilha como um elemento similar a um prego, que suporta o revestimento pela resistência ao corte oferecida pela seção transversal, isto é, resistência ao esforço de cisalhamento. Este sistema é mais utilizado para revestimentos leves e o detalhe da ancoragem nesse tipo de fixação é ilustrado na Figura 40.

**Figura 40 - Detalhe da ancoragem utilizando cavilhas**

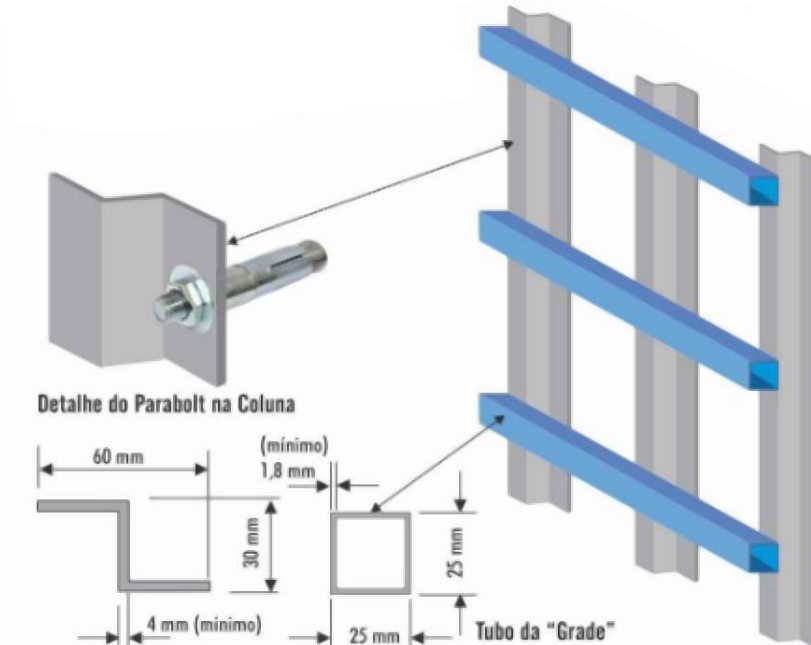


Fonte: Sousa, 2010.

De acordo com Araújo (2018), no modelo de revestimento não aderido fixado a partir de estrutura auxiliar, a subestrutura de alumínio é o elemento que garante a fixação dos painéis parede. Inicialmente os montantes verticais são engastados no substrato por meio de *inserts* parafusados a partir de *parabolts*, na sequência montam-se as travessas horizontais, que são fixadas nas colunas verticais, conforme representado na Figura 41. O espaçamento entre as colunas e travessas varia de acordo com as dimensões do material de revestimento. O autor desenvolveu uma técnica de ancoragem e subestrutura com um perfil z, de abas iguais, medindo 60mm, com espessura de 4mm, conforme apresentado na Figura 41. Araújo (2018) destaca que

o mais importante em termos de execução é que garantir que estrutura esteja nivelada, no prumo e bem alinhada.

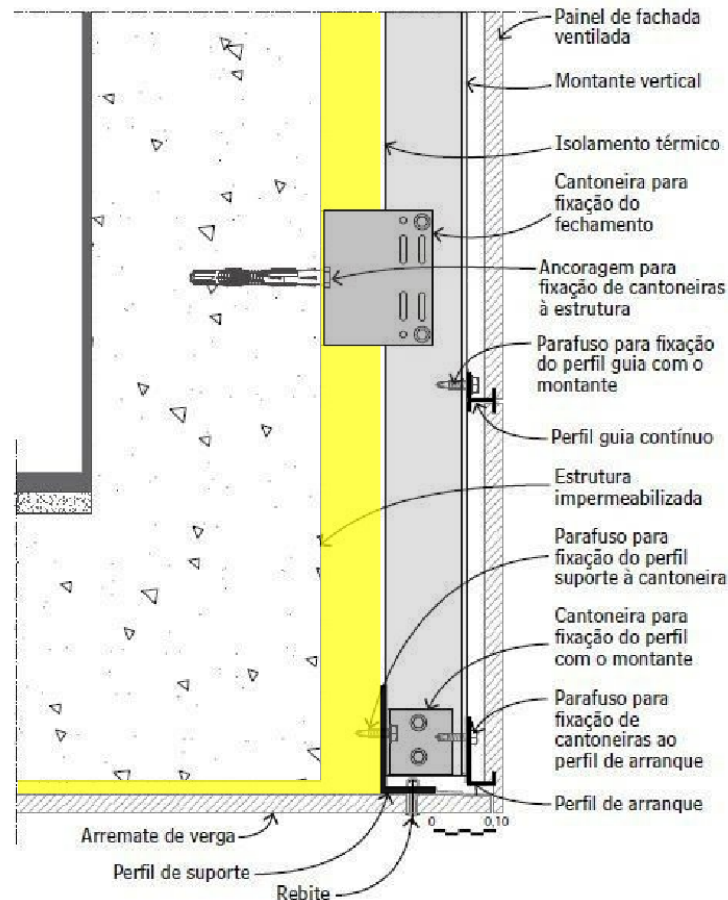
**Figura 41 - Subestrutura de fixação de fachada cortina com perfil z**



Fonte: Araújo, 2018.

Vale destacar aqui um caso concreto, referente ao empreendimento do Colégio Roberto Herbster Gusmão localizado na cidade de Sete Lagoas, em Minas Gerais, onde foi utilizado um sistema de fachada ventilada da *Ulma Architectural Solutions*, no qual o revestimento utilizado é constituído de painéis de concreto polímero. Tradicionalmente, os painéis de concreto polímero são fixados a partir de montantes verticais de alumínio fixados mecanicamente ao substrato (alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto), a partir de buchas. Por sua vez, os montantes verticais sustentam as guias horizontais, sendo que todos os perfis e elementos metálicos devem apresentar resistência a corrosão em suas propriedades técnicas. Para a prevenção de patologias por infiltração, se fez necessário impermeabilizar o substrato e o reforçar nos pontos de ancoragens. O sistema de painel e subestrutura utilizado apresentava peso próprio de  $35\text{kg/m}^2$ , e por conta de o substrato ser de alvenaria, foi necessário reforçar o substrato para o recebimento dos *parabolts*, a partir da abertura de furos e preenchimento com massa de cimento e areia (FIGUEROLA, 2016). Na Figura 42, em amarelo está destacado o isolamento térmico, em preto as guias contínuas horizontais que servem de encaixe para sustentar o revestimento, e em cinza os montantes verticais, que sustentam as guias horizontais e estão ancorados no substrato, que vem a ser a estrutura da edificação.

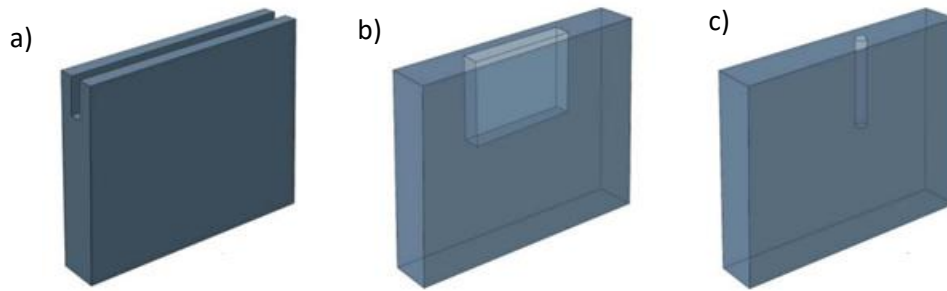
**Figura 42 - Detalhe do sistema de fixação**



Fonte: Adaptado de Figuerola, 2016.

É possível realizar afixação dos elementos de revestimento através de diferentes processos. A ancoragem simples pode ser feita a partir de grampos metálicos nos bordos da peça, sem furações ou ranhuras, ou a partir da colagem do tarsoz na subestrutura metálica. Outros processos de fixação se dão a partir de furação simples das peças, ranhuras contínuas ou descontínuas nos bordos ou tarsoz das peças de revestimento, ou ainda por geometrias específicas de encaixe na subestrutura. Em síntese, para painéis retangulares existem basicamente três tipos de fixações, sendo estas as furações, ranhuras e encaixes, conforme representado na Figura 43. Os revestimentos com furações e ranhuras descontínuas são soluções adaptadas ao sistema de fixação pontual, ao passo que as ranhuras contínuas se aplicam a sistemas de fixação linear. O sistema de encaixe a partir da geometria das peças é uma solução particular para materiais como metais e plásticos, que apresentam maior plasticidade. Uma vez definido o sistema de fixação, são desenvolvidos os painéis, apresentando elevado nível de pré-fabricação, pois a precisão é imprescindível para garantir a compatibilidade entre os elementos de fixação e o revestimento. (SOUSA et al., 2016).

**Figura 43 - Ranhura contínua (a), descontínua (b) e furação (c)**

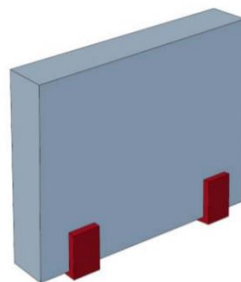


Fonte: Adaptado de Sousa, 2010.

**a) Fixações simples:**

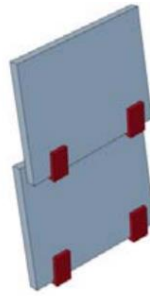
As fixações realizadas a partir de grampos são realizadas a partir de peças metálicas que usualmente são aparentes sobre o revestimento, porém existem versões que os deixam ocultos. Este tipo de ancoragem pode funcionar no modelo de juntas paralelas (Figura 44), ou também no de juntas sobrepostas (Figura 45), também conhecido por “escama”. Pode ser utilizada tanto para revestimentos leves quanto pesados, porém no caso de revestimentos pesados devem ser realizadas análises adicionais (SOUSA, 2010). Sobre o grampo, no qual é posicionado o revestimento, cabe destacar que tem a responsabilidade de suportar o seu peso próprio e também de travar a peça horizontalmente perante solicitações provenientes do vento, nesse sentido, conforme Sousa et al. (2016), no dimensionamento do sistema deve ser considerada a resistência do grampo e também sua resistência a cargas verticais.

**Figura 44 - Fixação simples com grampos nos bordos**



Fonte: Sousa, 2010.

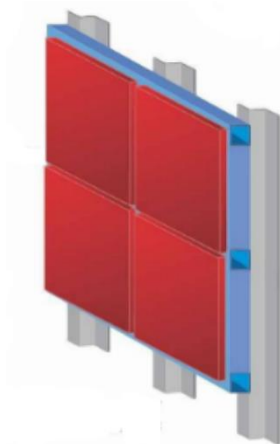
**Figura 45 - Fixação simples com grampos e sobreposição de juntas**



Fonte: Sousa, 2010.

A fixação também pode ocorrer por meio da colagem do tardo sobre a subestrutura de fixação, conforme representado na Figura 46. A desvantagem apresentada por essa modalidade de ancoragem se dá na substituição das peças que é dificultada, exigindo a quebra do elemento de revestimento.

**Figura 46 - Fixação simples com colagem do tardo**



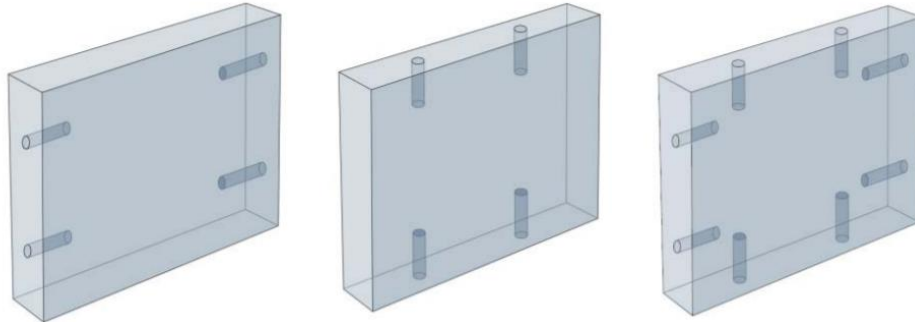
Fonte: Araújo, 2018.

#### **b) Fixações com furação:**

As furações destinam-se a fixação pontual e, assim como as ranhuras contínuas e descontínuas, podem se localizar nos bordos ou no tardo da peça. Na Figura 47 estão representadas as furações nos bordos dos elementos de revestimento, enquanto na Figura 48 é apresentado um exemplo de revestimento com furações no tardo para a ocorrência de sua ancoragem. Nesses casos ilustrados a fixação se dá por meio de parafusos ou cavilhas, isto é, o elemento não atravessa a peça, mas sim se encaixa nela. Sousa (2016) destaca que nessa família

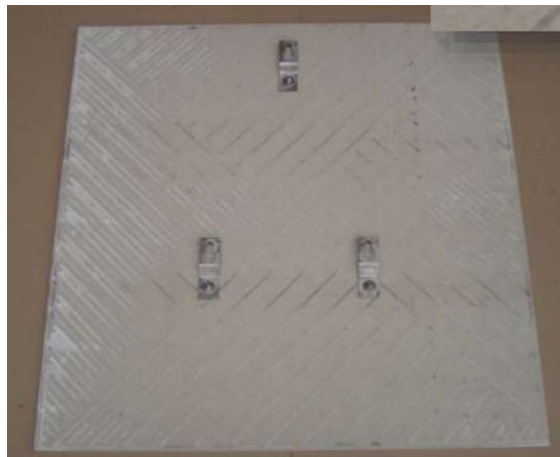
de fixações é importante verificar as resistências ao arrancamento do revestimento, ao corte e a ação combinada entre arrancamento e corte.

**Figura 47 - Fixação com furações nos bordos**



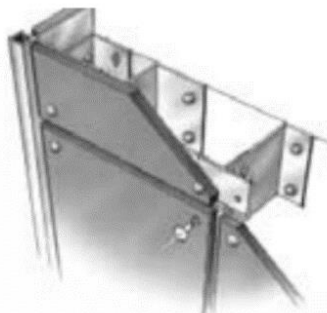
Fonte: Sousa, 2010.

**Figura 48 - Fixação com furações no tardo**



Fonte: Manetti, 2015.

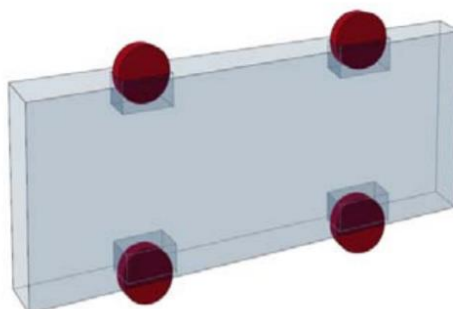
No que diz respeito à fixação por furações, ela também pode ocorrer através de rebites, conforme apresentado na Figura 49. Neste caso o furo atravessa a peça inteira e, o elemento de fixação consegue ter acesso a ambos os lados do elemento de revestimento e da estrutura na qual ele será fixado, realizando a ancoragem a partir do aperto entre esses (SOUSA, 2010).

**Figura 49 - Fixação com rebites**

Fonte: Sousa, 2010.

**c) Fixações com ranhuras descontínuas:**

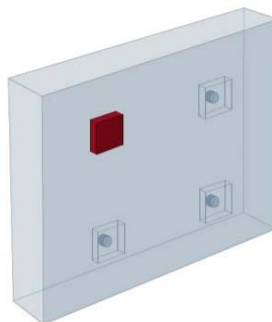
Já foi pontuado que as ancoragens podem se dar nos bordos ou no tardo, da mesma forma ocorre nos sistemas com ranhuras descontínuas. As ranhuras descontínuas podem se situar nos bordos, conforme exemplificado na Figura 50, ou no tardo, representado na Figura 51. É importante destacar que embora na Figura 50 se esteja utilizando discos para a fixação do revestimento, existem outros elementos de ancoragem que são adequados a essa geometria. Os discos são ancoragens pontuais assim como as cavilhas, semelhantes a parafusos com discos na extremidade. Sousa (2010) defende que o diferencial da ancoragem através de discos é um incremento na resistência a esforços de vento e sismos, sendo aplicável a revestimentos com peso próprio mais elevado.

**Figura 50 - Fixação com ranhuras descontínuas nos bordos e discos**

Fonte: Sousa, 2010.



**Figura 51 - Fixação com ranhuras descontínuas no tardo**

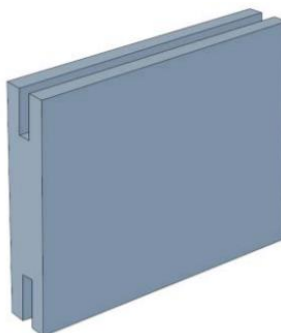


Fonte: Sousa, 2010.

**d) Fixações com ranhuras contínuas:**

Assim como as outras formatações de ancoragens, as ranhuras contínuas podem se situar nos bordos (Figura 52 e Figura 54) ou no tardo (Figura 53) do revestimento. As ranhuras contínuas acompanham o revestimento em toda a sua extensão e permitem a ancoragem de elementos de revestimentos pesados, contanto que tenham espessura o suficiente para que seja executado um entalhe que permita o seu encaixe na estrutura de fixação (SOUSA, 2010). É importante destacar que no caso da ancoragem pelos bordos a estrutura fica aparente, conforme ilustrado na Figura 54. Sousa et al. (2016) destaca que os entalhes nas peças devem apresentar resistência o suficiente que garanta a segurança estrutural da ancoragem entre a peça e o elemento de fixação.

**Figura 52 - Fixação com ranhuras contínuas nos bordos do revestimento**

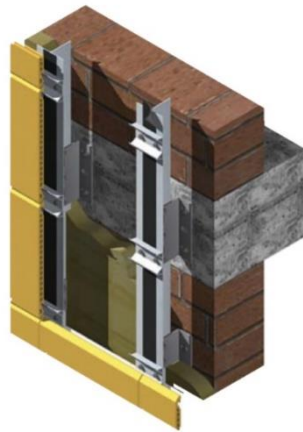


Fonte: Sousa, 2010.

De acordo com Siqueira Júnior (2003), a estrutura necessária para se executar o acoplamento do elemento de revestimento com ranhuras contínuas em seu tardo consiste em uma subestrutura composta por montantes verticais, guias horizontais e ganchos, nos quais o

revestimento será encaixado. O autor ainda esclarece que os ganchos são fixados nas guias horizontais por meio de parafusos e porcas resistentes a corrosão, dessa forma ocorrendo o travamento do sistema.

**Figura 53 - Fixação com ranhuras contínuas no tardo**



Fonte: Favegrup, 2019.

**Figura 54 - Fixação linear e revestimento com ranhuras contínuas nos bordos**



Fonte: Fundermax, 2018.

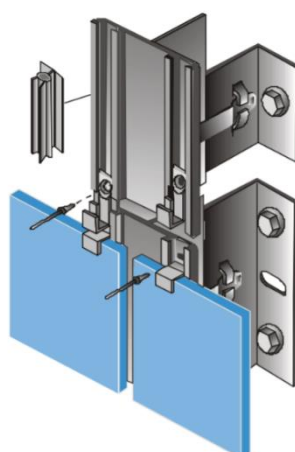
### 2.13 Esforços atuantes

Para a garantia da segurança estrutural da fachada ventilada, ela deve ser projetada e de modo que os esforços atuantes durante a construção e a utilização não ocasionem o colapso total do sistema, nem a queda pontual de elementos do revestimento. Dentre as solicitações existentes no sistema, as mais relevantes são o peso próprio, a ação dos sismos, a ação do vento e o comportamento higrotérmico dos materiais. Além das solicitações provenientes do uso e

manutenção do edifício, deve-se considerar os choques acidentais de pessoas e objetos, que são avaliados por meio de ensaios de impacto de corpo mole e de corpo duro respectivamente. O sistema deve oferecer segurança aos usuários, dessa forma o efeito de impactos não pode ocasionar qualquer tipo de lesão às pessoas (SOUSA et al., 2016).

Já foi explicado no corpo do trabalho de que forma é feita a ancoragem das peças de revestimento com o uso de grampos, porém na Figura 55 visualiza-se de forma detalhada o encaixe entre os grampos e a estrutura auxiliar, que é um sistema que se adequa a diversos tipos de revestimento, especialmente os pétreos. No que toca a propagação de esforços nessa conformação de revestimento, Siqueira Júnior (2003) propõe uma analogia em que os cliques superiores são denominados dispositivos retentores, que evitam o tombamento da peça, enquanto os cliques inferiores são dispositivos sustentadores, que suportam o peso próprio e esforços verticais do revestimento.

**Figura 55 - Sistema de acoplamento visível a partir de grampos**



Fonte: Siqueira Júnior, 2003.

### 2.13.1 Peso Próprio

Por conta da gravidade, o peso próprio vem a ser um esforço vertical para baixo proporcional a massa de um elemento multiplicada pela aceleração gravitacional. No entanto, para se verificar qual o esforço ocasionado pelo peso próprio de peças de revestimento, de acordo com Sousa (2010), deve-se analisar a porosidade do material utilizado, uma vez que se a sua porosidade for aberta, no momento do dimensionamento o peso próprio a ser considerado deve ser o da peça saturada. Para isso, Camposinhos (2009) citado por Sousa (2010), coloca que deve ser utilizada a equação 1:

$$\gamma_{\text{sat}} = \gamma_{\text{d}} \times (1 - n) + n \times \gamma_{\text{w}} \quad (1)$$

em que:

$\gamma_{\text{sat}}$  – peso próprio saturado;

$\gamma_{\text{d}}$  – peso específico seco do material;

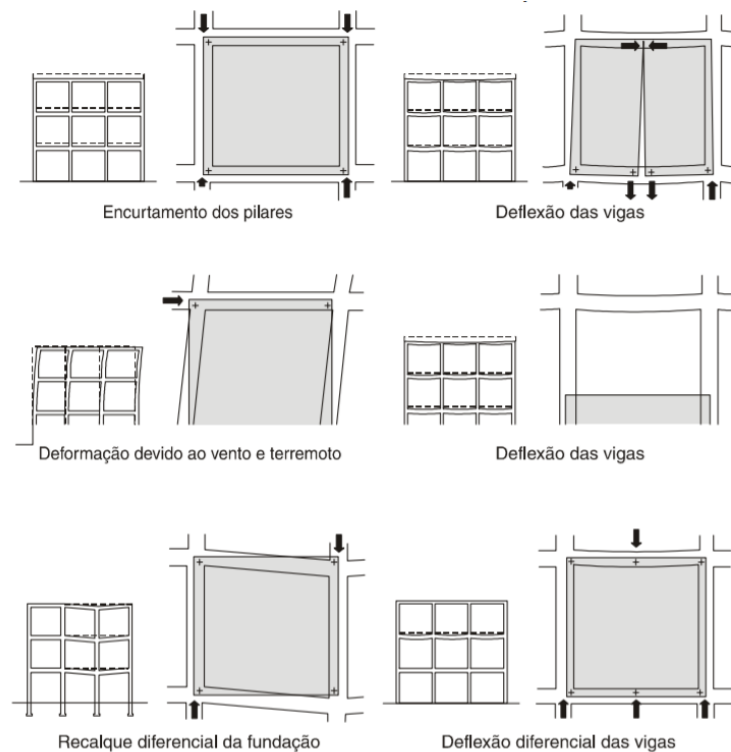
$n$  – porosidade aberta do material;

$\gamma_{\text{w}}$  – peso específico da água.

### 2.13.2 Movimentações Estruturais

Segundo Allen (1990) citado por Siqueira Júnior (2003), as movimentações devidas à fluência do concreto (deformação lenta das estruturas), assim como recalques diferenciais na fundação, geram um empuxo lateral, que é transmitido ao revestimento da fachada. Na Figura 56 é possível observar graficamente o impacto das deformações estruturais de edificações sobre as fachadas. Este tipo de esforços é ainda mais significativo no caso de ancoragens pontuais, pois os esforços provenientes da base são diretamente transmitidos a elas.

**Figura 56 - Movimentos estruturais na fachada**



Fonte: Siqueira Junior, 2003.

### 2.13.3 Cargas acidentais

Além das solicitações provenientes do peso próprio, do vento, das movimentações estruturais do empreendimento, da dilatação térmica da subestrutura, também cabe pontuar as cargas ditas acidentais. Estas cargas são mensuradas através de ensaios de impacto de corpo mole e corpo duro; no Quadro 6 verifica-se o desempenho esperado em termos de resistência para diferentes zonas da fachada com revestimento não aderido.

**Quadro 6 - Definição de categorias de uso para determinadas ações de impacto**

<b>Categoria de uso</b>	<b>Energias de impacto</b>	<b>Descrição dos locais</b>
I	Corpo duro: 3 a 10 Joule Corpo Mole: 60 a 400 Joule	Zona ao nível do solo de fácil acesso para as pessoas e vulnerável ao impacto de corpo duro, sem estar, contudo, sujeito ao uso anormalmente agressivo.
II	Corpo duro: 3 a 10 Joule Corpo Mole: 60 a 300 Joule	Zona passível de impactos de objetos arremessados ou pontapeados, em locais públicos onde a altura do revestimento limita a dimensão do impacto, ou em níveis mais baixos onde o acesso ao edifício é essencialmente para pessoas incentivadas ao uso cuidado.
III	Corpo duro: 3 Joule Corpo Mole: 10 Joule	Zona não provável de ser danificada por impactos normais causados por pessoas ou por objetos arremessados ou pontapeados.
IV	Corpo duro: 1 Joule Corpo Mole: 10 Joule	Zona fora de alcance do nível do solo

Fonte: Adaptado de Sousa et al, 2016.

### 2.13.4 Vento

O vento dificilmente ocasiona problemas para construções robustas e pesadas, a sua ação é especialmente relevante para construções esbeltas e com materiais mais leves, cabendo destacar que, de modo geral, nos dias de hoje, as paredes são construídas com a finalidade de vedação, sem dimensionamento para o recebimento de esforços. Blessmann (2001) destaca que o estudo racional do vento permite se chegar a formas estruturais mais econômicas, reduzindo-se os esforços estáticos do vento.

De acordo com reportagem do portal G1 (2016), em janeiro de 2016 a cidade de Porto Alegre foi atingida por um temporal que derrubou parte do telhado de dois shoppings, de postos de combustíveis, destelhou residências, derrubou árvores e arrancou revestimentos não aderidos de edifícios. A notícia destaca que os ventos chegaram à velocidade de 119,50 km/h. Nesse contexto, verifica-se a importância dessas estruturas estarem devidamente dimensionadas para estes esforços.

Os parâmetros para a determinação dos esforços de vento são estabelecidos na NBR 6123:1998, que trata sobre as forças devido ao vento em edificações. Inicialmente, conforme definições constantes na referida norma, cabe-se fazer a diferenciação entre alguns conceitos básicos. A face a barlavento em relação a edificação é aquela que recebe o vento, já a sotavento é a oposta àquela de onde o vento é soprado. Além disso, é importante distinguir sucção de sobrepressão; a sucção apresenta sinal negativo, isto é, representa uma pressão inferior a pressão atmosférica de referência e, gera um esforço representado por um vetor que “sai” da edificação; já a sobrepressão é uma pressão efetiva de sinal positivo, com módulo superior a pressão atmosférica, que resulta em um esforço representado por um vetor que “chega” à edificação.

De acordo com a NBR 6123:1988, deve-se efetuar o cálculo das forças devidas ao vento de forma separada para as vedações e suas respectivas fixações (vidros, telhas, esquadrias e etc), para partes da estrutura (telhado, paredes) e para a estrutura de modo geral. Para se determinar as forças provenientes do vento, deve se seguir o seguinte passo-a-passo, conforme consta na referida norma:

- a) Inicialmente se determina  $V_0$  (Velocidade básica do vento) da localidade onde será construído o empreendimento;
- b) Na sequência multiplica-se  $V_0$  pelos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , para a obtenção da velocidade característica do vento conforme a equação 2:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2)$$

- c) Com a velocidade característica determina-se a pressão dinâmica do vento a partir da equação 3, sendo que a pressão  $q$  resultante será dada em  $n/m^2$ , e a velocidade característica inserida deve estar em  $m/s$ :

$$q = 0,613 \cdot V_k^2 \quad (3)$$

Existem coeficientes que interferem no dimensionamento das estruturas para suportar as ações do vento, sendo estes os coeficientes de pressão e de forma, e os fatores S1, S2 e S3. Todos estes itens serão descritos na sequência, com base nos preceitos estabelecidos pela NBR 6123:1988.

### 1) Coeficientes de pressão

De acordo com a NBR 6123:1988, como o vento ocorre por conta da diferença de pressão entre dois pontos, a força do vento depende da diferença entre as pressões de faces opostas da edificação. Os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas e internas e, o cálculo da diferença de pressão é realizado conforme a equação 4.

$$\Delta = (C_{pe} - C_{pi}) \cdot q \quad (4)$$

$C_{pe}$  = Coeficiente de pressão externa =  $\Delta p_e / q$

$C_{pi}$  = Coeficiente de pressão interna =  $\Delta p_i / q$

### 2) Coeficientes de forma

Conforme já foi visto, a forma da edificação influi nos esforços de vento sobre ela. A força do vento sobre uma superfície (com área A) de fachada de uma edificação atua em direção perpendicular a ela, sendo calculada pela equação 5, observando-se que valores positivos correspondem a sobrepessões, enquanto os negativos a sucções:

$$F = (C_e - C_i) \cdot q \cdot A \quad (5)$$

$C_e$  = Coeficiente de forma externo =  $F_e / (q \cdot A)$

$C_i$  = Coeficiente de forma interno =  $F_i / (q \cdot A)$

### 3) Coeficientes de força

Calcula-se a força global do vento sobre uma edificação ou parte dela,  $F_g$ , a partir da soma vetorial das forças do vento atuantes. A componente global da força de arrasto  $F_a$  é obtida pela equação 6:

$$F_a = C_a \cdot q \cdot A_e \quad (6)$$

$C_a$  = coeficiente de arrasto

$A_e$  = área efetiva total

Uma componente qualquer da força global pode ser calculada pela equação 7:

$$F = C_f \cdot q \cdot A \quad (7)$$

$C_f$  = coeficiente de força especificado em cada caso

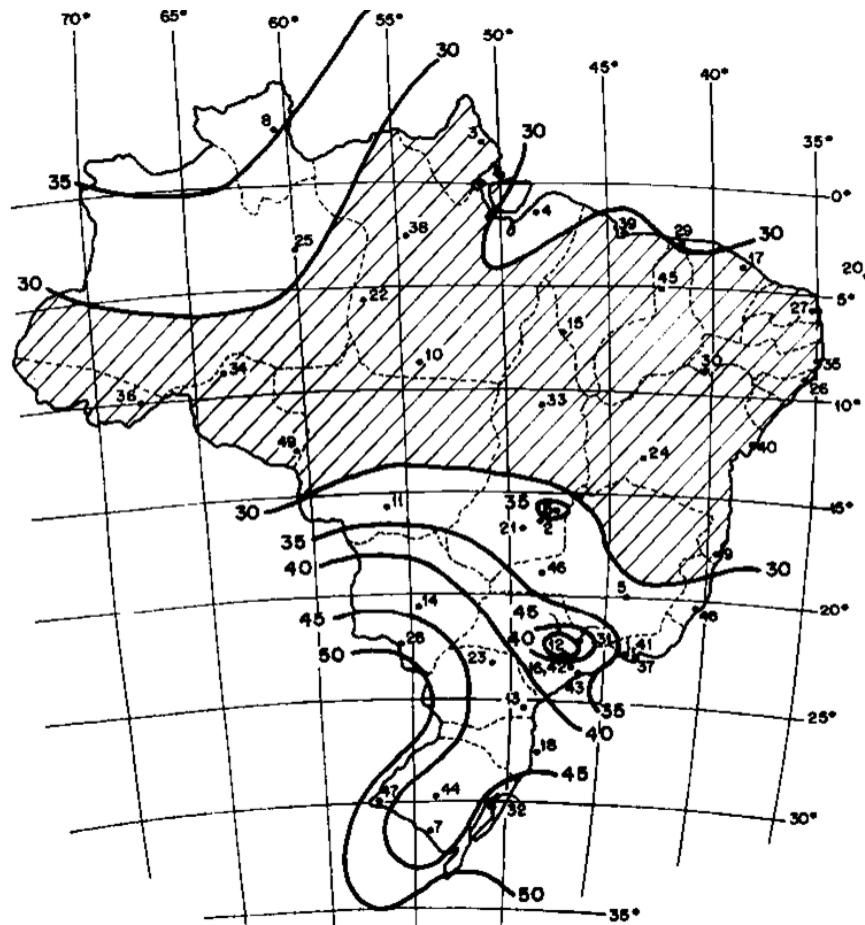
$A$  = área de referência, especificada em cada caso

#### **4) Velocidade básica do vento**

A velocidade básica do vento  $V_0$  é um parâmetro que representa a velocidade de uma rajada de 3 segundos, ocorrida a 10m acima do terreno, cujo valor é excedido em média uma vez a cada 50 anos, em campo plano e aberto. Esse parâmetro pode ser obtido no mapa de isopletras na Figura 57:



**Figura 57 - Isopletas da velocidade básica  $V_0$  (m/s)**



Fonte: NBR 6123:1988.

### 5) Fator topográfico S1

Este fator considera as variações topográficas do relevo do terreno; para terrenos planos ou fracamente acidentados o valor de S1 corresponde a 1,0, que é o mais usual, para vales profundos e protegidos do vento o coeficiente é de 0,9. Para taludes e morros a norma estabelece o valor de S1 a partir de fórmulas específicas.

### 6) Fator de rugosidade do terreno S2

A NBR 6123:1988 classifica os terrenos em 5 categorias quanto a sua rugosidade. A categoria I representa superfícies lisas de grandes dimensões (mais de 5 km de extensão), a II terrenos em nível com poucos obstáculos isolados, com cota média dos obstáculos menor ou igual a um metro, a III terrenos planos ou ondulados com obstáculos de cota igual a três metros, a IV terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados (cidades pequenas e arredores),

com cota média do topo dos obstáculos de dez metros e, por fim, a categoria V, que representa terrenos com numerosos obstáculos, pouco espaçados, com cota igual ou superior a vinte e cinco metros.

Para a definição desse parâmetro, também são levadas em conta as dimensões da edificação. De acordo com a NBR 6123:1988, para que se defina que porções da edificação serão consideradas para a determinação das ações de vento, deve-se levar em conta juntas que separem a estrutura em partes independentes e, também deve-se analisar a rigidez e capacidade de redistribuição de cargas. Quanto às dimensões, na NBR 6123:1988 constam três classes de edificações, “Classe A: toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m. Classe B: a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal está entre 20 m e 50 m. Classe C: a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal excede 50 m.”. Utiliza-se o fator S2 no cálculo da velocidade do vento para uma altura z acima do nível do terreno através da equação 8:

$$S_2 = b Fr \quad (8)$$

Fr = Fator de rajada correspondente à categoria I.

Para a determinação do valor de S2, são utilizadas os Quadro 1 e Quadro 8 a seguir:

**Quadro 7 - Parâmetros meteorológicos**

Categoria	Zg (m)	Parâmetro	CLASSES		
			A	B	C
I	250	b	1,1	1,11	1,12
		p	0,06	0,065	0,07
II	300	b	1,00	1,00	1,00
		Fr	1,00	0,98	0,95
		p	0,085	0,09	0,10
III	350	b	0,94	0,94	0,93
		p	0,10	0,105	0,115
IV	420	b	0,86	0,85	0,84
		p	0,12	0,125	0,135
V	500	b	0,74	0,73	0,71
		p	0,15	0,16	0,175

Fonte: Adaptado de NBR 6123:1988.

Para os elementos de vedação, a NBR 6123:1988 recomenda que se utilize o fator S2 com cota z igual ao topo da edificação. Esta convenção se baseia no pressuposto de que existe

um incremento na pressão dinâmica na parte inferior da edificação porque na fachada de barlavento e nas fachadas laterais o vento é defletido para baixo.

**Quadro 8 - Fator de rugosidade do terreno S2**

Z (m)	CATEGORIA														
	I			II			III			IV			V		
	CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE			CLASSE		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,92	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,3	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: Adaptado de NBR 6123:1988.

## 7) Fator Estatístico S3

O fator estatístico S3 se baseia em conceitos estatísticos, considerando o grau de segurança necessário ao empreendimento, assim como a vida útil da edificação. A NBR 6123:1988 considera que a probabilidade de que se atinja ou supere a velocidade  $V_0$  neste

período é de 63%, para imóveis com destinação residencial, hotéis e escritórios. Na falta de indicações em outras normas específicas, pode-se consultar o Quadro 9 a seguir para obtenção do fator S3.

**Quadro 9 - Fator estatístico S3**

<b>Grupo</b>	<b>Descrição</b>	<b>S3</b>
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação, etc).	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto teor de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo teor de ocupação (depósitos, silos, construções rurais, etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.).	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a	0,83

Fonte: Adaptado de NBR 6123:1988.

## **2.14 Norma de desempenho NBR 15.575-4:2013**

A norma de desempenho 15.575:2013, parte 4, trata sobre os requisitos exigidos aos sistemas de vedações verticais internas e externas. Nesta seção serão destacados pontos constantes na referida norma que são relevantes ao tema do presente trabalho, que tratem sobre a interação entre ancoragens e substrato de vedação. Quanto ao desempenho estrutural do sistema de vedação, a norma estabelece que este deve manter sua integridade perante as possíveis solicitações que venha a receber ao longo de sua vida útil. Os critérios utilizados para avaliar esse quesito referem-se a deslocamentos horizontais, descolamentos e fissuração. No capítulo sete da NBR 15.575-4:2013 constam os requisitos referentes a estabilidade dos sistemas internos e externos de vedação; em virtude de a pesquisa ser centralizada em fachadas, serão retiradas da norma as informações tocantes às vedações externas.

A NBR 15.575-4:2013 dispõe que os sistemas de vedações verticais externas devem ser verificados em termos de cargas laterais uniformemente distribuídas, no intuito de simular o carregamento proveniente do vento; para efeitos de ensaio, deve-se utilizar a solicitação  $S_{wk}$  e

( $\gamma_w$ ), devendo o corpo de prova ser um trecho representativo da parede, incluindo fixações e vinculações entre componentes, sendo o nível de desempenho mínimo para aceitação é denominado “M” pela norma. O Quadro 10 apresenta os níveis de desempenho que as paredes de fachadas devem apresentar quando solicitadas horizontalmente. A versão desta tabela na íntegra consta na NBR 15.575-4:2013; para fins da presente pesquisa incluiu-se somente a linha que apresenta as solicitações e critérios para análise de cargas horizontais em paredes de vedação externa.

**Quadro 10 - Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos horizontais e ocorrência de falhas sob a ação de cargas horizontais de serviço**

ELEMENTO	SOLICITAÇÃO	CRITÉRIO
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);
<p><sup>b</sup> Para paredes de fachadas leves (<math>G \leq 60 \text{ kgf/m}^2</math>), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo (<math>d_h</math>) podem atingir o dobro dos indicados nesta tabela.</p> <p><math>h</math> é a altura do elemento da 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 devido a cargas permanentes</p> <p><math>S_{wk}</math> é o valor característico da solicitação devida ao vento</p> <p>Estes limites aplicam-se a SVVE destinados a edificações de até 5 pavimentos</p>		

Fonte: Adaptado de NBR 15575-4:2013.

Além do vento, a NBR 15.575-4:2013 normatiza a forma de avaliação de desempenho dos substratos em relação a cargas suspensas fixadas por meio de ancoragens. Embora não cite

especificamente a aplicação dessa análise para fachadas ventiladas (não existe no presente momento uma norma que avalie o desempenho do sistema no Brasil) pode-se fazer uma aproximação com o que dispõe sobre o desempenho em função da carga para dispositivos de fixação do tipo mão francesa. Observa-se que as cargas ocasionadas por peças suspensas não podem ocasionar fissuras nem deslocamentos horizontais na vedação, assim como não devem permitir o arrancamento dos elementos de fixação e nem o esmagamento do material do substrato (NBR 15.575-4, 2013). No Quadro 11 são demonstrados os valores e critérios de aceitação do desempenho da vedação na qual é fixada uma a mão francesa padrão, sob a ação de carga.

**Quadro 11 - Critérios e cargas de ensaio para peças suspensas fixadas por mão francesa**

Carga de ensaio aplicada em cada ponto (kN)	Carga de ensaio aplicada em cada pela, considerando dois pontos (kN)	Critérios de desempenho
0,4	0,8	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado limite de serviço; Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2500$
<p><b>Legenda</b></p> <p>h 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>		

Fonte: Adaptado de NBR 15575-4:2013.

Em síntese, o propósito dessa análise é poder especificar, para qualquer sistema de fixação, a sua carga máxima de projeto e de uso. Ao mesmo tempo, deve se observar no momento de realização dos ensaios as recomendações do fabricante em termos de distância entre os pontos de fixação (NBR 15.575-4, 2013). Outra aplicação dos critérios de desempenho de fixações pontuais na vedação apresentada na NBR 15.575-4: 2013 é o caso de redes de dormir, em que deve-se considerar uma carga de uso de 2 kN aplicada a um ângulo de 60° com a vedação, e esse carregamento não pode ocasionar o destacamento do dispositivo de fixação, ruptura do dispositivo e nenhum outro tipo de falha que prejudique a segurança do usuário.

Extrapolando as recomendações da norma, verifica-se que o sistema de fachadas ventiladas assemelha-se ao de mãos francesas por conta de ser fixado por chumbadores e provocar esforços na vedação; a carga aplicada sobre uma mão francesa é semelhante ao peso próprio do revestimento sobre a estrutura de fixação da fachada ventilada pois ambas geram um momento negativo uma vez que a carga é aplicada com determinada distância do apoio (engaste no substrato e livre na outra extremidade), portanto, nesta também deve-se atender a requisitos de segurança que garantam a não ocorrência de destacamento da fixação e a manutenção da integridade do substrato, sob a ação da carga do peso próprio. No caso das fachadas ventiladas deve-se considerar também os esforços de sucção e sobrepressão provenientes do vento, que se distribuem sobre a superfície do revestimento, podendo de forma simplificada, ser considerado como uma carga pontual aplicada no centroide de peça; essa carga gera tanto esforços de flexão na peça, como o arrancamento das ancoragens no caso da sucção. Dessa forma, o desempenho estrutural deve ser verificado também para essas solicitações.

### **3 METODOLOGIA**

Para o cumprimento dos objetivos estabelecidos na parte inicial do trabalho, foram realizados levantamentos de dados experimentais no laboratório da UNISC e *in loco* em empreendimentos de Porto Alegre e em Santa Cruz do sul. O empreendimento visitado em Porto Alegre encontrava-se em processo de execução de um sistema de fachada com revestimento não aderido de granito fixado com ancoragens pontuais adequadas a revestimentos pesados, concomitante a realização da pesquisa. Nesse sentido, experimentalmente, verificou-se a resistência oferecida por diferentes substratos ao arrancamento de chumbadores que podem funcionar como base para ancoragens de fachadas ventiladas e, também, foi feita a caracterização técnica de três tipos de granito para revestimento utilizados no empreendimento visitado, testando suas características de porosidade, resistência a flexão, impacto de corpo duro e o comportamento perante esforços de flexão e cisalhamento do conjunto ancoragem e granito. Além disso, na inspeção realizada na referida obra fez-se um levantamento fotográfico de pontos relevantes ao sistema, como por exemplo a interface entre substratos e ancoragens e entre esquadrias e fachada, para a posterior elaboração de uma análise sobre os principais pontos que devem ser previamente planejados.

#### **3.1 Caracterização da pesquisa**

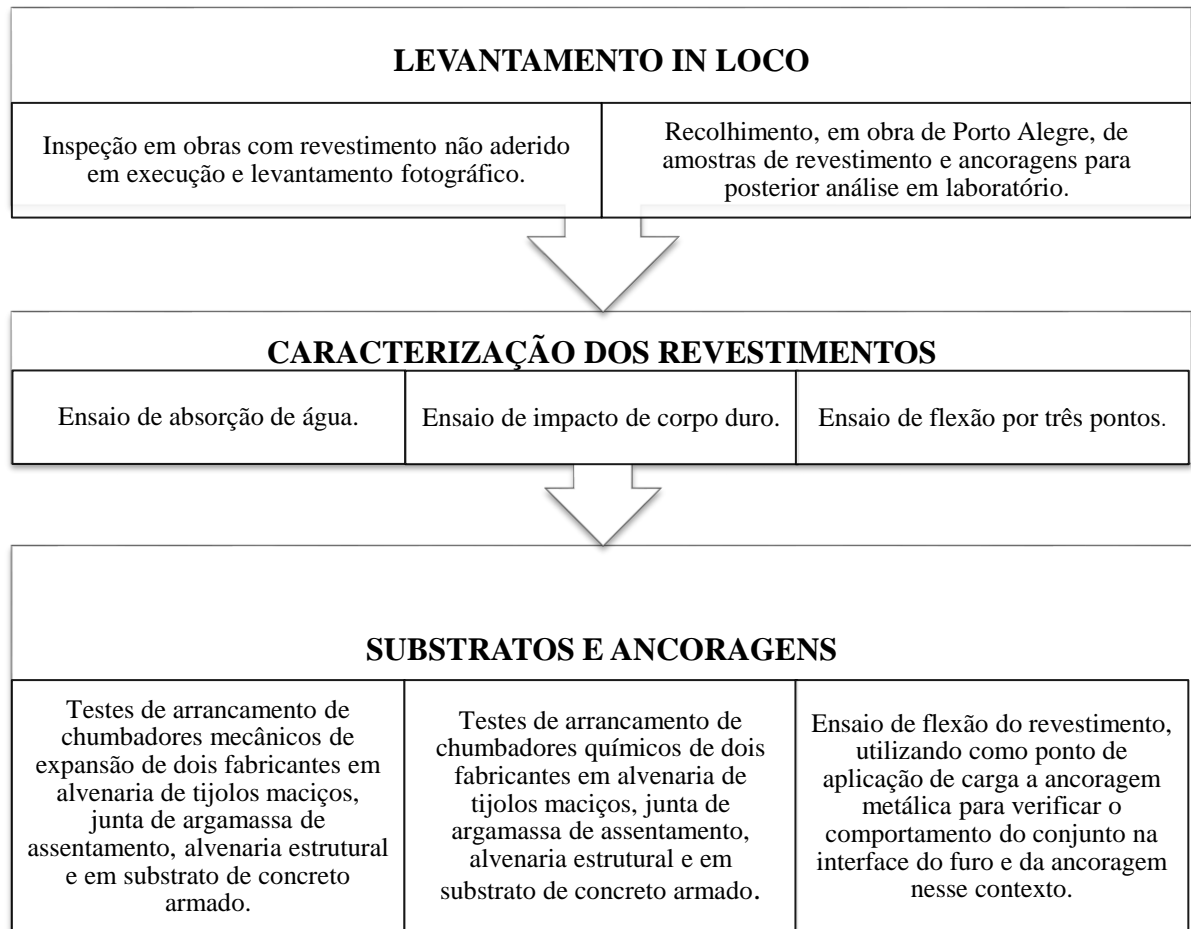
A pesquisa é do tipo explicativa, com levantamento de dados experimentais.

#### **3.2 Delineamento da pesquisa**

De modo geral, a pesquisa foi delineada de acordo com o fluxograma 1 apresentado a seguir, constando as três análises empíricas realizadas. Fizeram-se ensaios e levantamentos para caracterizar o comportamento de revestimentos não aderidos de rochas naturais e a interação entre a ancoragem e substrato, no contexto de um sistema de fachadas ventiladas.



### Fluxograma 1 – Delineamento das etapas do levantamento empírico



Fonte: Autora, 2019.

### 3.3. Delimitações

Foram utilizadas 5 placas com dimensões de 200mmx200mm de cada um dos três tipos de granito para o experimento de impacto de corpo duro, assim como para o ensaio de impacto de corpo duro simulando o revestimento não aderido, contabilizando 30 placas nesta etapa. Além disso, foram ensaiados 10 corpos de prova de cada um dos três tipos de granito, com dimensões de 50mmx50mm, para a obtenção dos índices físicos. Empregaram-se 30 corpos de prova com dimensões de 5mmx20mm para o ensaio de flexão por três pontos (10 de cada um dos três tipos de revestimento, sendo que 5 foram testados secos e 5 saturados) e mais 24 placas e dimensões 5mmx20mm (8 de cada tipo de revestimento) para a verificação do comportamento do conjunto ancoragem e revestimento à flexão, utilizando-se 12 ancoragens para esse ensaio; portanto, considerando que cada amostra ensaiada foi constituída por duas placas e uma ancoragem, realizaram-se 4 testes de flexão do conjunto para cada tipo de granito. Já no que

diz respeito aos ensaios de arrancamento dos chumbadores, analisaram-se 4 tipos de substratos, sendo estes alvenaria estrutural grauteada, concreto armado, alvenaria de tijolos maciços e a junta de argamassa de assentamento; o total da amostra de chumbadores foi de 80 unidades, dentre eles chumbadores químicos e mecânicos das marcas Âncora e Walsywa (em cada substrato foram fixados 20 chumbadores, 5 químicos de cada uma das marcas e 5 mecânicos de cada uma delas). Os chumbadores mecânicos analisados foram *parabolts* de diâmetro 5/16” e comprimento 3 ¼” de ambas as marcas, já químicos testados foram o QPO 300 e o WQI 44 Plus (que fixaram hastes roscadas com diâmetro de 5/16”).

### **3.4. Técnicas e instrumentos de coleta de dados**

Na presente seção do trabalho serão descritos os procedimentos para a realização dos ensaios e para a posterior tabulação e análises dos dados levantados.

#### **3.4.1 Caracterização do revestimento**

Os revestimentos caracterizados tecnicamente neste trabalho são rochas de origem natural. Foram ensaiados três tipos de granito, que são enquadrados como rochas naturais ígneas intrusivas e, enquanto revestimento não aderido, são do tipo pesado. Verificaram-se as suas características de porosidade e absorção, pois esses índices influenciam diretamente no peso específico do revestimento e por consequência no dimensionamento das ancoragens. Além disso, a resistência ao impacto de corpo duro do revestimento também foi testada, pois embora o foco da pesquisa seja a sua ancoragem, é imprescindível que o próprio apresente resistência ao impacto de corpo duro, para que o conjunto mantenha sua integridade perante cargas acidentais. E, por fim, foi ensaiado à flexão o conjunto placa de granito previamente furada nos bordos e ancoragens pontuais, a fim de verificar se ele falhará no revestimento ou na ancoragem, qual a tensão última a que o conjunto pode ser submetido e comparar com a solicitação máxima proveniente do vento.

##### **a) Ensaio de absorção de água**

A determinação de índices físicos como a densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água de revestimentos rochosos é padronizada pela NBR 15845-2:2015, que serviu de referência para o procedimento utilizado na execução destes ensaios. Conforme recomenda

a norma, foram caracterizados 10 corpos de prova de cada um dos dois materiais de revestimento ensaiados, com dimensões de 50mmx50mm, com relação de base e altura 1:1.

Para a realização do ensaio, foram necessários os seguintes materiais:

- I. Estufa;
- II. Balança com precisão de 0,01g, que permitisse pesagens hidrostáticas;
- III. Bandejas não oxidáveis, com dimensões suficientes para o acondicionamento dos corpos de prova;

Inicialmente os corpos de prova foram lavados em água corrente e escovados com escova de cerdas macias. Os corpos de prova foram dispostos nas bandejas e então preencheram-se elas com água até cerca de 1/3 da altura dos corpos de prova, conforme visualiza-se na Figura 58 - Corpos de prova submersos até 1/3 da sua altura. Depois de 4 horas submersos, completou-se a submersão, conforme ilustrado na Figura 59, sendo que os corpos de prova permaneceram na água por mais quarenta horas.

**Figura 58 - Corpos de prova submersos até 1/3 da sua altura**



Fonte: autora, 2019.

**Figura 59 - Corpos de prova com a submersão completa**



Fonte: autora, 2019.

Concluída essa etapa, os corpos de prova foram pesados submersos em água e obtve-se a sua massa submersa. O procedimento para a obtenção da massa submersa exige uma balança hidrostática, conforme visualiza-se na Figura 60.

**Figura 60 - Processo de pesagem submersa dos corpos de prova através da balança hidrostática**



Fonte: autora, 2019.

Depois dessa etapa, retiraram-se da água os corpos de prova, enxugando-os e novamente efetuando pesagens, desta vez aferindo-se as suas massas saturadas. Na Figura 61 se observa o referido procedimento efetuado para cada um dos três tipos de granito analisados.

**Figura 61- Pesagem dos corpos de prova saturados**

Fonte: autora, 2019.

Na sequência, os corpos de prova foram colocados na estufa (Figura 62), até que se atingisse a massa constante, obtendo-se, portanto, a massa seca. Os corpos de prova ficaram 60 horas na estufa a 70°C, atingindo-se a constância da massa (diferença de massa inferior a 0,1% entre pesagens intervaladas em 2 h entre si, após 24 horas de secagem, conforme recomenda a norma). Na Figura 63 são apresentados os corpos de prova após o processo de secagem.

**Figura 62 - Secagem dos corpos de prova em estufa**

Fonte: autora, 2019.

**Figura 63 - Corpos de prova secos**

Fonte: autora, 2019.

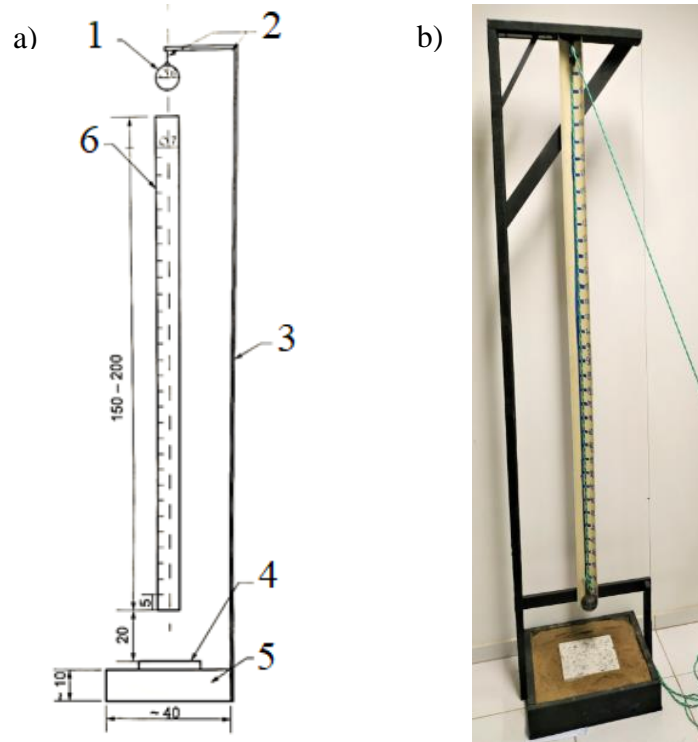
### **b) Impacto de corpo duro**

O ensaio da determinação da resistência ao impacto de corpo duro é normatizado pela NBR 15845-8:2015, refere-se à parte 8 da norma de rochas para revestimento. O procedimento realizado nesta etapa será descrito conforme dispõe a referida norma.

Conforme consta na norma, os corpos de prova devem ser quadrados, com dimensões de 200mm x 200mm, sendo que devem ser cortadas placas que estejam com o acabamento e espessura final de uso. O número mínimo de corpos de prova exigido é cinco, portanto, foram testadas 5 amostras de três tipos de granito, com as dimensões mencionadas. Para a realização do ensaio, foram necessários os seguintes materiais:

- I. Nível de bolha;
- II. Paquímetro com curso de no mínimo 200 mm e resolução igual ou inferior a 0,05 mm;
- III. Esfera de aço de 0,06 m de diâmetro e massa de 1kg;
- IV. Areia normal média conforme ABNT NBR 7214 ou equivalente;
- V. Dispositivo representado e executado conforme Figura 64.

**Figura 64 –Aparelho para o ensaio de impacto de corpo duro em revestimentos conforme dimensões NBR 15845-8:2015 (a) e configuração dele desenvolvido em consonância com essas diretrizes (b)**



Adaptado de NBR 15845-8:2015.

Fonte: autora, 2019.

**Legenda:**

1 – Esfera de aço de 1 quilograma, podendo apresentar desvio padrão  $1000 \pm 10g$ , com 6cm de diâmetro;

2 – Roldana;

3 – Estrutura de suporte da esfera;

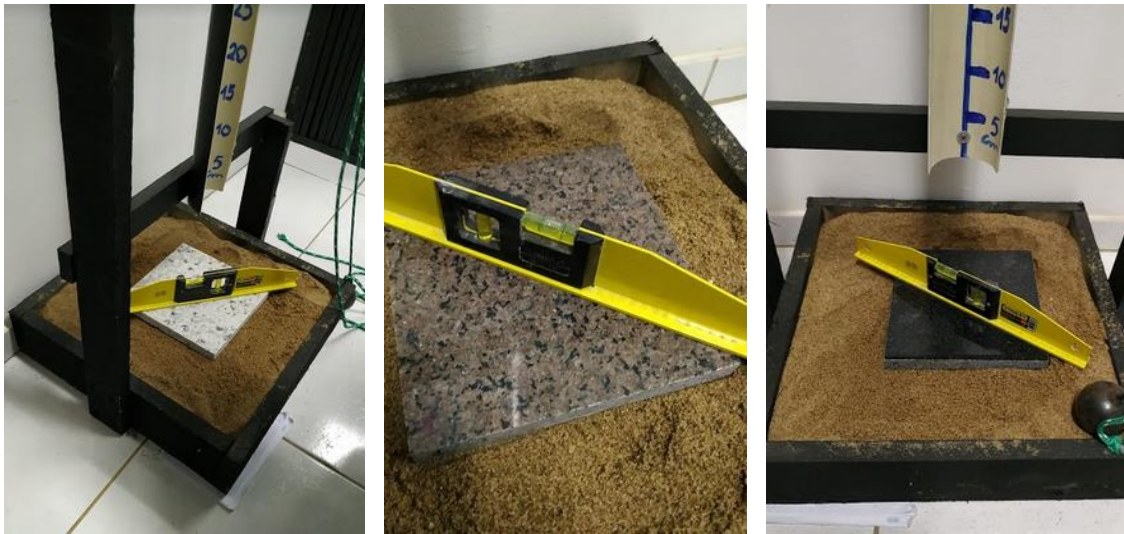
4 – Corpo de prova;

5 – Caixa quadrada preenchida com areia, com arestas de dimensões aproximadamente de 40cm e altura de 10 cm, formando um colchão de areia para o revestimento. A areia deverá ser normal média conforme ABNT NBR 7214 ou equivalente;

6 – Guia com dimensões de  $7 (\pm 0,5)$  cm de largura, altura entre 150cm e 200cm, para a afiação de uma escala externa, com medidas de 5cm em 5cm.

De acordo com a NBR 15845-8:2015, o ensaio consiste em três etapas. Inicialmente se assenta o corpo de prova no colchão de areia de forma centralizada, com o tarso para baixo; depois disso, se nivela o corpo de prova com nível de bolha, até que se atinja o máximo de perfeição possível, conforme a Figura 65.

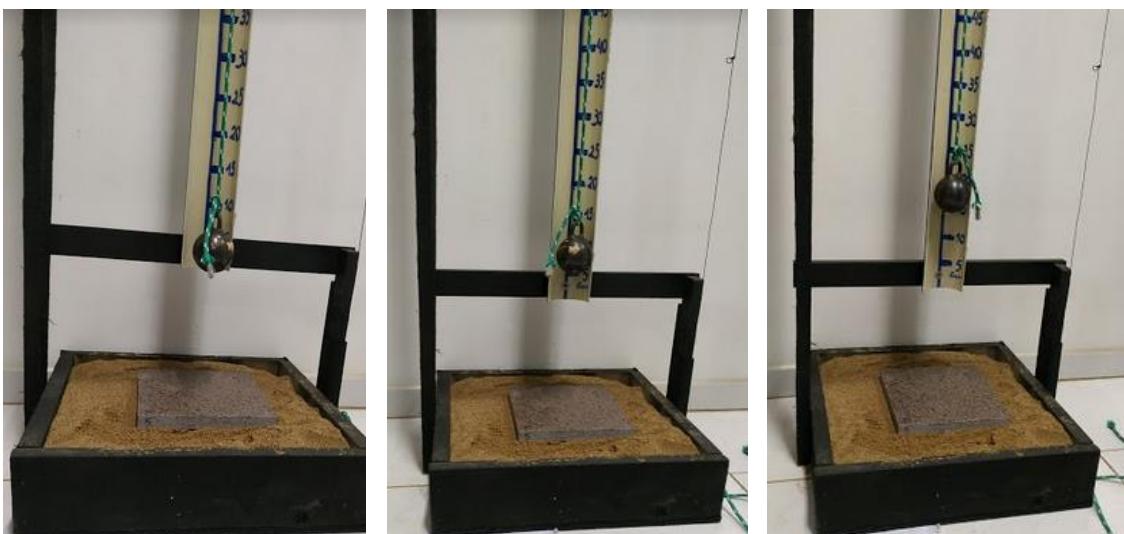
**Figura 65 - Verificação do nível da placa assentada sobre o colchão de areia para a execução do ensaio de impacto de corpo duro**



Fonte: autora, 2019.

Feito isso é iniciado o ensaio de impacto de corpo duro; alça-se a esfera de aço até a altura de 20cm, medida entre a face da placa e o centro da esfera, e se abandona ela em queda livre. O procedimento é repetido, aumentando a altura da queda de 5 em 5 centímetros, conforme Figura 66, até que ocorra a fissuração e ruptura da placa, observando-se que as alturas em que ocorrer esses fenômenos serão anotadas.

**Figura 66 - Alçamento da esfera na altura inicial de 20 cm em relação ao revestimento e posterior aumento progressivo da altura de queda de 5 em 5 cm**



Fonte: autora, 2019.



O procedimento elucidado anteriormente, que foi devidamente realizado, possui normatização para a sua execução e análise e, a partir dele, verifica-se a resistência ao impacto de corpo duro do revestimento em si. No entanto, o presente trabalho trouxe o questionamento de que se o contexto de aplicação do revestimento interfere no seu desempenho quanto ao impacto de corpo duro. Isto é, buscou-se verificar se fixar ele de forma aderida ou não interfere no seu comportamento perante esse tipo de carga acidental. Cogitou-se que a areia, no ensaio padronizado, pode atuar como um amortecedor do impacto. Tendo isso em vista, elaborou-se um dispositivo para a realização desse mesmo ensaio de corpo duro, mas sob a condição apoiada, com uma chapa metálica na qual foram soldados apoios metálicos. Os apoios possuíram 3,00 cm de altura e, sobre eles, utilizou-se uma fita dupla face colada somente no apoio, para evitar que o revestimento escorregasse e para melhorar o assentamento e nivelamento do revestimento sobre os apoios.

De modo geral, o procedimento adotado foi similar ao estabelecido pela norma. O revestimento foi posicionado sobre os apoios de forma que a face polida dele se situasse na mesma altura que quando assentado sobre a areia, para que a queda inicial também fosse de 20cm. Nesse ensaio também foram testadas 5 amostras com dimensões de 200mm x 200mm de cada um dos três tipos de granito. Posteriormente, a esfera de 1kg foi alçada em alturas, de 5 em 5cm, progressivamente maiores até que se provocasse a ruptura da placa. Anotou-se também quando o revestimento apresentou fissuração aparente anterior a ruptura efetiva. A realização do ensaio é observada na Figura 67.

**Figura 67 - Ensaio de impacto de corpo duro apoiado**



Fonte: autora, 2019.

**c) Ensaio de tração à flexão de três pontos.**

O ensaio de determinação do módulo de ruptura por flexão a partir de carregamento em três pontos de rochas destinadas ao uso como revestimento é normatizado pela NBR 15845-8:2015, portanto o procedimento a ser realizado ocorreu de acordo com o que dispõe a referida norma. A NBR dispõe que os corpos de prova devem apresentar dimensões de 50mm x 100mm x 220mm, de espessura (d), largura (b) e comprimento (c), respectivamente. A norma dispõe que no caso de impossibilidade de atendimento dessas medidas para os corpos de prova, devem ser utilizadas as seguintes dimensões, utilizando o valor da espessura como referência:

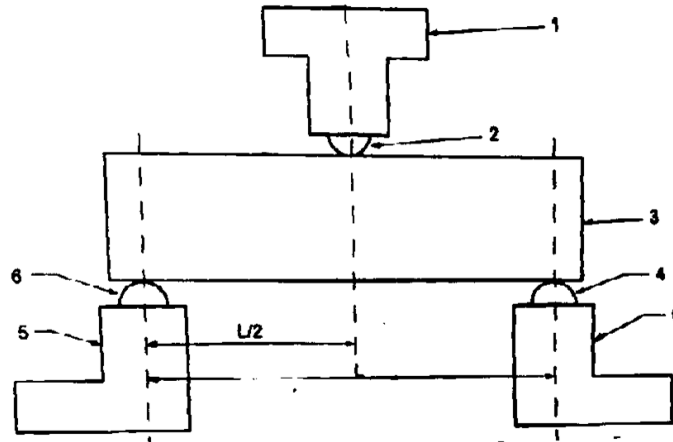
- 1) Espessura d:  $25 \text{ mm} \leq d \leq 100 \text{ mm}$  e  $d \geq$  duas vezes o diâmetro do maior grão;
- 2) Largura b:  $50 \text{ mm} \leq b \leq 3d$ ;
- 3) Comprimento c:  $c \geq 6d$ ;
- 4) Vão entre roletes:  $L \geq 5d$ .

As placas ensaiadas foram cedidas pela obra em execução visitada, por esse motivo a espessura adotada foi de 2cm, uma vez que já veio pré-estabelecida. Com isso, obedecendo as demais relações de medida da norma, foram ensaiadas placas de 5cm de largura por 20cm de comprimento.

Para a realização do ensaio, foram necessários os seguintes materiais:

- I. Prensa hidráulica com capacidade de no mínimo 100 kN e precisão igual ou inferior a 0,5 kN. Prato solidário ao dispositivo de força (munido e rótula ou não) e uma base rígida.
- II. Dispositivo para ensaio dos corpos de prova conforme Figura 68, constituído por dois cutelos inferiores articulados, sendo um móvel e o outro fixo, e de um cutelo superior móvel. O comprimento de cada rolete deve ser no mínimo igual à largura do corpo de prova.
- III. Paquímetro com curso mínimo de 220 mm e resolução de 0,05 mm e trena ou régua de, no mínimo, 500 mm de comprimento para medição dos corpos de prova;
- IV. Bandejas não oxidáveis, com dimensões suficientes para o acondicionamento dos corpos de prova para a saturação deles, quando ensaiados nesta condição;
- V. Estufa, para a secagem dos corpos de prova.

**Figura 68 - Disposição recomendada do corpo de prova no dispositivo para a determinação do módulo de ruptura em rochas**



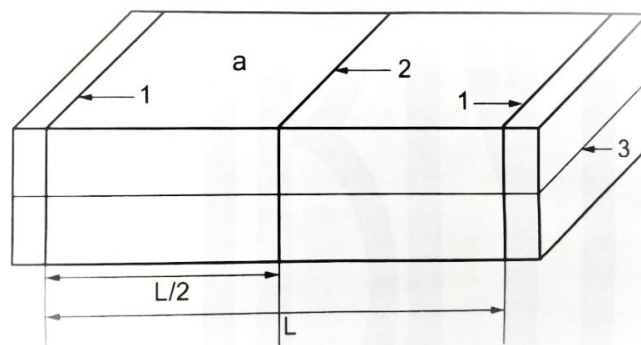
Fonte: Adaptado de NBR 15845-6:2015.

**Legenda:**

- 1 – Suporte do rolete situado na porção superior;
- 2 – Rolete articulado superior;
- 3 – Corpo de prova;
- 4 – Rolete articulado inferior;
- 5 – Suportes dos roletes situados na porção inferior;
- 6 – Rolete não articulado inferior.

Para a execução do ensaio, foram traçadas linhas delimitando o meio do corpo de prova, ou seja, a superfície mais provável de ruptura; além disso, traçaram-se duas outras linhas equidistantes do centro (com 7cm de distância da linha central) da peça para o posicionamento do centro dos apoios inferiores.

**Figura 69 - Linhas auxiliares para o posicionamento dos apoios**



Fonte: Adaptado de NBR 15845-6:2015.

**Legenda:**

- 1- As linhas que demarcam a posição dos roletes inferiores;
- 2- A linha que demarca a posição do rolete superior;
- 3- A linha que demarca a estruturação/orientação da rocha.

De acordo com a NBR 15845-6:2015, o ensaio deve ser executado nas condições seca em estufa e saturada, por esse motivo são necessários 5 corpos para cada condição. Foram ensaiados 30 corpos de prova à flexão, 10 de cada tipo de revestimento (5 secos e 5 saturados). Os corpos de prova saturados, visualizados na Figura 70 ficaram submersos até metade de sua altura por 8 horas e depois por mais 48 horas com a submersão completa. Já os secos ficaram na estufa em 70°C até atingirem constância da massa, da mesma forma que no ensaio dos índices físicos.

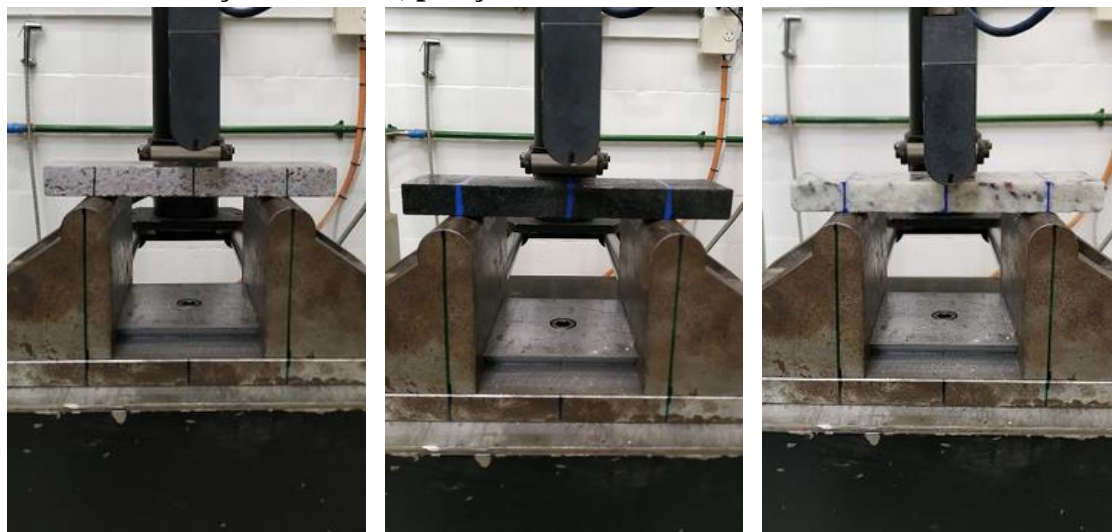
**Figura 70 - Corpos de Prova saturados**



Fonte: autora, 2019.

O procedimento do ensaio de ruptura consistiu no assentamento desses corpos de prova sobre os roletes, nas posições das linhas traçadas, e posteriormente na aplicação de carregamento de modo lento e progressivo, a uma taxa inferior a 4450 N/min, observando que se o plano de ruptura não ocorresse na área entre os cutelos o resultado seria registrado, porém não contabilizado para o cálculo da média. Na Figura 71 é apresentado o ensaio de flexão realizado para os três tipos de granito, com a respectiva demarcação do centro da placa e dos apoios. Adotou-se uma distância de 14cm entre os apoios, com 3cm dos apoios até as extremidades.

**Figura 71 - Realização do ensaio de flexão por três pontos e corpos de prova com a marcação do centro, posição dos roletes**

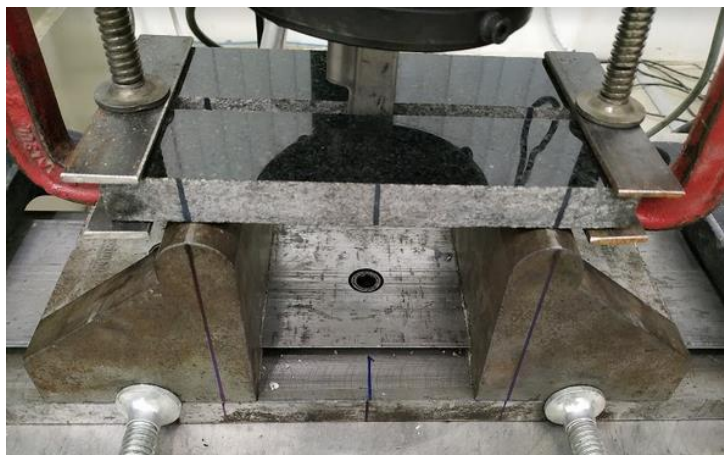


Fonte: autora, 2019.

#### **d) Ensaio de flexão do conjunto revestimento e ancoragem**

Não há uma metodologia normatizada para este ensaio específico, porém considerando-se que no contexto de aplicação desse revestimento analisado, a fixação do revestimento pétreo é feita através de furação nos bordos da peça e encaixe da ancoragem metálica dentro do furo, ou seja, é um ponto mais frágil uma vez que a sua seção transversal resistente é reduzida à metade nesse local. Tendo isso em vista fez-se a aplicação de carga sobre a ancoragem na interface entre duas placas, dessa forma verificando o quanto esse ponto é capaz de resistir perante solicitações transversais ao furo, que viria a ser o vento ou possíveis cargas acidentais em uma aplicação real. As placas foram travadas lateralmente com o uso de ganchos do tipo sargento para não permitir a ocorrência da torção no ensaio, evitando-se manifestações de flexão oblíqua. Para realização do teste, foram ensaiados pares de placas de dimensões 5cm x 20cm e espessura de 2cm, com furos paralelos situados na metade da face lateral da placa, com profundidade de 1,5cm. Ensaíram-se 4 amostras de cada tipo de granito. Visualiza-se o procedimento descrito nas figuras Figura 72, Figura 73 e Figura 74.

**Figura 72 - Amostra do conjunto ancoragem e granito preto São Gabriel ensaiada a flexão**



Fonte: autora, 2019.

**Figura 73 - Amostra do conjunto ancoragem e granito branco Itaúnas ensaiada a flexão**



Fonte: autora, 2019.

**Figura 74 - Amostra do conjunto ancoragem e granito marrom São Gabriel ensaiada a flexão**



Fonte: autora, 2019.

O vento incide sobre superfície de revestimento, provocando, através de sucções e sobrepressões, a flexão na peça e o cisalhamento na seção do furo onde se encaixa a ancoragem. A flexão do granito em si já foi verificada no ensaio de flexão por três pontos, mas o propósito da análise do comportamento do conjunto é simular a incidência de uma carga de vento extrema, atuando especificamente sobre a interface entre a ancoragem e o revestimento, uma vez que este é um ponto mais frágil (com menor inércia da seção atuando na resistência) e ao mesmo tempo com acúmulo de tensões, a fim de verificar onde ocorrerá a falha (se será no revestimento ou ancoragem) e qual a carga de ruptura. Na Figura 75 visualiza-se o elemento de ancoragem utilizado na fixação de granitos em fachadas através da furação nos bordos, sobre a qual foi aplicada carga no ensaio; vale observar que os *inserts* metálicos são introduzidos dentro dos furos nos bordos da peça de revestimento, e no furo oblongo visualizado existe a outra interface com a cantoneira que é fixada no substrato, conforme é ilustrado na seção 4.1.2 deste trabalho, através de imagens do conjunto sendo executado em obra de Porto Alegre.

**Figura 75 - Ancoragem pontual de granitos fixados em fachadas por furação nos bordos**



Fonte: <<http://dorvo.com.br/inserts-metalicos>>

### **3.4.2 Comparação da resistência ao arrancamento de chumbadores oferecida por diferentes substratos**

O presente trabalho trouxe à tona o seguinte questionamento: qual a interferência do nível de confiabilidade dos substratos, no momento de se dimensionar os fixadores de um sistema de fachadas ventiladas. Conforme foi visto no referencial teórico, quanto mais homogêneo o substrato, melhor ele responde à fixação de elementos de ancoragem. Nesse sentido, na escala apresentada no referencial, o substrato de tijolos maciços em termos de homogeneidade situa-se logo após o concreto, pois apresenta poucos vazios. No entanto, uma

vez rebocada a parede, se perde a referência sobre o que é junta de argamassa e o que é tijolo e, cada um desses elementos que compõem a parede têm um comportamento distinto em termos de resistência. Vale observar que blocos grauteados de alvenaria estrutural com paredes maciças também tendem a ser considerados um substrato confiável, ao passo que em tese não possuem muitos vazios.

Com o intuito de contribuir na elaboração de dados a respeito dessa questão, realizaram-se testes de arrancamento de *parabolts* e chumbadores químicos em substratos de alvenaria estrutural grauteada, alvenaria de tijolos maciços e em elementos de concreto armado, além disso testaram-se pontos críticos como as juntas de argamassa de assentamento da alvenaria. É importante destacar que existem sistemas de ancoragem que são adequados para blocos de alvenaria de vedação (tijolos furados) e, outros que funcionam melhor em superfícies mais homogêneas, como o concreto armado ou a alvenaria de tijolos maciços. As superfícies analisadas na presente pesquisa são aquelas consideradas mais confiáveis para a fixação de chumbadores, em virtude da sua maior homogeneidade. A norma que rege os ensaios de arrancamento de chumbadores, tomada por referência nessa seção, é a NBR 14827:2002 que trata sobre a determinação de resistência à tração e ao cisalhamento de chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria. Nos substratos investigados foram fixados chumbadores químicos e mecânicos de dois fabricantes, da Âncora e da Walsywa.

Inicialmente definiu-se que as especificações dos chumbadores seriam de 5/16” de diâmetro para ambos os modelos, sendo profundidade do furo de 6,5cm, com o uso da broca 8 para os chumbadores mecânicos e, para os chumbadores químicos, 8cm de profundidade executados com a broca 10 conforme recomendações dos fabricantes para o diâmetro adotado. Vale pontuar que os chumbadores químicos foram constituídos por produtos de base poliéster e vinilester que fizeram a ancoragem de barras roscadas com 5/16” de diâmetro nos furos.

Após se fazer a furação procedeu-se a limpeza dos furos para a remoção de poeiras e resíduos. A fixação dos *parabolts* consistiu no martelamento do chumbador e posterior aperto com chave de torque, para que ele fizesse o devido travamento no substrato. Quanto aos chumbadores químicos, após a limpeza do furo foram aplicados os produtos com o uso de misturadores para a sua devida homogeneização, uma vez que se tratavam de substâncias bicomponentes, e então, se introduziu as barras roscadas de diâmetro 5/16” nos furos, fazendo movimento de rosqueamento, conforme recomendado pelos fabricantes, a fim de o produto aderir nas reentrâncias da barra. Nos Quadro 12 e Quadro 13 constam as recomendações dos



fabricantes em termos de dimensões e distância dos furos para fixação dos chumbadores químicos.

**Quadro 12 - Recomendações do fabricante para a fixação do QPO 300**

Diâmetro		Furo (mm)		Distância (mm)		Cargas últimas (kgf)	
(pol)	(mm)	Diâm.	Prof.	Fixador Fixador	Fixador Borda	Tração	Corte
5/16"	8	10	80	160	80	2510	1887

Fonte: adaptado de < <http://ancora.com.br/site/portfolios/qpo300/>>

**Quadro 13 - Recomendações do fabricante para a fixação do WQI 44**

Diâmetro	Chumbador	Furo (mm)		Carga última (kgf)
(pol)	(mm)	Diâm.	Profundidade	Tração
5/16"	3 1/4"	10	80	1920

Fonte: < <https://www.walsywa.com.br/chumbador-quimico-de-injecao-wqi-44-300ml/>>

Adotou-se o diâmetro de 5/16" para os chumbadores, tanto químicos como mecânicos, porque a carga de uma placa de granito de 1m<sup>2</sup>, com o maior peso próprio entre os testados, consistiria em aproximadamente 595,00 kgf, tendo em vista que o peso próprio atua como esforço cortante no chumbador e esse esforço é resistido por mais de um elemento de fixação, considerou-se que apenas os dois chumbadores inferiores estivessem efetivamente atuando na resistência a essa solicitação, com isso a carga resistida por cada chumbador reduzir-se-ia a metade, correspondendo a 297,50 kgf. Com base nisso, julgou-se adequado testar chumbadores dessa dimensão por serem alternativas viáveis para a fixação do sistema de revestimento no substrato, ao passo que ambos os fabricantes apresentam cargas últimas ao corte superiores a 1100kgf, o que proporcionaria para ambos os casos coeficientes de segurança superiores a 3,69. Nas figuras Figura 76 - Parabolt com prisioneiro PBA - Passante da Âncora e Figura 77 - Chumbador WB Walsywa são apresentados os modelos de *parabolts* que foram objeto dos testes do presente trabalho.

**Figura 76 - Parabolt com prisioneiro PBA - Passante da Âncora**



Fonte: <<http://ancora.com.br/site/portfolios/chumbador-pba/>>

**Figura 77 - Chumbador WB Walsywa**

Fonte: <<https://www.walsywa.com.br/chumbador-wb/>>

A seguir são apresentados os Quadro 14 e Quadro 15 com as recomendações para dimensões dos furos e distância entre pontos para os chumbadores mecânicos analisados. A distância de 165mm entre furos foi adotada para todos os tipos de chumbadores nos substratos de alvenaria estrutural e para o concreto armado. No substrato de tijolos maciços por vezes verticalmente não foi possível atender a essa distância por indisponibilidade de espaço, mas todos os chumbadores foram fixados em tijolos diferentes (nunca dois em um mesmo tijolo).

**Quadro 14 - Recomendações do fabricante para a fixação do PBA Passante com prisioneiro da Âncora**

Diâmetro (pol)	Chumbador (mm)	Furo (mm)		Distância (mm)		Cargas últimas (kgf)	
		Diâm.	Prof.	Fixador Fixador	Fixador Borda	Tração	Corte
5/16"	3 1/4"	8	65	165	82	1840	1162

Fonte: adaptado de <<http://ancora.com.br/site/portfolios/chumbador-pba/>>

**Quadro 15 - Recomendações do fabricante para a fixação do Chumbador WB da Walsywa**

Diâmetro (pol)	Chumbador (mm)	Furo (mm)		Cargas últimas (kgf)	
		Diâm.	Prof. Mínima do furo	Tração	Corte
5/16"	3 1/4"	8	40	1400	1310

Fonte: <<https://www.walsywa.com.br/chumbador-wb/>>

Diferentes substratos foram objeto do presente levantamento experimental realizado. A parede de tijolos maciços utilizada foi de uma construção residencial de 11-30 anos, que viria a ser demolida posteriormente. A parede encontrava-se rebocada e recebeu adequada manutenção de pintura ao longo do tempo, por essa razão ao remover-se o reboco para proceder a fixação dos chumbadores, verificou-se que a argamassa se encontrava íntegra, assim como os tijolos. Fixaram-se cinco amostras de cada tipo de chumbador nos tijolos e outras cinco nas juntas de argamassa. Na Figura 78 visualiza-se a parede com o reboco removido, em processo de fixação das amostras.

**Figura 78 – Chumbadores em processo de fixação em furos nos tijolos e nas juntas de argamassa**



Fonte: autora, 2019.

Outro substrato analisado veio a ser o concreto armado, para isso foram reaproveitadas partes íntegras de vigas constituídas por concreto C30 de alta resistência inicial, ensaiadas à flexão no laboratório da UNISC, que foram objeto de outro trabalho de conclusão de curso realizado concomitantemente ao presente trabalho. Na Figura 79 observam-se amostras fixadas em uma das vigas, manteve-se esse padrão de distâncias (165mm) entre chumbadores ensaiados e, também com relação à borda e ao início das fissuras ocasionadas pelo ensaio de flexão.

**Figura 79 - Chumbadores fixados em viga de concreto armado C30**



Fonte: autora, 2019.

Além disso, foram fixadas amostras de chumbadores em blocos canaleta grauteados em um empreendimento de alvenaria estrutural em execução na cidade de Santa Cruz do Sul. Na Figura 80 são apresentadas três amostras de chumbador químico fixadas no referido substrato; em alvenaria estrutural, assim como nos demais substratos, foi fixado um total de 20 chumbadores.

**Figura 80 - Chumbadores fixados em blocos canaleta grauteados em empreendimento de alvenaria estrutural**



Fonte: autora, 2019.

Para a realização do ensaio foi utilizado um equipamento calibrado, adequado para a realização do arrancamento do chumbador e verificação do esforço máximo por ele suportado. O aparelho fez a tração do chumbador com o uso de um olhal compatível com o diâmetro da rosca dos chumbadores fixados, apresentando como resultado a carga máxima de tração suportada em kgf, até ocorrer a ruptura do sistema (substrato ou chumbador), provocando o arrancamento. A amostra analisada, conforme estabelece a norma 14827:2002, deve ser representativa dentro de um lote a ser usado na construção em campo, sendo que se deve ensaiar no mínimo cinco chumbadores por tamanho. Na tabela 3 da referida norma constam os tamanhos mínimos dos lotes de amostras para a avaliação estatística dos dados ensaiados, portanto, foram utilizados 80 chumbadores, sendo 5 de cada fabricante aplicados em cada substrato. A norma ainda preconiza que para cada variação de tipo, tamanho, embutimento e zona de localização do chumbador deve-se repetir o procedimento de análise, com o número mínimo de amostras. Na presente análise não foram feitas essas variações, ao passo que o objeto de maior interesse de desempenho é o substrato. Na Figura 81 visualiza-se o equipamento utilizado nos ensaios de arrancamento.

**Figura 81 - Equipamento para a realização do ensaio de arrancamento**



Fonte: MMC LAB, 2019.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de análise de dados

De posse desses dados, foram realizados os cálculos pertinentes para a tabulação e comparação dos resultados. Os ensaios que estão adequadamente estabelecidos por norma foram verificados conforme o padrão de cálculos determinado nas mesmas. Para aqueles que não são normatizados, foram realizados cálculos compatíveis com os resultados obtidos.

#### a) Absorção de água

Os resultados foram calculados a partir das equações de densidade aparente (9), porosidade aparente (10) e absorção de água (11), obtendo-se posteriormente a respectiva média aritmética de resultados, variância e desvio-padrão.

$$\rho_e = \frac{M_{sec}}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 1000 \quad (9)$$

$$nb = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{(M_{sat} - M_{sub})} \times 100 \quad (10)$$

$$\sigma_a = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \quad (11)$$

### b) Impacto de corpo duro

Tanto para o ensaio de impacto de corpo duro normatizado, como para o realizado sobre quatro apoios, os resultados foram expressos pela média aritmética da altura de ruptura e pela energia de ruptura obtida através da equação 12:

$$W = m \times g \times h \quad (12)$$

#### Em que:

W é a energia de ruptura expressa em joules (J)

m é a massa da esfera, expressa em quilogramas (kg)

g é a gravidade (9,06 m/s<sup>2</sup>)

h é a altura de ruptura, expressa em metros (m)

### c) Ensaio de tração à flexão de três pontos.

Os resultados serão expressos pela tensão de ruptura obtida através da equação 13:

$$\sigma_f = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times d^2} \quad (13)$$

#### Em que:

$\sigma_f$  é o valor do módulo de ruptura (resistência à flexão por carregamento de três pontos), expresso em Megapascal (MPa)

P é a carga de ruptura (kN)

L é a distância entre os roletes inferiores (m)

b é a largura do corpo de prova (m)

d é a espessura do corpo de prova (m)

### d) Ensaio de flexão de três pontos para o conjunto ancoragem e revestimento.

Não há norma para a realização deste ensaio assim como para a expressão de seus resultados. Calculou-se a tensão de ruptura por flexão da mesma forma que o padronizado, pois a carga foi aplicada de forma centralizada, e travou-se o sistema para a não ocorrência de torção das placas. No entanto, nesse cálculo considerou-se uma seção transversal duas vezes maior, ao

passo que duas placas suportaram o esforço nesse caso. Além disso, fez-se um relatório constando as cargas últimas suportadas pelo conjunto e as formas de ruptura das amostras. Calculou-se as tensões de tração da seção longitudinal do furo provocadas pela aplicação de carga nos *inserts* metálicos, conforme a equação 14:

$$\sigma_f = \frac{V}{A} \quad (14)$$

**Em que:**

$\sigma_f$  é a tensão de tração da seção longitudinal do furo (MPa)

V é a carga de ruptura (kN)

A é área de aplicação de carga dentro do furo (m<sup>2</sup>)

**e) Ensaios de arrancamento de chumbadores.**

No relatório do ensaio, conforme recomenda a NBR 14827:2002 foram listados os dados técnicos referentes aos chumbadores e substratos testados, assim como o aparelho utilizado no teste. Verificou-se qual o tipo de falha em virtude da carga aplicada (falha em cone, fissura radial, escorregamento, falha de aderência ou falha no chumbador) e, foi elaborada uma análise descritiva dos resultados observados, juntamente com a análise gráfica das solicitações últimas suportadas.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Nesta seção serão apresentados os resultados levantados através de testes experimentais realizados e em visitas a obras cujo sistema de revestimento de fachada utilizado é do tipo não aderido e expor-se-ão as suas respectivas análises.

### **4.1 Inspeções in loco**

Uma das etapas do presente trabalho refere-se a inspeções *in loco* em obras que fazem o uso de revestimentos não aderidos em sua fachada, para observar peculiaridades específicas do seu processo de projeto e execução, focando a análise na interação entre o substrato, ancoragem e revestimento. Com esses dados não foram estabelecidos julgamentos acerca das soluções adotadas nos empreendimentos e nem generalizadas soluções que devem ser aplicadas em qualquer situação; mas sim, a partir desses dados empíricos produziu-se conhecimento teórico sobre execução de revestimento não aderido. Outros pontos críticos referentes a interfaces entre aberturas e o revestimento também foram registrados, a fim de embasar a análise, assim como difundir conhecimentos práticos sobre o sistema construtivo com o intuito de o desmistificar e pontuar seus prós e contras em termos de desempenho técnico e exequibilidade.

#### **4.1.2 Obra de edifício comercial em Porto Alegre**

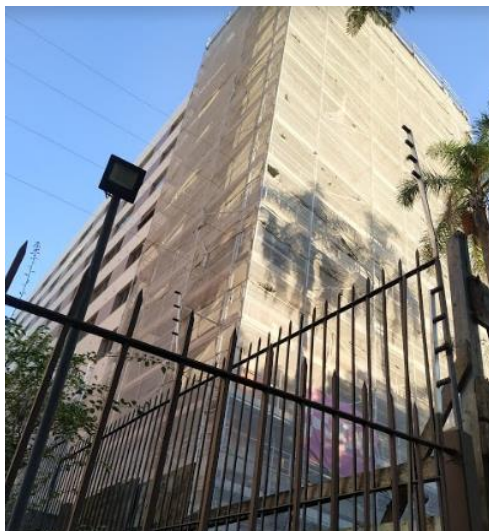
No dia 12/07/2018 visitou-se um empreendimento comercial em execução com 10 pavimentos, situado na cidade de Porto Alegre; na Figura 82 visualiza-se o status da execução na data da inspeção. A fachada principal do edifício estava sendo envelopada por um sistema de revestimento não aderido em que parte é fixada com ancoragens pontuais (granito) e parte com o uso de subestrutura auxiliar (ACM).

Conforme informado pelo engenheiro responsável, a fachada principal é constituída de revestimento não aderido, porém não se enquadra como ventilada, pois possui as juntas vedadas. Todos os elementos de fixação são chumbadores mecânicos e os pontos de ancoragem no substrato foram reforçados com uma cinta adicional, sendo que o revestimento pétreo é ancorado por meio de furações nos seus bordos. As principais dificuldades relatadas no que diz respeito ao projeto e execução de revestimentos de rocha natural residiam na falta de



homogeneidade da rocha em termos de análise petrográfica, assim como a dificuldade de compatibilização do projeto de modulação da fachada com o arquitetônico.

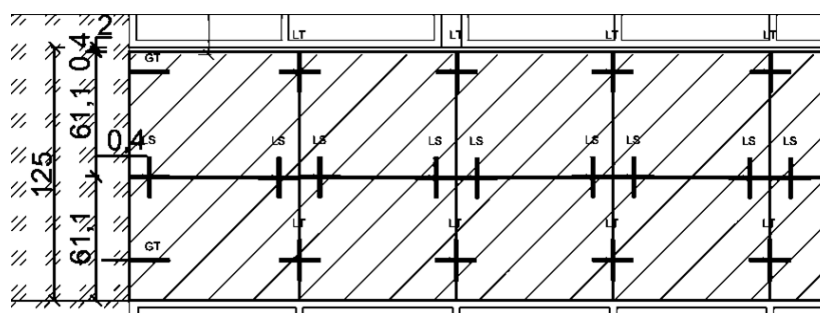
**Figura 82 - Fachada da obra visitada com revestimento não aderido em execução**



Fonte: autora, 2019.

A responsável técnica pelo projeto da fachada disponibilizou os detalhamentos e memoriais descritivo e de cálculo, para servir de referência ao presente trabalho. Na Figura 83 é apresentada uma parte da modulação da fachada do empreendimento, a fim de demonstrar que o travamento dos elementos de revestimento foi feito adotando-se furações nos bordos laterais e nas juntas entre as faces superiores e inferiores entre os elementos de revestimento.

**Figura 83 - Exemplo de projeto da modulação de fachada com ancoragens pontuais**



Fonte: Cassel, 2018.

#### a) Observações verificadas sobre o sistema construtivo

O empreendimento visitado utilizou o sistema construtivo de concreto armado e alvenaria de vedação racionalizada. Em todos os pontos de ancoragem cujo substrato eram blocos de alvenaria, foi realizada a quebra dos blocos e preenchimento com uma cinta, a fim de

reforçar o ponto e garantir que o chumbador seja fixado em um substrato homogêneo (sem atingir pontos ocos). Na Figura 84 observa-se essa cinta, assim como a fixação através da furação vertical nos bordos dos elementos de revestimento. O intuito dos testes em laboratório realizados neste trabalho é justamente entender como se comporta mecanicamente esse conjunto do substrato, elemento de fixação e o revestimento, no contexto de fachadas com juntas abertas.

**Figura 84 - Revestimento em processo de fixação**



Fonte: autora, 2019.

No projeto da fachada do empreendimento consta que a cavidade entre o revestimento e o substrato seria de 8cm, e a espessura do revestimento de 2 cm, padrão que foi verificado através de medições no local com uma margem de erro pouco significativa. Vale destacar que um ponto importante para facilitar o processo de execução desse sistema de revestimento é garantir o prumo e planeza do substrato, pois por conta de as ancoragens se situarem em pontos específicos, esse tipo de defeito é facilmente perceptível.

Na Figura 85 é possível observar que a ancoragem do revestimento apresenta diversas interfaces a serem estudadas; primeiramente a interface entre a furação do bordo do revestimento e o *insert* metálico, em segundo lugar as interfaces do próprio elemento de fixação que é composto por duas partes presas entre si através de um parafuso e porcas, posteriormente a interação entre a cantoneira de fixação e o chumbador e, por fim, a interface entre o

chumbador e o substrato. Nesse sentido, observam-se diversos pontos críticos, sendo importante verificar de que forma os esforços são transmitidos entre eles. Analisando-se superficialmente, o peso próprio do revestimento provoca esforço de momento negativo no substrato, esforço cortante na interface entre o chumbador e a cantoneira, momento, cortante e esforço normal no parafuso intermediário, assim como esforço normal *insert* metálico, ponto em que o elemento de revestimento se situa. Embora não seja o caso do presente empreendimento, se as juntas entre o elemento de revestimento fossem abertas, existiria a entrada e saída de ar através da ventilação da cavidade entre o revestimento e o substrato, nesse sentido, o vento manifestar-se-ia enquanto esforço transversal ao revestimento tanto através da sobrepressão (empurrando o revestimento contra o substrato, gerando compressão no ponto de ancoragem e esforço cortante no parafuso intermediário e no *insert* metálico), assim como através da sucção (saída do vento de dentro da fachada para o exterior, empurrando revestimento para fora, gerando tração ou arrancamento no ponto de ancoragem, e também esforço cortante nos demais pontos citados anteriormente).

**Figura 85 - Detalhe da ancoragem**



Fonte: autora, 2019.

Vale destacar na Figura 86 a visualização da furação dos elementos de revestimento nos bordos para o posterior encaixe da estrutura de fixação. É importante pontuar que nesse ponto a seção lateral do revestimento que resiste aos esforços transversais é reduzida à metade e nessa zona há uma concentração de tensões.

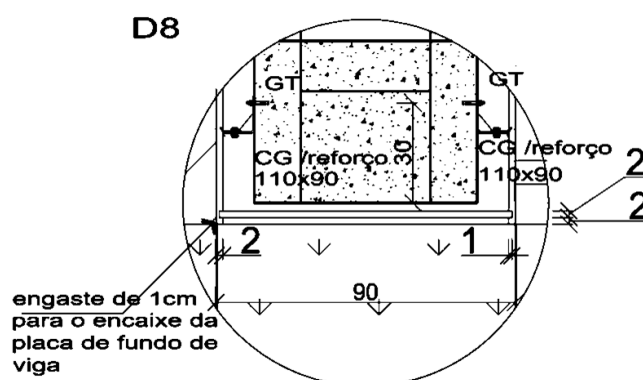
**Figura 86 - Furação das peças para o encaixe na fixação**



Fonte: autora, 2019.

Em projeto a solução adotada para a fixação da rocha na parte superior do vão da esquadria se daria pelo encaixe em uma reentrância de 1cm no tardo de elementos de revestimento, na qual o arremate superior do vão da abertura seria engastado, conforme apresentado na Figura 87. No entanto, no canteiro de obras constatou-se a necessidade de reforçar esse local crítico, para tanto além do engastamento adotou-se a fixação química da rocha com o reforço através de parafusos.

**Figura 87 - Arremate da viga superior (solução do projeto)**



Fonte: Cassel, 2018.

Em pontos onde não é possível realizar a ancoragem a partir da furação lateral em discontinuidades da fachada como as aberturas, observou-se o uso de uma forma de fixação diferenciada, na qual é feito um entalhe na rocha e nesse entalhe se encaixa a fixação metálica, o que constitui uma tipologia de fixação descontínua no tardo de da peça, conforme se visualiza na Figura 88. De acordo com o relatado pelo engenheiro data da visita a obra, esses entalhes

ocasionam um ponto mais frágil na rocha, que requer estudos mais aprofundados em termos de resistência aos esforços que o conjunto está sujeito.

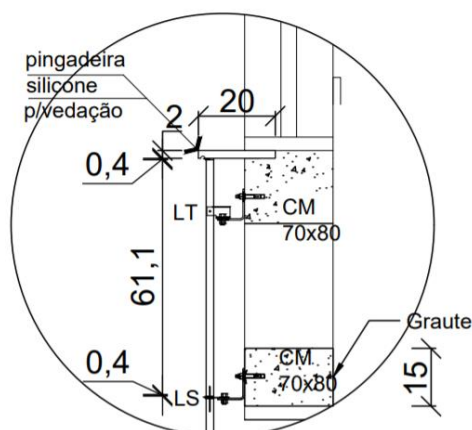
**Figura 88 – Ancoragem descontínua no tardo da rocha**



Fonte: autora, 2019.

Quanto à interface entre esquadrias, substrato e revestimento, verificou-se que desde a etapa de projeto já havia sido definida qual seria a solução a ser adotada, de acordo com a Figura 89. Da mesma forma que em um empreendimento com revestimento aderido, o objetivo é que água esco para fora da fachada e, para isso, se faz o uso da pingadeira, que vem a ser um elemento que se situa em baixo da esquadria com inclinação para fora e uma reentrância na sua parte inferior para fazer com que a água pingue evitando o escoamento sobre a fachada. No entanto, a peculiaridade do sistema de revestimento não aderido é de que a pingadeira deve transpor o revestimento externo, e para isso parte dela não estará apoiada em nenhum substrato. No caso particular da obra visitada a junta foi calafetada com silicone, porém se a fachada fosse ventilada essa junta poderia ser aberta, com sistema adequado de pingadeira. Na Figura 90 visualiza-se uma das pingadeiras do empreendimento em execução.

**Figura 89 - Solução de projeto para interface esquadria, revestimento e pingadeira**



Fonte: Cassel, 2018.

**Figura 90 - Visualização da instalação da pingadeira inferior sobre o substrato**



Fonte: autora, 2019.

A furação das peças fragiliza o elemento nesse ponto, e o recebimento de impactos, inclusive durante o manuseio na etapa executiva, pode ocasionar a sua quebra, conforme se constata na Figura 91, mesmo se tratando de uma rocha magmática com elevada resistência. Em virtude disso deve-se ressaltar a importância de verificar se as ancoragens do revestimento são suficientes, especialmente sob ações de cargas acidentais como impactos de corpo mole e de corpo duro, pois caso um ponto de fixação fique fora de serviço ou altamente comprometido (como no ponto analisado), não pode ocorrer a queda da peça. Tendo isso em vista, é muito importante analisar a estabilidade global da fachada.

No caso de dano severo, a peça deve ser substituída, conforme ocorreu no empreendimento visitado; vale observar que o procedimento não foi complicado por conta de a obra estar em andamento, porém é válido que durante o projeto das ancoragens haja um plano para o caso da necessidade de substituição de uma peça específica e inspeção do sistema, pois

pode se tornar um problema no caso dessa tipologia de ancoragens pontuais, ao passo que existe travamento horizontal da peça por conta das furações nos seus bordos verticais (não se move para frente e para trás), e também há o travamento vertical através das furações nos bordos laterais (não se move para cima e para baixo) e, por haver a necessidade de encaixar a peça nas furações superiores e inferiores o procedimento é dificultado, especialmente considerando que esse tipo de manutenção pode ocorrer em pontos menos acessíveis da fachada.

**Figura 91 - Defeito verificado em peça que virá a ser substituída**



Fonte: autora, 2019.

Sobre o ACM, conforme se observa na Figura 92, foi adotada uma subestrutura auxiliar, que provocou o espaçamento almejado com relação ao substrato, a fim de ocasionar o jogo de volumes proposto no layout da fachada. Em relação à ancoragem da subestrutura no substrato, essa se deu de forma mecânica. Ademais, o ACM estava sendo fixado a partir de colagem direta na subestrutura, isto é, a ancoragem do revestimento se deu de forma química.

**Figura 92 - Subestrutura auxiliar para a fixação do ACM**



Fonte: autora, 2019.

#### **b) Parâmetros de cálculo adotados pelo projetista**

Teve-se acesso ao memorial de cálculo da fachada do empreendimento citado. O presente tópico pontuará alguns parâmetros considerados no dimensionamento dos elementos da fachada, não no intuito de com base nisso instituir um padrão ou regra, mas a fim de entender procedimentos adotados em obras atualmente e ver que outros parâmetros podem ser agregados.

Os insertes utilizados para a fixação dos granitos na fachada foram do tipo Dorvo, em aço inoxidável AISI 304. Adotou-se nas especificações que o furo na rocha deveria ter uma folga de 1mm superior ao diâmetro do pino, e uma folga de no mínimo 5mm entre a extremidade do pino e o fundo do furo, para que se evitasse a concentração de tensões nesses pontos. Para o dimensionamento do tamanho e espessura das placas, a projetista fez o cálculo da pressão dinâmica do vento, considerando uma velocidade básica do vento de 45 m/s, conforme o mapa das isopletas da NBR 6123:1988, seguiu o cálculo conforme recomenda a referida norma, chegando a uma pressão dinâmica do vento de 1.297,108 Pa. A partir disso, estabeleceu-se a espessura de 20mm para as placas e, placa a placa, verificou-se se nas dimensões projetadas elas atenderiam ao coeficiente de segurança necessário com relação a flexão em comparação com as cargas de vento (CASSEL, 2018).



### 4.1.3 Desprendimento de placa de granito verificado em empreendimento existente

Durante a realização do trabalho, ocorreu o desprendimento de uma placa de granito fixada na parte inferior de um vão de sacada em balanço em um prédio residencial na cidade de Porto Alegre, Rio Grande do sul. A placa havia sido fixada apenas quimicamente ao substrato; conforme relatório da referida inspeção, recomendou-se o reforço da fixação dessas placas de granito em todos os pavimentos (MMC LAB, 2019). Na Figura 93- Desprendimento de placa em condomínio residencial de Porto Alegre visualiza-se o ponto no qual a placa se encontrava fixada.

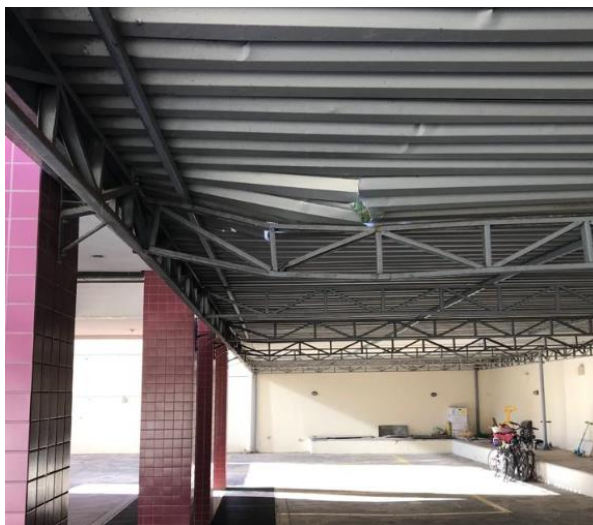
**Figura 93- Desprendimento de placa em condomínio residencial de Porto Alegre**



Fonte: MMC LAB, 2019.

Na Figura 94 é observada a danificação ocasionada na estrutura treliçada do estacionamento por conta da queda da placa de granito. O estrago foi significativo tendo em vista que não se trata de uma placa com grandes dimensões; caso não existisse a cobertura e a placa atingisse a um transeunte, a queda poderia resultar em uma fatalidade irreparável. Esse ocorrido serve para conscientizar sobre a importância de se prever uma forma de ancoragem suficiente para fixar o revestimento ao substrato, tanto para revestimentos pesados (aderidos ou não), como para qualquer tipo de revestimento de fachada. No contexto de revestimentos não aderidos, corrobora-se a relevância de conhecer o desempenho do conjunto substrato, ancoragem e revestimento no momento da concepção do projeto da fachada.

**Figura 94 - Dano à estrutura treliçada ocasionado por conta da queda da placa de granito**



Fonte: MMC LAB, 2019.

#### **4.1.3 Obra comercial com fachada não aderida de ACM**

Visitou-se no dia 22/08/2019 uma obra em execução de um empreendimento comercial com fachada não aderida de ACM, na cidade de Santa Cruz do Sul. A fixação do revestimento foi feita de forma química, a partir da colagem do ACM sobre os montantes metálicos. Na Figura 95 verifica-se o andamento da execução do revestimento na data da inspeção.

**Figura 95 - Empreendimento comercial com fachada não aderida de ACM em execução em Santa Cruz do Sul**



Fonte: autora, 2019.

Cabe destacar um ponto peculiar do empreendimento, visualizado na Figura 96, que foi a adoção dos pontos de ancoragem da fachada especificamente nas juntas de argamassa de assentamento. Nota-se que o substrato era de alvenaria de tijolos de vedação e o projetista optou por não fazer a fixação nos tijolos por conta dos pontos ociosos, e nem nas vigas do empreendimento. Por se tratar de um revestimento leve foi julgada como adequada a fixação dos montantes da fachada nas juntas de argamassa. O objetivo de destacar esse caso não é de questionar a solução adotada, mas sim demonstrar a importância da investigação realizada através dos testes de arrancamento no presente trabalho, ao passo que o uso das juntas de argamassa como pontos de fixação de elementos de fachada é uma realidade inclusive em obras locais.

**Figura 96 - Solução adotada de fixação da subestrutura metálica da fachada nas juntas de argamassa de assentamento**



Fonte: autora, 2019.

### 4.3 Ensaios

A fim de se fundamentar empiricamente o trabalho foram realizados os ensaios de caracterização do revestimento e testes de arrancamento devidamente descritos na metodologia. Nesta subseção serão apresentados os respectivos resultados obtidos.

#### 4.3.1 Obtenção dos índices físicos

Este ensaio consistiu na determinação da densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água de cada um dos três tipos de granito analisados. Possuir informações sobre

essas propriedades físicas é de extrema importância no momento de concepção da fachada, tanto em termos de verificar se o revestimento é adequado a agressividade do meio, assim como para o cálculo do peso próprio do revestimento, que na forma saturada tende a apresentar um incremento.

#### a) Granito preto São Gabriel

No Quadro 16 são apresentados os resultados brutos das massas obtidas em laboratório e os respectivos índices físicos calculados. Observa-se uma sensível diferença entre a massa seca e a massa saturada dos corpos de prova. Os índices físicos finais foram obtidos através da média aritmética entre os valores calculados. Consta-se que o Granito preto São Gabriel apresenta densidade elevada, por consequência possui baixas porosidade aparente e absorção de água.

**Quadro 16- Índices físicos do granito preto São Gabriel**

<b>Granito Preto São Gabriel</b>						
<b>Dados Experimentais</b>				<b>Índices físicos</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Massa Submersa (g)</b>	<b>Massa Saturada (g)</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade aparente (%)</b>	<b>Absorção de água (%)</b>
1	100,40	153,20	152,78	2893,56	0,80	0,27
2	94,70	144,60	144,37	2893,19	0,46	0,16
3	97,00	144,70	144,46	3028,51	0,50	0,17
4	98,10	148,90	148,55	2924,21	0,69	0,24
5	95,80	145,60	145,32	2918,07	0,56	0,19
6	93,80	142,30	142,08	2929,48	0,45	0,15
7	95,00	145,50	145,08	2872,87	0,83	0,29
8	95,60	144,80	144,47	2936,38	0,67	0,23
9	97,00	147,10	146,85	2931,14	0,50	0,17
10	96,40	146,50	146,28	2919,76	0,44	0,15
<b>Média</b>				<b>2924,72</b>	<b>0,590</b>	<b>0,202</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>41,760</b>	<b>0,146</b>	<b>0,052</b>
<b>Coefficiente de variação</b>				<b>1,428</b>	<b>24,707</b>	<b>25,479</b>

Fonte: autora, 2019.

### b) Granito branco Itaúnas

Quanto ao granito branco Itaúnas, no Quadro 17 são exibidos os resultados das massas obtidas em laboratório, para cada uma das amostras verificadas, assim como os respectivos índices físicos calculados. A partir dos índices físicos finais do granito branco Itaúnas, calculados através da média aritmética entre as amostras, observa-se que a densidade é inferior à do granito preto São Gabriel pois possui mais vazios em virtude da maior porosidade, por conseguinte apresentou maior absorção de água.

**Quadro 17 - Índices físicos do granito branco Itaúnas**

<b>Granito Branco Itaúnas</b>						
<b>Dados Experimentais</b>				<b>Índices físicos</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Massa Submersa (g)</b>	<b>Massa Saturada (g)</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade aparente (%)</b>	<b>Absorção de água (%)</b>
1	81,70	130,90	130,57	2653,86	0,67	0,25
2	81,20	130,20	129,60	2644,90	1,22	0,46
3	81,30	130,60	130,09	2638,74	1,03	0,39
4	82,70	133,10	132,63	2631,55	0,93	0,35
5	80,20	129,00	128,58	2634,84	0,86	0,33
6	82,80	133,40	132,88	2626,09	1,03	0,39
7	82,70	132,50	132,15	2653,61	0,70	0,26
8	82,90	133,50	132,96	2627,67	1,07	0,41
9	83,00	133,50	133,06	2634,85	0,87	0,33
10	81,70	131,20	130,92	2644,85	0,57	0,21
<b>Média</b>				<b>2639,01</b>	<b>0,896</b>	<b>0,340</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>9,937</b>	<b>0,204</b>	<b>0,078</b>
<b>Coefficiente de variação</b>				<b>0,377</b>	<b>22,761</b>	<b>22,912</b>

Fonte: autora, 2019.

### c) Granito marrom Guaíba

Por fim, verificam-se os resultados do levantamento referente ao Granito marrom Guaíba no Quadro 18. Os valores também foram coerentes, tendo a massa seca sido inferior a saturada e os índices físicos de densidade aparente, porosidade aparente e absorção de água apresentado valores intermediários entre o granito preto São Gabriel e o branco Itaúnas. Relativamente aos índices físicos finais do Granito marrom Guaíba, percebe-se novamente que

a absorção de água cresce ou decresce conforme a porosidade e densidade do material; como este tipo de granito possui uma densidade intermediária entre os testados, apresentou uma quantidade de poros passíveis de preenchimento com água situada entre os outros tipos de granito.

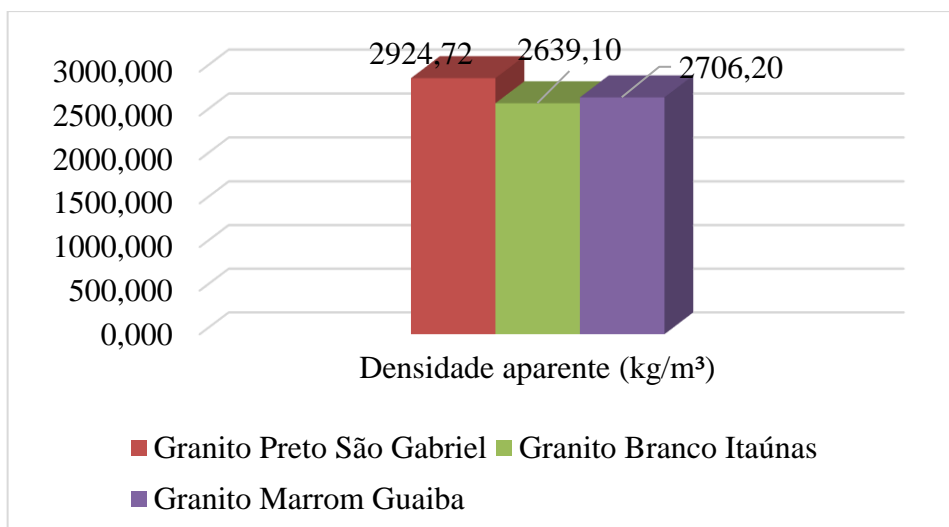
**Quadro 18 - Índices físicos do granito marrom Guaíba**

<b>Granito Marrom Guaíba</b>						
<b>Dados Experimentais</b>				<b>Índices físicos</b>		
<b>Amostra</b>	<b>Massa Submersa (g)</b>	<b>Massa Saturada (g)</b>	<b>Massa Seca (g)</b>	<b>Densidade aparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Porosidade aparente (%)</b>	<b>Absorção de água (%)</b>
1	98,10	155,20	154,90	2712,78	0,53	0,19
2	98,10	155,20	154,83	2711,56	0,65	0,24
3	97,40	154,40	153,93	2700,53	0,82	0,31
4	94,60	150,20	149,75	2693,35	0,81	0,30
5	94,80	150,30	149,96	2701,98	0,61	0,23
6	98,30	155,50	155,09	2711,36	0,72	0,26
7	97,80	155,00	154,70	2704,55	0,52	0,19
8	97,10	153,70	153,28	2708,13	0,74	0,27
9	98,20	155,30	154,90	2712,78	0,70	0,26
10	98,30	155,70	155,26	2704,88	0,77	0,28
<b>Média</b>				<b>2706,19</b>	<b>0,687</b>	<b>0,254</b>
<b>Desvio Padrão</b>				<b>6,373</b>	<b>0,107</b>	<b>0,040</b>
<b>Coefficiente de variação</b>				<b>0,235</b>	<b>15,640</b>	<b>15,756</b>

Fonte: autora, 2019.

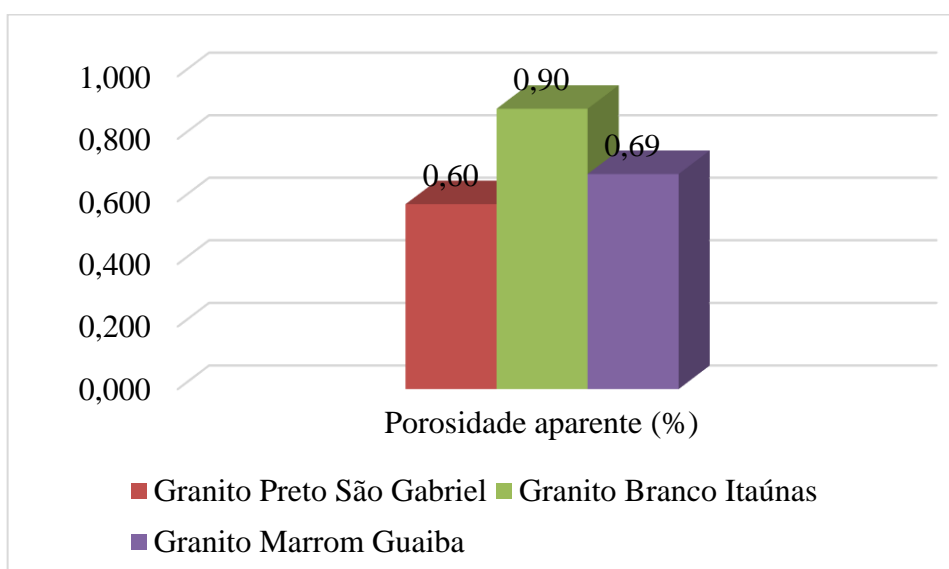
#### **d) Comparação dos índices físicos médios finais**

De modo geral, conforme está representado no Gráfico 1, verificou-se que o granito preto é o mais denso dentre os três tipos, seguido pelo granito marrom, sendo o menos denso o granito branco. Analisando o contexto das placas mais porosas utilizadas na obra visitada, constituídas pelo granito branco Itaúnas, de densidade 2639,01 kg/m<sup>3</sup>, dada a espessura de 2cm da placa, um metro quadrado apresenta uma massa aparente de 527,81 kg; sabendo-se que a água possui 1000kg/m<sup>3</sup>, que houve um percentual de absorção da ordem de 0,34% e que o volume da placa considerada é de 0,20m<sup>3</sup>, a massa saturada da placa passaria a ser de 528,50 kg/m<sup>3</sup>, incrementando em 0,12% o peso da placa.

**Gráfico 1 - Densidades aparentes médias**

Fonte: autora, 2019.

Quanto mais denso um elemento, menos poros (vazios) ele apresenta. Tendo isso em vista, os resultados obtidos, representados no Gráfico 2 foram coerentes. O granito menos denso do conjunto, o branco de Itaúnas, apresentou a maior porosidade; enquanto o mais denso, preto de São Gabriel, foi o menos poroso, situando-se próximo ao valor da porosidade do granito marrom de Guaíba.

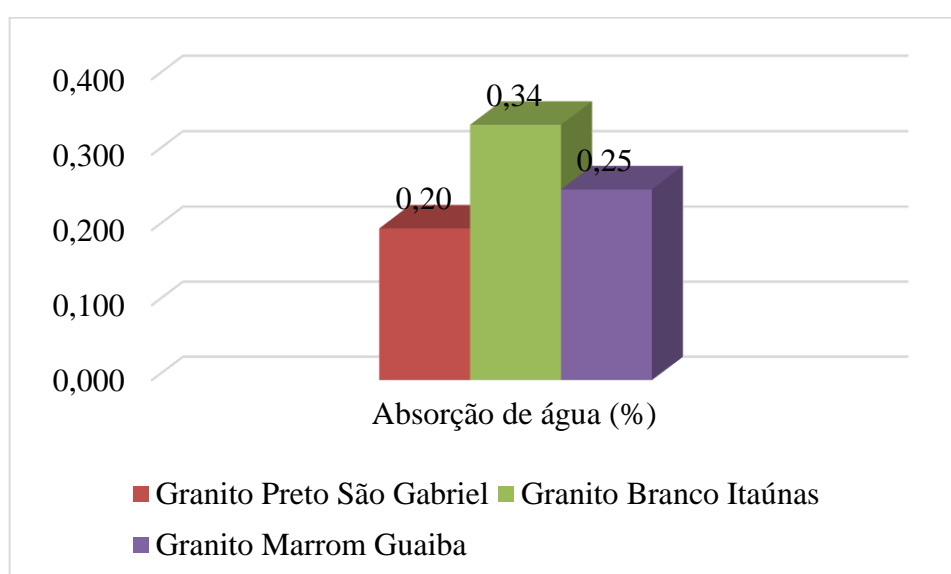
**Gráfico 2 – Porosidades aparentes médias**

Fonte: autora, 2019.

Um elemento só absorve água se apresenta poros a serem preenchidos. Nesse sentido, conforme o esperado o Gráfico 3, dos índices de absorção de água, apresentou uma

configuração bastante semelhante ao gráfico anterior. O branco de Itaúnas, mais poroso do conjunto, também apresentou o maior índice de absorção de água, seguido pelo marrom de Guaíba, sendo o preto de São Gabriel o granito com menor absorção. Ao se estar dotado desses três índices físicos, densidade aparente, porosidade aparente e índice de absorção de água, independentemente do tipo de revestimento, é possível fazer o dimensionamento das ancoragens considerando o peso próprio saturado do revestimento, que vem a ser o pior caso desse esforço.

**Gráfico 3 - Índices de absorção de água médios**



Fonte: autora, 2019.

#### 4.3.2 Ensaio de impacto de corpo duro

O ensaio de impacto de corpo duro foi realizado simulando duas situações, a primeira através do método padrão constante na NBR 15845-8:2015, da norma de rochas para revestimento e, a segunda utilizando um dispositivo que servia de apoio para as placas, verificando as suas resistências ao impacto de corpo duro sem um elemento que o amortecesse em seu tardo. A seguir serão demonstrados os resultados obtidos em cada um dos contextos citados.



### a) Padrão conforme a norma

Nos Quadros 19, 20 e 21 são apresentados os resultados experimentais e as energias de ruptura calculadas para o granito preto São Gabriel, branco Itaúnas e marrom Guaíba respectivamente. Observa-se que todas as energias de ruptura foram superiores ao valor de 3J recomendado para zonas de acesso dos transeuntes.

As formas de ruptura ocorridas nas amostras de granito preto São Gabriel se deram em regra passando pelo centro da placa, rompendo em duas ou três partes. Sabe-se que as rochas são materiais de origem natural e cada amostra tem uma organização dos seus minerais constituintes distinta, portanto apresentam linhas de ruptura particulares, mas os valores de energia que ocasionaram as falhas mantiveram-se dentro de uma média, com desvio padrão pouco significativo, conforme demonstrado no Quadro 19.

**Quadro 19 - Resultados apresentados pelo granito preto São Gabriel no ensaio de impacto de corpo duro**

<b>Granito Preto São Gabriel</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Altura de Fissuração (cm)</b>	<b>Altura de Ruptura (cm)</b>	<b>Energia de ruptura (J)</b>
1	35	45	4,41
2	35	40	3,92
3	40	45	4,41
4	30	45	4,41
5	35	40	3,92
<b>Máximo</b>			<b>4,41</b>
<b>Mínimo</b>			<b>3,92</b>
<b>Média</b>			<b>4,22</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,269</b>
<b>Coeficiente de Variação</b>			<b>5,37</b>

Fonte: autora, 2019.

No Quadro 20 são apresentadas as energias de ruptura do granito branco Itaúnas calculadas com base na altura de ruptura verificada experimentalmente. Nem todas as amostras apresentaram uma altura de fissuração evidente, pois visualmente a fissuração ocorreu de forma abrupta na queda a partir da altura de ruptura. Os padrões de ruptura do granito branco Itaúnas foram semelhantes aos do granito preto Itaúnas, rompendo em duas ou três partes, seguindo linhas de ruptura particulares. Vale observar que o granito branco de Itaúnas teve uma tendência a alturas de ruptura inferiores às do granito preto de São Gabriel.

**Quadro 20 - Resultados apresentados pelo granito branco Itaúnas no ensaio de impacto de corpo duro**

<b>Granito Branco Itaúnas</b>			
Amostra	Altura de Fissuração (cm)	Altura de Ruptura (cm)	Energia de ruptura (J)
1	-	40	3,92
2	30	35	3,43
3	-	35	3,43
4	-	40	3,92
5	35	40	3,92
Máximo			<b>3,92</b>
Mínimo			<b>3,43</b>
Média			<b>3,73</b>
Desvio Padrão			<b>0,269</b>
Coeficiente de Variação			<b>5,37</b>

Fonte: autora, 2019.

Por fim, no Quadro 21 visualiza-se o desempenho apresentado pelo granito marrom Guaíba no ensaio de impacto de corpo duro. Em duas das amostras a ruptura foi abrupta, não dando sinais de fissuração anterior evidentes.

**Quadro 21 - Resultados apresentados pelo granito marrom Guaíba o no ensaio de impacto de corpo duro**

<b>Granito Marrom Guaíba</b>			
Amostra	Altura de Fissuração (cm)	Altura de Ruptura (cm)	Energia de ruptura (J)
1	35	40	3,92
2	35	40	3,92
3	30	35	3,43
4	-	35	3,43
5	-	35	3,43
Máximo			<b>3,92</b>
Mínimo			<b>3,43</b>
Média			<b>3,63</b>
Desvio Padrão			<b>0,269</b>
Coeficiente de Variação			<b>5,37</b>

Fonte: autora, 2019.

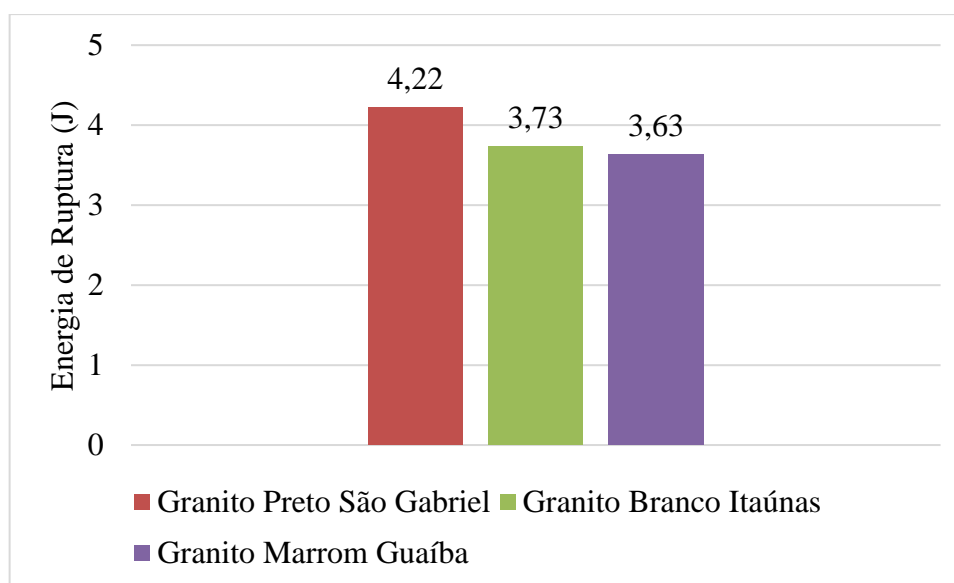
Na sequência, identificam-se na Figura 97 formas de rupturas representativas obtidas através do ensaio de impacto de corpo duro nas amostras dos três tipos de granito. Em todos os tipos de granito testados, houve rupturas em três e em duas partes, sendo predominante esta última.

**Figura 97 - Padrões representativos de ruptura verificados no ensaio de impacto de corpo duro**



Fonte: autora, 2019.

Em termos de energias de ruptura, visualiza-se no Gráfico 4 que o granito preto de São Gabriel apresentou o melhor desempenho e, o branco Itaúnas e o marrom Guaíba obtiveram energias de ruptura muito semelhantes. No geral, não houve significativa diferença de performance entre os tipos de granito. É válido fazer-se a seguinte comparação: por exemplo, no pior caso, em que foi constatada uma energia média de ruptura de 3,63J, utilizando-se um conceito básico da física, em que a energia cinética em joules equivale à massa do objeto em quilogramas multiplicada pelo quadrado de sua velocidade em metros por segundo, dividindo-se resultado por 2, a velocidade equivalente da esfera de 1kg que provocou a quebra da placa foi de aproximadamente 2,70 m/s. Ou seja, pelo mesmo princípio, um corpo de 100g a uma velocidade de 30,67 km/h poderia provocar a ruptura do elemento. Essa situação torna-se preocupante ao se considerar o contexto de utilização desse revestimento, pois uma carga acidental dessa natureza tem potencial para provocar a queda de uma placa, dado que ela é fixada de forma não aderida. Nesse sentido, é importantíssimo prever ancoragens que suportem a placa caso ela seja rompida, ou ainda prever sistemas de segurança que interrompam a queda de peças da fachada, como reforços no próprio revestimento a partir de fibras ou elementos dessa natureza.

**Gráfico 4 - Energias de ruptura dos granitos sob impacto de corpo duro**

Fonte: autora, 2019.

#### **b) Não aderido**

Quanto ao ensaio de impacto de corpo duro com o revestimento apoiado em quatro pontos, verificou-se um desempenho levemente inferior ao apresentado no ensaio padrão estabelecido por norma. O propósito do ensaio, que não é regido por nenhuma norma, foi de verificar se a condição de revestimento apoiado sem elementos que pudessem amortecer os impactos interferiria no seu desempenho perante o impacto de corpo duro. Os resultados obtidos para o granito preto São Gabriel são apresentados no Quadro 22, os do granito branco Itaúnas constam no Quadro 23 e, por fim, os do granito marrom Guaíba no Quadro 24.

No que diz respeito ao Quadro 22, apenas na primeira amostra não foi verificada uma altura de fissuração evidente, e o valor médio da energia de ruptura foi 11,61% inferior ao ensaio realizado no modelo padrão por norma.

**Quadro 22 - Resultados apresentados pelo granito preto São Gabriel no ensaio de impacto de corpo duro não aderido**

<b>Granito Preto São Gabriel</b>			
Amostra	Altura de Fissuração (cm)	Altura de Ruptura (cm)	Energia de ruptura (J)
1	-	40	3,92
2	35	40	3,92
3	35	40	3,92
4	25	30	2,94
5	35	40	3,92
Máximo			<b>3,92</b>
Mínimo			<b>2,94</b>
Média			<b>3,73</b>
Desvio Padrão			<b>0,439</b>
Coeficiente de Variação			<b>8,77</b>

Fonte: autora, 2019.

No Quadro 23 estão postos os resultados obtidos para o granito branco Itaúnas nas condições de ensaio supracitadas. O desempenho perante o ensaio de impacto de corpo duro foi 13,13% inferior na condição apoiada, em comparação ao ensaio realizado com a placa assente sobre o colchão de areia.

**Quadro 23 - Resultados apresentados pelo granito branco Itaúnas no ensaio de impacto de corpo duro não aderido**

<b>Granito Branco Itaúnas</b>			
Amostra	Altura de Fissuração (cm)	Altura de Ruptura (cm)	Energia de ruptura (J)
1	30	35	3,43
2	25	30	2,94
3	30	35	3,43
4	-	35	3,43
5	-	30	2,94
Máximo			<b>3,43</b>
Mínimo			<b>2,94</b>
Média			<b>3,24</b>
Desvio Padrão			<b>0,269</b>
Coeficiente de Variação			<b>5,37</b>

Fonte: autora, 2019.

Quanto ao granito marrom guaíba, no Quadro 24 são exibidos os resultados obtidos no ensaio. Na última amostra não foi identificada uma altura de fissuração evidente. Assim como os demais, houve um sensível decréscimo na energia de ruptura da placa sob a condição apoiada, reduzindo-se o seu desempenho em 10,74%.

**Quadro 24 - Resultados apresentados pelo granito marrom Guaíba no ensaio de impacto de corpo duro não aderido**

<b>Granito Marrom Guaíba</b>			
<b>Amostra</b>	<b>Altura de Fissuração (cm)</b>	<b>Altura de Ruptura (cm)</b>	<b>Energia de ruptura (J)</b>
1	30	35	3,43
2	25	30	2,94
3	25	30	2,94
4	25	35	3,43
5	-	35	3,43
<b>Máximo</b>			<b>3,43</b>
<b>Mínimo</b>			<b>2,94</b>
<b>Média</b>			<b>3,24</b>
<b>Desvio Padrão</b>			<b>0,269</b>
<b>Coefficiente de Variação</b>			<b>5,37</b>

Fonte: autora, 2019.

Na Figura 98 são demonstrados padrões de ruptura obtidos nas amostras ensaiadas sob condição apoiada. Assim como no ensaio realizado pela norma, não se observa um padrão nítido que permita a previsibilidade do comportamento, ocorreram rupturas em duas, três e quatro partes em todos os granitos testados. No entanto, conforme foi visto, em termos de energia de ruptura detectou-se a ocorrência de valores semelhantes entre si.

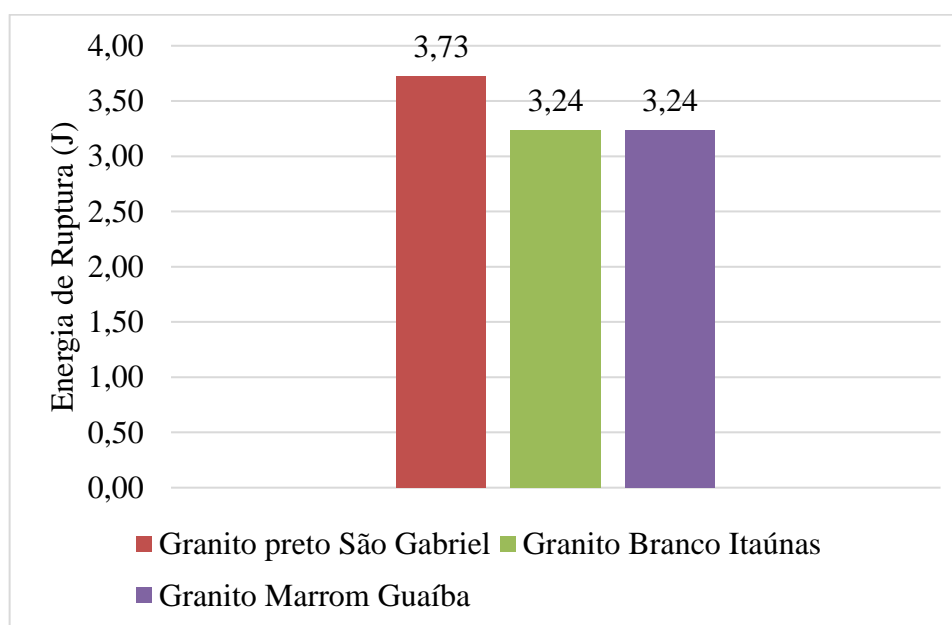
**Figura 98 - Padrões de ruptura representativos no ensaio de impacto de corpo duro apoiado**



Fonte: autora, 2019.

No Gráfico 5 são comparadas as energias médias de ruptura obtidas no ensaio de impacto de corpo duro sob quatro apoios. O granito preto, o mais denso entre os demais, apresentou desempenho sensivelmente maior em termos de energia de ruptura.

**Gráfico 5 - Energias de ruptura de placas de granito apoiadas em 4 pontos sujeitas ao impacto de corpo duro**



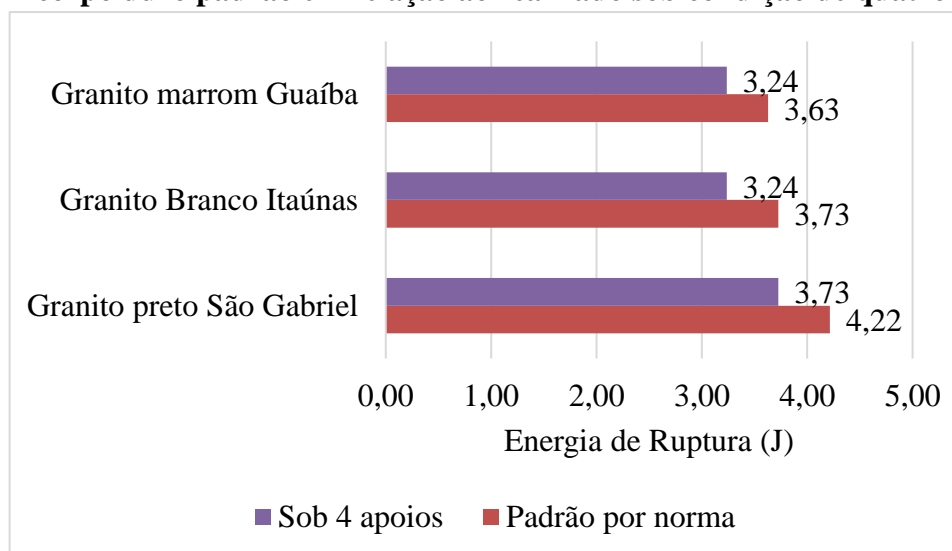
Fonte: autora, 2019.

Em síntese, no Gráfico 6 é possível identificar que possivelmente a areia utilizada no ensaio de impacto de corpo duro padrão por norma atua como um amortecedor no momento que o revestimento recebe o choque da esfera. Na condição apoiada, em todos os tipos de granito observou-se uma leve redução na resistência. Isto é, constata-se que a condição de uso

do revestimento influi no seu desempenho sob cargas acidentais; sua resistência não está somente ligada ao tipo de material constituinte.

Tendo isso em vista, no que diz respeito ao sistema de revestimento de fachadas não aderido, para a garantia da sua segurança estrutural, não só o material constituinte do revestimento deve possuir boa resistência e dimensões suficientes para suportar cargas acidentais, como também deve-se analisar as condições de apoio nas quais o revestimento será fixado. O tipo de ancoragem influencia diretamente na forma com que o revestimento transmitirá esforços para o substrato, isso é facilmente visualizado ao se comparar a transmissão de esforços do revestimento aderido (de forma distribuída e diretamente ao substrato) com o revestimento não aderido, que tem inúmeras possíveis formas de apoios, conforme ilustrado no referencial teórico. Em conclusão, principal ponto a ser destacado é que a condição não aderida retira uma espécie de elemento amortecedor do revestimento, fazendo com que o conjunto resista a menores cargas acidentais.

**Gráfico 6 - Comparação entre energias de ruptura constatadas no ensaio de impacto de corpo duro padrão em relação ao realizado sob condição de quatro apoios**



Fonte: autora, 2019.

#### 4.3.4 Ensaio flexão por três pontos

O ensaio de flexão por três pontos foi realizado conforme descrito da metodologia e, além disso, realizou-se um ensaio de flexão por três pontos do conjunto revestimento e ancoragem, também devidamente descrito. Os resultados serão apresentados individualmente nos tópicos a) e b) na sequência, e ao final serão comparados entre si.



### a) Ensaio padrão por norma

No Quadro 25 estão apresentadas as medidas médias de largura e espessura das amostras de granito preto São Gabriel e as respectivas forças e tensões de ruptura obtidas no ensaio de flexão por 3 pontos. As medidas das placas eram de 5cm x 20cm, com espessura de 2cm e vão entre apoios de 14cm, sendo que a carga foi aplicada no ponto do meio das placas. Por conta de o equipamento de cortes na marmoraria não oferecer precisão milimétrica, houve variação de milímetros nessas medidas base. Os resultados de tensão de ruptura obtidos para esse tipo de granito orbitaram em torno da média de  $24,71 \pm 1,05$  MPa para as amostras secas em estufa, e, para as saturadas, a média foi de  $21,20 \pm 2,12$  MPa.

**Quadro 25 - Forças e tensões de ruptura apresentadas pelas amostras de granito preto São Gabriel sob a flexão de 3 pontos**

Granito Preto São Gabriel															
Cp's	L1	L2	L3	Lm	E1	E2	E3	Em	Rup.	Força de ruptura	Tensão de ruptura	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	N	MPa	MPa	MPa	%	
Seco	1	51,65	51,66	51,35	<b>51,55</b>	19,98	19,35	19,38	<b>19,57</b>	<b>243</b>	2382,86	25,34	<b>24,71</b>	<b>1,054</b>	<b>21,08</b>
	2	51,49	51,1	51,94	<b>51,51</b>	19,56	19,5	19,59	<b>19,55</b>	<b>219</b>	2147,51	22,91			
	3	51,21	51,61	51,86	<b>51,56</b>	19,25	19,56	19,3	<b>19,37</b>	<b>232</b>	2274,99	24,70			
	4	51,28	51,63	51,32	<b>51,41</b>	19,26	19,18	19,19	<b>19,21</b>	<b>235</b>	2304,41	25,51			
	5	51,73	51,57	51,65	<b>51,65</b>	19,08	19,27	19,24	<b>19,20</b>	<b>232</b>	2274,99	25,10			
Saturado	6	51,14	51,26	51,45	<b>51,28</b>	19,2	19,2	19,19	<b>19,20</b>	<b>204</b>	2000,42	22,23	<b>21,20</b>	<b>2,118</b>	<b>42,35</b>
	7	51,2	51,07	51,38	<b>51,22</b>	19,24	19,24	19,16	<b>19,21</b>	<b>217</b>	2127,90	23,63			
	8	51,49	51,4	51,56	<b>51,48</b>	19,41	19,41	19,39	<b>19,40</b>	<b>202</b>	1980,81	21,46			
	9	51,67	51,54	51,77	<b>51,66</b>	19,2	19,2	19,1	<b>19,17</b>	<b>191</b>	1872,95	20,73			
	10	52,13	51,57	51,33	<b>51,68</b>	19,33	19,33	19,3	<b>19,32</b>	<b>168</b>	1647,41	17,94			

Fonte: autora, 2019.

Da mesma forma, no Quadro 26 apresentam-se as tensões de ruptura calculadas para as amostras de granito branco Itaúnas. O desempenho obtido sob flexão foi significativamente inferior ao granito preto São Gabriel. Visualiza-se bastante variação de resultados, o que demonstra que não se pode utilizar um coeficiente de segurança muito justo, especialmente por se tratar de um revestimento de origem natural. O coeficiente de variação foi expressivo tanto para as amostras secas como para as saturadas.

**Quadro 26 - Forças e tensões de ruptura apresentadas pelas amostras de granito branco Itaúnas sob a flexão de 3 pontos**

Granito Branco Itaúnas															
Cp's	L1	L2	L3	Lm	E1	E2	E3	Em	Rup.	Força de ruptura	Tensão de ruptura	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	N	MPa	MPa	MPa	%	
Seco	1	52,96	52,86	52,42	<b>52,75</b>	21,59	21,75	21,74	<b>21,69</b>	<b>150</b>	1470,90	12,44	<b>14,43</b>	<b>3,762</b>	<b>75,23</b>
	2	51,03	51,57	51,32	<b>51,31</b>	20,16	20,65	20,05	<b>20,29</b>	<b>188</b>	1843,53	18,33			
	3	53,4	53,24	53,06	<b>53,23</b>	21,79	21,91	21,64	<b>21,78</b>	<b>150</b>	1470,90	12,23			
	4	50,42	50,96	51,24	<b>50,87</b>	20,6	19,98	20,1	<b>20,23</b>	<b>188</b>	1843,53	18,60			
	5	53,58	53,53	53,37	<b>53,49</b>	21,85	21,84	21,7	<b>21,80</b>	<b>130</b>	1274,78	10,53			
Saturado	6	51,96	51,99	52,17	<b>52,04</b>	21,68	21,72	21,68	<b>21,69</b>	<b>89</b>	872,73	7,48	<b>12,03</b>	<b>3,123</b>	<b>62,45</b>
	7	51,03	51,29	51,29	<b>51,20</b>	20,07	20,11	20,01	<b>20,06</b>	<b>146</b>	1431,68	14,59			
	8	51,37	52,01	52,12	<b>51,83</b>	20,57	20,08	20,09	<b>20,25</b>	<b>107</b>	1049,24	10,37			
	9	51,23	51,37	51,29	<b>51,30</b>	19,89	20,04	19,86	<b>19,93</b>	<b>126</b>	1235,56	12,73			
	10	50,98	51,62	51,04	<b>51,21</b>	19,95	20,11	19,99	<b>20,02</b>	<b>149</b>	1461,09	14,95			

Fonte: autora, 2019.

Na sequência, no Quadro 32 estão expostos os resultados obtidos para as amostras de granito marrom Guaíba, assim como as suas respectivas dimensões médias. Da mesma forma que nos demais ensaios, o desempenho do granito marrom foi intermediário entre os dois outros tipos de granito estudados. O granito do tipo marrom Guaíba apresentou um resultado intermediário entre os dois outros tipos, sendo que houve menor coeficiente de variação dos resultados em relação ao branco Itaúnas e ao preto São Gabriel. Assim como os demais, a tensão de ruptura saturada mostrou-se inferior à seca, ao passo que a água funciona como um lubrificante entre as partículas.

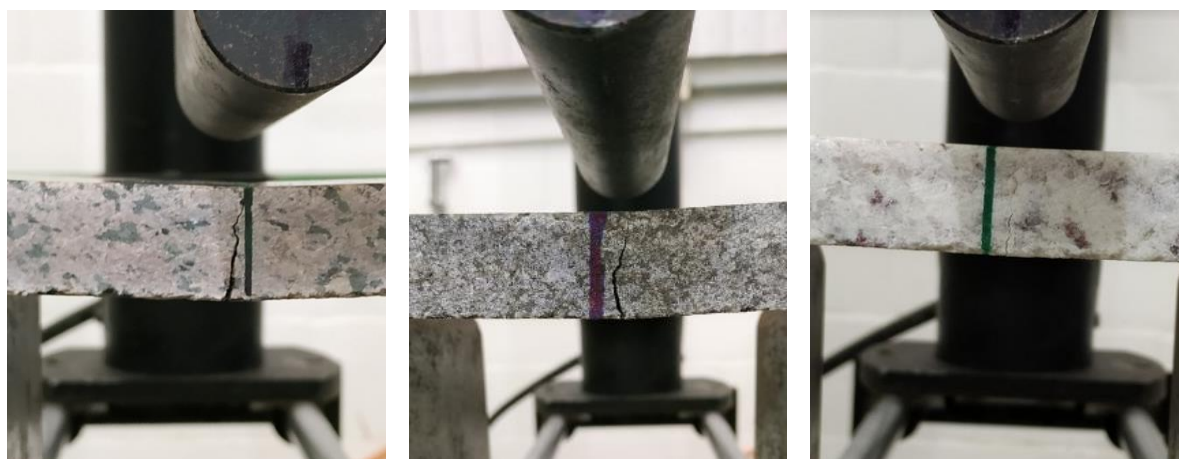
**Quadro 27 - Forças e tensões de ruptura apresentadas pelas amostras de granito marrom Guaíba sob a flexão de 3 pontos**

Granito Marrom Guaíba															
Cp's	L1	L2	L3	Lm	E1	E2	E3	Em	Rup.	Força de ruptura	Tensão de ruptura	Média	Desvio Padrão	Coef. de Variação	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	N	MPa	MPa	MPa	%
Seco	1	50,95	50,39	50,61	<b>50,65</b>	20,5	20,58	20,65	<b>20,58</b>	<b>203</b>	1990,62	19,49	20,07	1,783	35,65
	2	50,99	50,68	50,56	<b>50,74</b>	20,52	20,63	20,62	<b>20,59</b>	<b>200</b>	1961,20	19,14			
	3	50,73	50,04	50,92	<b>50,56</b>	20,92	20,91	20,19	<b>20,67</b>	<b>210</b>	2059,26	20,01			
	4	50,65	50,66	50,22	<b>50,51</b>	21,06	21,3	21,25	<b>21,20</b>	<b>205</b>	2010,23	18,59			
	5	50,75	50,62	50,18	<b>50,52</b>	20,41	20,42	20,49	<b>20,44</b>	<b>237</b>	2324,02	23,12			
Saturado	6	51,96	51,29	51,91	<b>51,72</b>	20,62	20,51	20,44	<b>20,52</b>	<b>173</b>	1696,44	16,35	17,56	0,992	19,85
	7	50,8	50,81	51,16	<b>50,92</b>	20,11	20,85	20,5	<b>20,49</b>	<b>183</b>	1794,50	17,63			
	8	50,23	50,16	50,18	<b>50,19</b>	21,2	21,18	21,24	<b>21,21</b>	<b>185</b>	1814,11	16,88			
	9	50,1	50,17	50,25	<b>50,17</b>	20,73	20,93	20,85	<b>20,84</b>	<b>200</b>	1961,20	18,91			
	10	51,12	51,07	51,08	<b>51,09</b>	21,01	20,53	20,49	<b>20,68</b>	<b>191</b>	1872,95	18,01			

Fonte: autora, 2019.

O tipo de ruptura visualizada a partir do ensaio manteve-se constante, todas as amostras romperam entre os apoios, em uma posição aproximada do centro previamente demarcado. Na Figura 99 é possível enxergar a falha após o encerramento do ensaio por conta da ruptura da placa.

**Figura 99 - Tipologia das rupturas visualizadas no ensaio de flexão por três pontos**

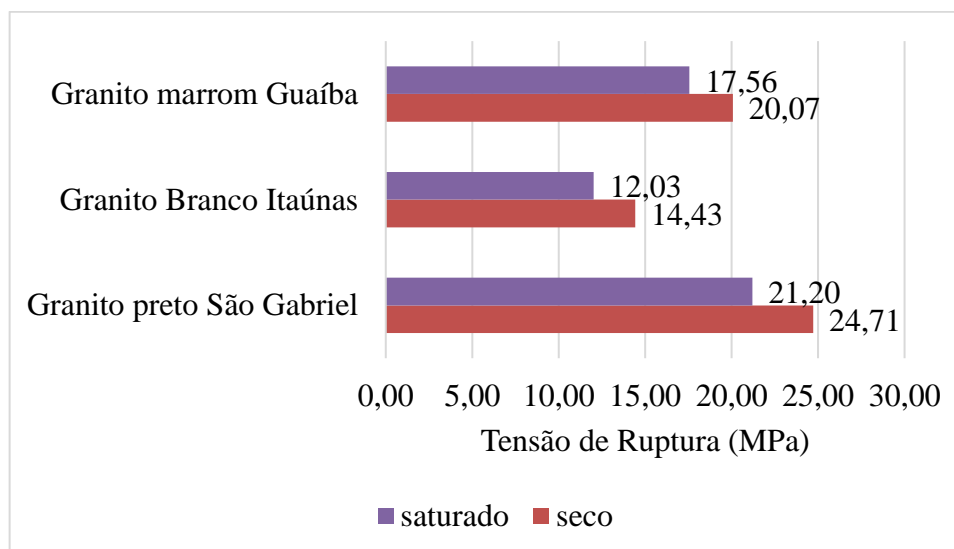


Fonte: autora, 2019.

No geral, com os ensaios de flexão realizados, observou-se que todos os resultados médios de tensão de ruptura para amostras saturadas foram inferiores aos obtidos para as

amostras secas, conforme representado no Gráfico 7. Isto é, a saturação do revestimento não influi apenas no incremento de peso próprio, mas também reduz a resistência do revestimento. Portanto, é importante que se considere esse fator no dimensionamento da fachada.

**Gráfico 7 - Tensões de ruptura das placas de granito sujeitas a flexão por três pontos**



Fonte: autora, 2019.

### c) Flexão por três pontos do conjunto revestimento e ancoragem

A partir do ensaio realizado, que não possui norma que o reja, foi possível verificar as cargas últimas que provocaram a ruptura da seção do furo a partir da aplicação de carga sobre a ancoragem, assim como as tensões últimas de flexão do conjunto e normais de tração na seção situada abaixo do furo. Os dois padrões de ruptura recorrentes no ensaio estão apresentados na Figura 100, em que se percebe a ruptura por tração da seção abaixo do furo, e na Figura 101, na qual se demonstra a ruptura total da seção transversal de uma das placas ocasionada pela flexão, com desagregação de granito abaixo do furo. A ocorrência da ruptura de apenas uma das placas pode advir de uma excentricidade de cargas devida ao desalinhamento de furos ou por conta da movimentação do *insert* com o incremento de cargas. Além disso, as rochas naturais podem apresentar linhas preferenciais de ruptura por conta da disposição microscópica de seus cristais. Como para a execução do ensaio travaram-se as placas com o uso de grampos do tipo sargento de forma a inibir a flexão oblíqua, tinham dois esforços atuando para a ocorrência da ruptura das placas, a flexão normal simples proveniente da aplicação da carga no centro do vão sob condição bi apoiada, e, o de tração atuante sobre a seção longitudinal do furo.

**Figura 100 - Ruptura por tração da seção abaixo do furo**



Fonte: autora, 2019.

**Figura 101 - Ruptura completa e uma das placas**



Fonte: autora, 2019.

Em todos os ensaios os *inserts* metálicos introduzidos nos furos dos granitos entortaram com a aplicação de carga, conforme que se visualiza na Figura 102:

**Figura 102 - *Insert* metálico após a aplicação de carga**



Fonte: autora, 2019.

No Quadro 28 são apresentados os resultados obtidos experimentalmente das cargas e formas de ruptura apresentadas pelo conjunto granito preto São Gabriel + *insert* metálico. Verificou-se que média das cargas de ruptura suportadas foi de 168,27 kgf, enquanto no ensaio padrão para as placas de mesmo granito saturadas a carga média de ruptura foi de 196,40kgf e para as respectivas amostras secas a média foi de 232,20kgf. Vale observar que no ensaio do conjunto foram utilizadas duas plaquinhas, isto é, havia o dobro de seção transversal resistindo ao esforço e a carga se dividiu entre as duas placas. Em virtude de as cargas suportadas terem sido inferiores e, de elas se dividirem entre as placas, as tensões de flexão oriundas da carga última de ruptura se mostraram significativamente mais baixas. Neste granito a média das tensões de ruptura foi de 8,56 MPa, enquanto no ensaio aplicando a carga diretamente sobre a o revestimento as tensões médias foram da ordem de 20MPa. Além disso, nesse contexto havia a atuação conjunta do esforço de flexão e da tração na seção do furo, local onde ocorre uma concentração de tensões. Foi averiguado que nesse ponto a média de tensões ocasionadas pela carga de ruptura do sistema foi de 2,77MPa, considerando que a carga aplicada se dividiu igualmente entre os dois furos da placa.

**Quadro 28 – Cargas, formas e tensões de ruptura do conjunto granito preto São Gabriel e *insert* metálico**

Granito preto São Gabriel									
Amostras	Lm	Em	Prof.	Ruptura	Tipo de ruptura	Força de ruptura	Tensão de ruptura	Área de meio perímetro do pino x prof. furo	Tensão de tração da seção do furo
	mm	mm	mm	kgf	Descrição	N	MPa	m <sup>2</sup>	MPa
1	<b>51,12</b>	<b>19,32</b>	14,87	138,55	Rompeu no furo e transversalmente a placa	1258,03	6,92	0,00019	3,37
1'	<b>51,15</b>	<b>18,98</b>	22,05		-			0,00028	2,27
2	<b>51,09</b>	<b>19,19</b>	25,9	96,16	Rompeu no furo	873,13	4,88	0,00033	1,34
2'	<b>50,91</b>	<b>19,25</b>	23,27		-			0,00029	1,49
3	<b>51,28</b>	<b>18,95</b>	20,95	251,24	Rompeu transversalmente a placa	2281,26	13,02	0,00026	4,33
3'	<b>51,16</b>	<b>19,13</b>	24,79		-			0,00031	3,66
4	<b>51,05</b>	<b>19,25</b>	22,93	187,14	-	1699,23	9,40	0,00029	2,95
4'	<b>51,35</b>	<b>19,06</b>	24,95		Rompeu transversalmente a placa			0,00031	2,71
Média				<b>168,27</b>	Média		<b>8,56</b>	Média	<b>2,77</b>
Desvio Padrão				<b>66,64</b>	Desvio Padrão		<b>3,50</b>	Desvio Padrão	<b>0,97</b>

Fonte: autora, 2019.

Já para o caso das amostras de granito branco Itaúnas, no Quadro 29 verificou-se uma carga média de ruptura do conjunto de 123,30 kgf, gerando tensões médias de ruptura de 5,76MPa, enquanto para o ensaio das placas de granito isoladamente as tensões médias das amostras secas foram de 14,43 MPa e das saturadas de 12,03 MPa. Isto é, em relação ao ensaio padrão para as amostras saturadas, o conjunto foi sujeito a cargas de flexão 52,12% inferiores até atingir a ruptura global. Em todas as amostras se observou a ruptura no furo, com uma tensão média de tração da seção de 2,75 MPa, isto é, ocorreu a falha local no furo antes da ruptura por flexão propriamente dita.

**Quadro 29 - Cargas, formas e tensões de ruptura do conjunto granito branco Itaúnas e insert metálico**

Granito Branco Itaúnas									
Amostras	Lm	Em	Prof.	Ruptura	Tipo de ruptura	Força de ruptura	Tensão de ruptura	Área de meio perímetro do pino x prof. furo	Tensão de tração da seção do furo
	mm	mm	mm	kgf	Descrição	N	Mpa	m <sup>2</sup>	Mpa
1	<b>50,55</b>	<b>19,70</b>	13,77	136,48	Rompeu no furo	1239,24	6,64	0,00017	3,58
1'	<b>50,39</b>	<b>19,73</b>	15,19		Rompeu no furo				3,25
2	<b>50,23</b>	<b>19,72</b>	16,51	123,04	Rompeu no furo	1117,20	5,97	0,00021	2,69
2'	<b>50,85</b>	<b>19,79</b>	14,91		Rompeu no furo				2,98
3	<b>50,47</b>	<b>19,70</b>	17,4	120,97	Rompeu no furo	1098,41	5,90	0,00022	2,51
3'	<b>50,18</b>	<b>19,76</b>	18,46		Rompeu no furo				2,37
4	<b>50,41</b>	<b>21,70</b>	22,35	112,7	Rompeu no furo	1023,32	4,51	0,00028	1,82
4'	<b>50,70</b>	<b>19,99</b>	14,68		Rompeu no furo				2,77
Média				<b>123,30</b>	Média		<b>5,76</b>	Média	<b>2,75</b>
Desvio Padrão				<b>9,86</b>	Desvio Padrão		<b>0,89</b>	Desvio Padrão	<b>0,51</b>

Fonte: autora, 2019.

Na sequência, no Quadro 30 são apresentados os resultados experimentais do granito marrom Guaíba. Nessas amostras verificou-se uma média de tensões de flexão ocorridas em virtude da carga de ruptura do sistema de 7,84 MPa, enquanto no ensaio padrão a média de tensões foi de 20,07 MPa para as amostras secas e 17,56 MPa para as amostras saturadas. Nesse granito foram verificadas tensões de tração da seção mais elevadas, de 8,55 MPa. O fato de a ruptura ter se dado em toda a seção é característica da flexão, mas existem diversos fatores que podem ter interferido na forma de ruptura, como o fato de o *insert* entortar com a aplicação de cargas, gerando excentricidades na distribuição de tensões de acordo com o incremento de carga aplicada.

**Quadro 30 - Cargas, formas e tensões de ruptura do conjunto granito marrom Guaíba e insert metálico**

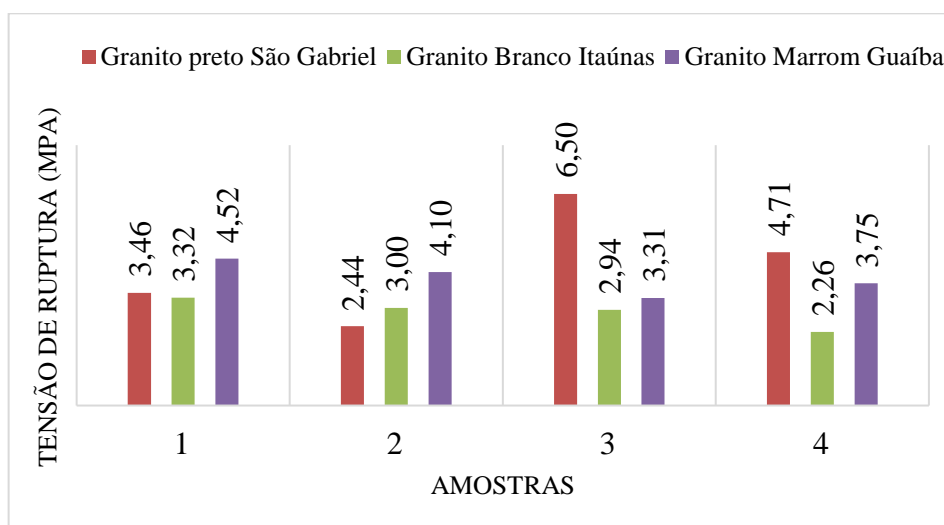
Granito Marrom Guaíba									
Amostras	Lm	Em	Prof.	Ruptura	Tipo de ruptura	Força de ruptura	Tensão de ruptura	Área de meio perímetro do pino x prof. furo	Tensão de tração da seção do furo
	mm	mm	mm	kgf	Descrição	N	MPa	m <sup>2</sup>	MPa
1	<b>50,35</b>	<b>20,61</b>	8,17	202,65	-	1840,06	9,02	0,00010	8,96
1'	<b>50,46</b>	<b>20,79</b>	7,63		Rompeu transversalmente a placa			0,00010	9,60
2	<b>50,50</b>	<b>20,53</b>	8,32	183,01	Rompeu transversalmente a placa	1661,73	8,24	0,00010	7,95
2'	<b>50,05</b>	<b>20,84</b>	7,08		-			0,00009	9,34
3	<b>50,62</b>	<b>20,66</b>	6,78	149,92	-	1361,27	6,64	0,00009	7,99
3'	<b>50,29</b>	<b>20,89</b>	8,77		Rompeu transversalmente a placa			0,00011	6,18
4	<b>50,50</b>	<b>20,78</b>	7,64	171,63	Rompeu no furo	1558,40	7,46	0,00010	8,12
4'	<b>51,05</b>	<b>20,36</b>	6,02		Rompeu no furo			0,00008	10,30
Média				<b>176,80</b>	Média		<b>7,84</b>	Média	<b>8,55</b>
Desvio Padrão				<b>22,03</b>	Desvio Padrão		<b>1,02</b>	Desvio Padrão	<b>1,20</b>

Fonte: autora, 2019.

No Gráfico 8 estão representados de forma ilustrativa os esforços de flexão ocorrentes nos conjuntos de placas de revestimento a partir da carga de ruptura aplicada, nas quatro amostras de cada tipo de granito. Já no Gráfico 9 estão representadas a média das tensões de tração das seções dos furos calculadas para cada par de placas de granito ensaiadas. Visualizando esses dados, constata-se que todas as tensões provocadas pela carga de ruptura (tanto em termos de flexão como tração da seção longitudinal do furo) foram superiores à tensão proveniente do vento calculada pela projetista da fachada, que havia encontrado uma solicitação de pressão dinâmica do vento de 1.297,108 Pa, no contexto da obra em que essas placas foram aplicadas.

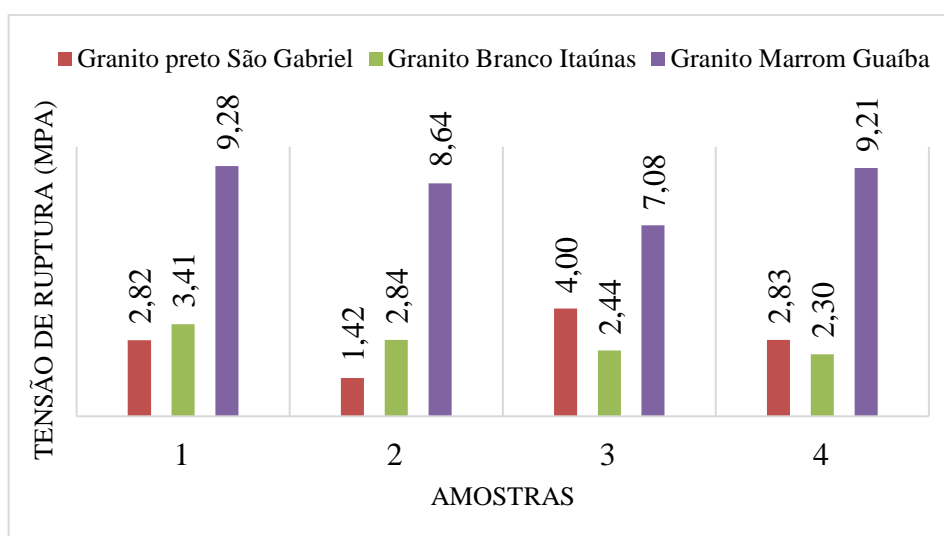


**Gráfico 8 - Tensões de flexão normal simples ocasionadas pela carga de ruptura do conjunto**



Fonte: autora, 2019.

**Quadro 31 - Tensões normais médias de tração da seção longitudinal dos furos, ocasionadas pela carga de ruptura do conjunto**



Fonte: autora, 2019.

### 4.3.5 Testes de arrancamento

Os testes de arrancamento foram realizados conforme descrito na metodologia, com 5 amostras de cada chumbador fixadas em cada substrato analisado. No entanto, como foi verificada a ocorrência de elevada variação nos resultados (dados brutos no APÊNDICE A e APÊNDICE B), para a realização da análise, em todos os conjuntos de 5 amostras descartou-se o resultado mais baixo. No Quadro 32 constam as médias das cargas últimas de tração aplicadas nos chumbadores químicos e mecânicos da Âncora em cada um dos substratos testados, com o respectivo desvio padrão e os desempenhos máximos e mínimos obtidos.

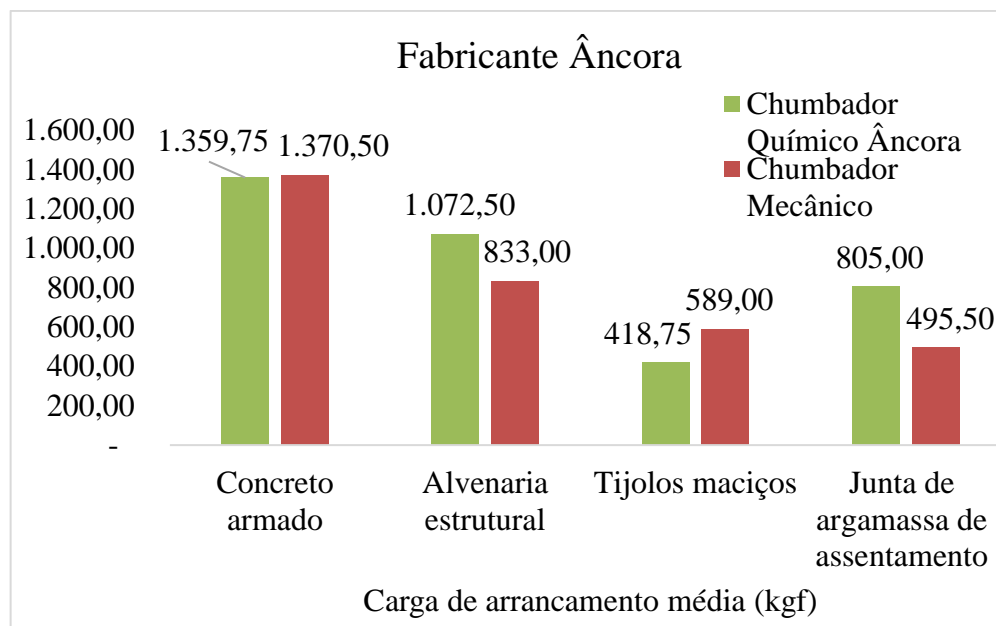
**Quadro 32 - Cargas máximas de tração aplicadas nos chumbadores químicos e mecânicos da Âncora**

Substrato	Chumbadores Âncora							
	Média (kgf)		Desvio Padrão (kgf)		Máximo (kgf)		Mínimo (kgf)	
	Químico	Mecânico	Químico	Mecânico	Químico	Mecânico	Químico	Mecânico
Concreto armado V3	1.359,75	1.370,50	17,25	53,28	1.370,00	1.444,00	1.334,00	1.322,00
Alvenaria estrutural	1.072,50	833,00	391,55	128,80	1.551,00	992,00	746,00	688,00
Tijolos maciços	418,75	589,00	105,22	62,13	540,00	658,00	284,00	534,00
Junta de argamassa de assentamento	805,00	495,50	259,53	114,74	1.154,00	637,00	585,00	368,00

Fonte: autora, 2019.

Através do Gráfico 9 constata-se que o concreto armado se apresentou como um bom substrato tanto para o chumbador químico como para o mecânico. Na sequência, quanto ao desempenho, o concreto foi seguido pela alvenaria estrutural grauteada, que também suportou cargas da ordem de 1.000 kgf; no entanto, nesse substrato percebeu-se um desempenho inferior do chumbador mecânico em relação ao químico. O substrato de tijolos maciços foi o que deu pior resposta ao chumbador químico, sendo que o chumbador mecânico apresentou um desempenho 40,65% superior a ele. Já na junta de argamassa de assentamento, verificou-se que o chumbador químico apresentou um desempenho 62,76% superior ao mecânico. Vale salientar que a junta de argamassa é porosa, por esse motivo, se a argamassa não é extremamente fraca, o chumbador químico tende a ter um melhor desempenho, pois consegue aderir bem ao furo.

**Gráfico 9 - Cargas de arrancamento médias resistidas pelos chumbadores Químico e Mecânico da Âncora nos diferentes substratos ensaiados**



Fonte: autora, 2019.

Fez-se também o mesmo levantamento utilizando produtos equivalentes de um segundo fabricante, ao passo que o propósito era verificar a resposta dos substratos ao arrancamento e não analisar um produto especificamente. As médias das cargas últimas de tração aplicadas nos chumbadores da Walsywa, fixados nos respectivos substratos analisados, estão apresentadas no Quadro 33, assim como o desvio padrão e os desempenhos máximos e mínimos.

**Quadro 33 - Cargas máximas de tração aplicadas nos chumbadores químicos e mecânicos da Walsywa**

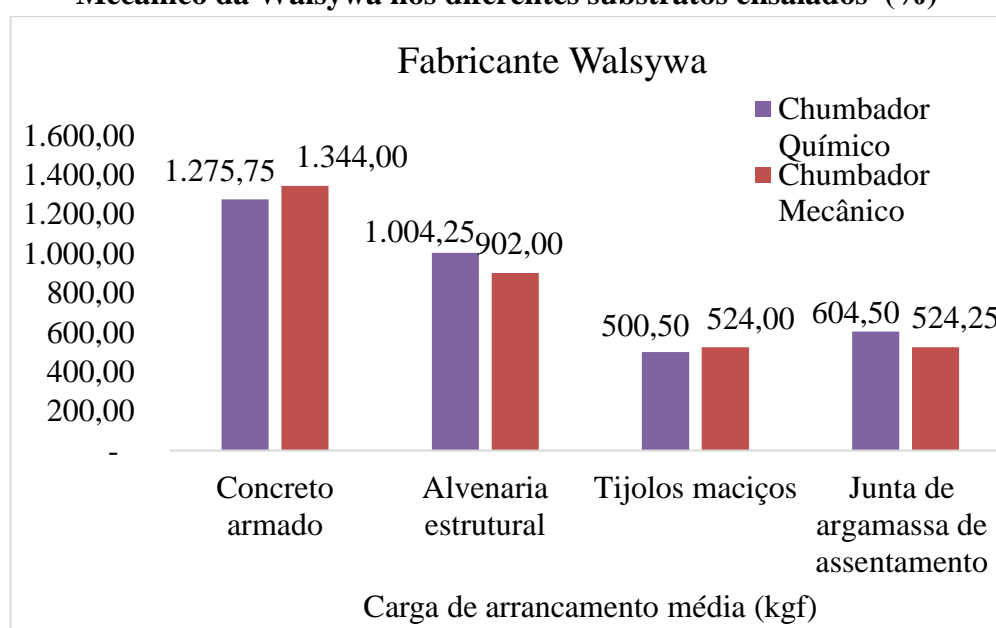
Substrato	Chumbadores Walsywa							
	Média (kgf)		Desvio Padrão (kgf)		Máximo (kgf)		Mínimo (kgf)	
	Químico	Mecânico	Químico	Mecânico	Químico	Mecânico	Químico	Mecânico
Concreto armado	1.275,75	1.344,00	115,40	68,94	1.362,00	1.434,00	1.169,00	1.282,00
Alvenaria estrutural	1.004,25	902,00	303,03	344,40	1.392,00	1.383,00	677,00	564,00
Tijolos maciços	500,50	524,00	173,99	43,35	736,00	576,00	366,00	478,00
Junta de argamassa de assentamento	604,50	524,25	193,39	134,17	824,00	725,00	436,00	444,00

Fonte: autora, 2019.

No Gráfico 10 identifica-se a comparação do desempenho dos chumbadores químico e mecânico do referido fabricante em cada um dos substratos verificados. Observa-se que as

melhores médias foram obtidas no substrato de concreto armado, mantendo a mesma escala de desempenho nos substratos observada para o fabricante anterior. No que tange a alvenaria estrutural, o desempenho foi adequado, sendo que o chumbador mecânico ofereceu uma resistência última 11,33% superior à do químico da Walsywa. O valor mais díspare entre os fabricantes foi o do chumbador químico fixado na junta de argamassa, que foi 24,90% inferior nesse contexto, mas ainda assim suportou uma carga superior à do chumbador mecânico fixado na junta.

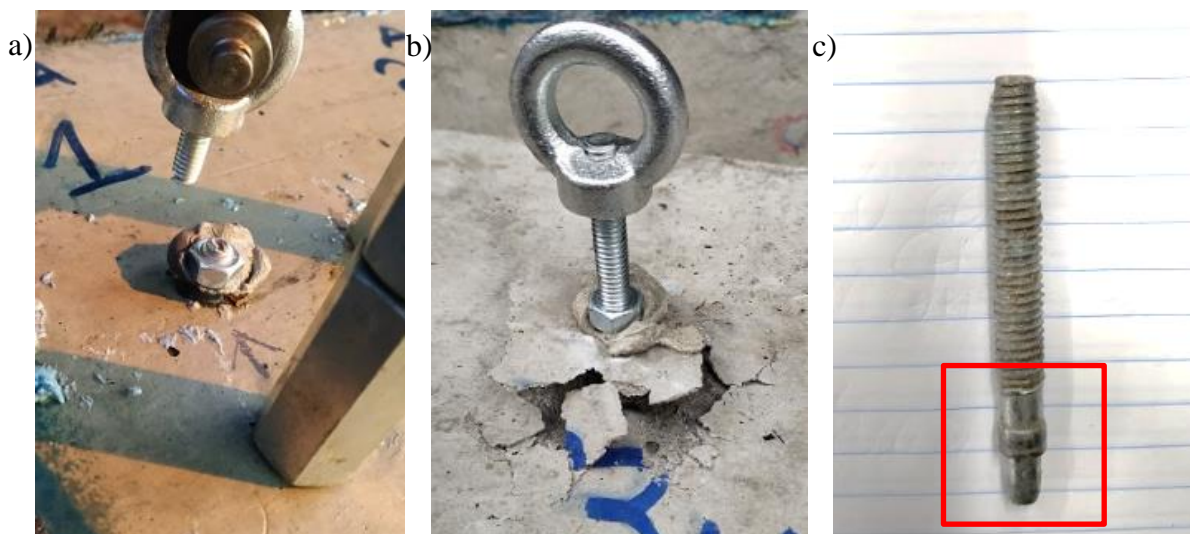
**Gráfico 10 - Cargas de arrancamento médias resistidas pelos chumbadores Químico e Mecânico da Walsywa nos diferentes substratos ensaiados (%)**



Fonte: autora, 2019.

Foi possível observar, através dos testes realizados, desvios padrão significativos. Essa variação pode se dar em virtude da execução, mas também está atrelada ao fato de existirem diversas interfaces em que pode ocorrer a ruptura, e cada uma delas oferece uma resistência a tração distinta. Na Figura 103 percebem-se três manifestações representativas de rupturas ocorridas no substrato de concreto armado, sendo estas a ruptura na porção da haste roscada, do substrato com formação de cone de ruptura e do próprio chumbador, que rompeu na sua porção mais espessa, que efetivamente atua na ancoragem no caso dos *parabolts*. Além disso, também tiveram casos de ruptura na própria rosca do chumbador.

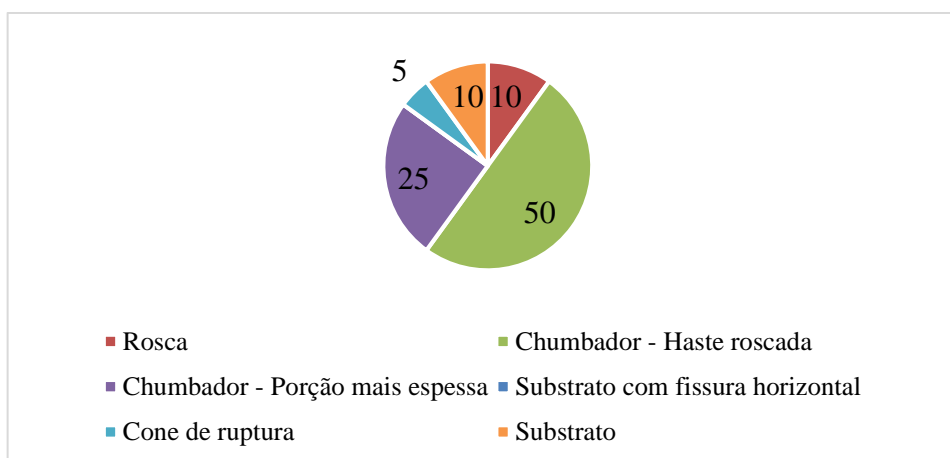
**Figura 103 - Ruptura na haste rosçada (a), no substrato com formação de cone de ruptura (b) e ruptura no *parabolt* em sua porção anteriormente mais espessa (c)**



Fonte: autora, 2019.

Analisando-se estatisticamente, no substrato de concreto armado, de acordo com o Gráfico 11, 50% das amostras arrancadas romperam na haste rosçada, 25% romperam na parte mais espessa o chumbador, 5% das amostras apresentaram formação de cone de ruptura, 10% das amostras romperam no substrato (chumbador foi arrancado por escorregamento de forma íntegra sem formação de cone de ruptura) e em 10% ocorreu a ruptura da rosca. Vale pontuar que nessa análise estão incluídas as amostras dos chumbadores químicos e mecânicos de ambos os fabricantes.

**Gráfico 11 - Formas de ruptura ocorridas no substrato de concreto armado (%)**



Fonte: autora, 2019.

Na Figura 104 são observadas rupturas do substrato com ocorrência de fissuração radial e formação de cone de ruptura. Além desses casos, ocorreram testes em que houve ruptura da rosca do chumbador e também ruptura do substrato com a visualização de fissuras horizontais.

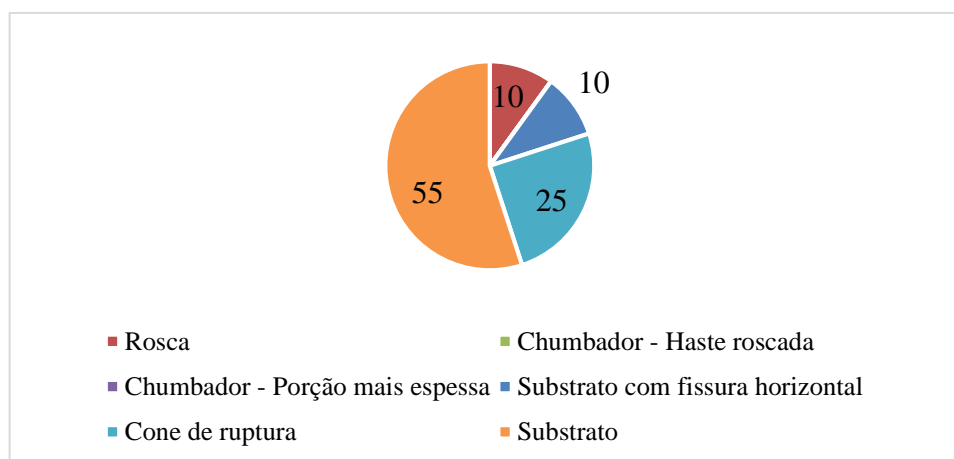
**Figura 104 - Ruptura do substrato em alvenaria estrutural com fissuras radiais (a) e cone de ruptura (b)**



Fonte: autora, 2019.

Conforme é expresso no Gráfico 12, dos testes de arrancamento executados para o substrato de alvenaria estrutural, 10% das rupturas foram na rosca do chumbador, 10% foram no próprio substrato com manifestação de fissura horizontal, 25% foram no substrato com formação de cone de ruptura, e 55% foram no substrato por escorregamento, sem manifestação de dano ao mesmo e nem ao chumbador.

**Gráfico 12 - Formas de ruptura ocorridas no substrato de alvenaria estrutural (%)**



Fonte: autora, 2019.

O substrato de tijolos maciços ofereceu cargas últimas de tração inferiores aos demais substratos, nesse sentido todas as rupturas se deram no substrato, no entanto em determinados casos verificou-se a ocorrência de fissuras horizontais e de cones de ruptura. A formação de cone de ruptura é evidenciada na Figura 105.

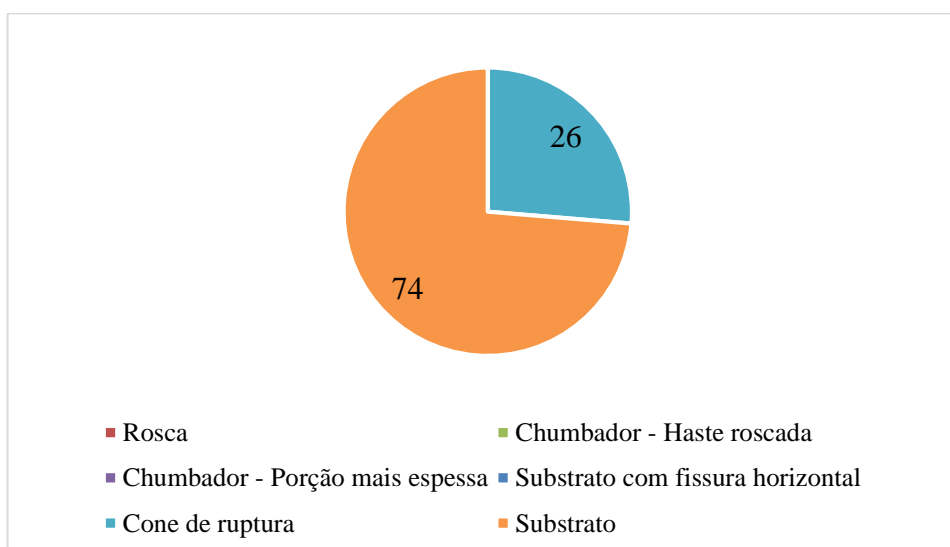
**Figura 105 - Ruptura do substrato de tijolo maciço, com formação de cone de ruptura**



Fonte: autora, 2019.

Nesse sentido, são demonstrados através do Gráfico 13 os percentuais das rupturas visualizadas nos testes de arrancamento feitos no substrato de parede de tijolos maciços com ancoragem diretamente sobre o tijolo. Consta-se que todas as rupturas ocorreram no substrato, mas em 26,32% das amostras ocorreu a formação de cone de ruptura.

**Gráfico 13 - Formas de ruptura ocorridas no substrato de tijolos maciços (%)**



Fonte: autora, 2019.

No que concerne o substrato da junta de argamassa, todas as rupturas ocorreram no substrato por escorregamento, isto é, o chumbador foi removido sem danificar o conjunto. De fato, esse comportamento é esperado da junta de argamassa de assentamento, ao passo que se trata de uma argamassa menos resistente, para absorver deformações. No entanto, as juntas de argamassa suportaram cargas de arrancamento representativas.

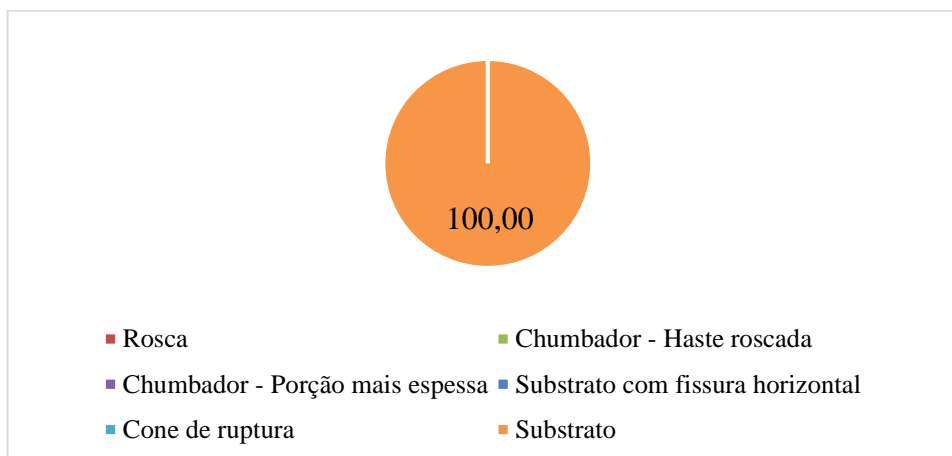
**Figura 106 – Ruptura na junta de argamassa após a realização do teste de arrancamento do chumbador. (%)**



Fonte: autora, 2019.

O Gráfico 14 representa de forma esquemática os padrões de ruptura das juntas de argamassa. Através dele é possível confirmar que as rupturas nesse substrato tiveram um padrão constante.

**Gráfico 14 - Formas de ruptura no substrato de juntas de argamassa (%)**



Fonte: autora, 2019.



Foi pontuado que cada tipo de ruptura distinto, no substrato, na rosca, na haste rosca e demais elementos tendem a oferecer resistências distintas a cargas de arrancamento, em mesmo tipo de substrato. Tendo isso em vista, quanto as cargas médias de ruptura conforme o tipo de falha ocorrida nos chumbadores químicos (dentre as amostras contabilizadas nas demais análises), verificou-se que no substrato de concreto armado as amostras cuja ruptura foi na haste rosca ocorreram sob a ação de cargas 14,20% superiores às que se deram por cone de ruptura. Já para a alvenaria estrutural, os chumbadores químicos que romperam no substrato suportaram cargas 6,87% superiores em relação aos com formação de cone de ruptura.

Por fim, analisando-se as cargas máximas de tração conforme o tipo de ruptura ocorrida nos testes de arrancamento dos chumbadores mecânicos, detecta-se que no caso da alvenaria estrutural, os chumbadores que romperam no substrato suportaram cargas 9,17% superiores aos que romperam na rosca, que por sua vez suportaram cargas 20,34% superiores àqueles em que houve ruptura com formação de fissura horizontal. Quanto aos substratos de concreto armado, os que romperam na haste rosca suportaram cargas 2,61% superiores aos que a ruptura ocorreu na rosca e 2,30% superiores em relação aos em que ocorreu a ruptura na parte de trás mais espessa do chumbador, que é embutida no substrato.

Foram calculadas as tensões últimas de tração em Mega Pascal a que cada uma das amostras foi exposta, dividindo-se a carga em Newtons pela área da seção transversal do chumbador; esses resultados encontram-se nos APÊNDICES A, B, C e D. No entanto, vale observar que essa tensão aplicada, no caso dos *parabolts*, é resistida majoritariamente por sua região posterior mais espessa que provoca o travamento dentro do substrato. E, no caso dos chumbadores químicos, é resistida em sua maior parte pela superfície lateral do chumbador, em virtude da aderência da cola em todo o perímetro da haste.

## 5 CONCLUSÕES

As fachadas ventiladas constituem um sistema construtivo de revestimentos externos ainda jovem no contexto brasileiro, porém já existem diversos empreendimentos que fazem o uso desse tipo de invólucro. Além do desempenho energético, a proposta do revestimento não aderido com juntas abertas é de proteger o substrato das intempéries e ao mesmo tempo dirimir a ocorrência de patologias por umidade, uma vez que as aberturas permitem a ventilação mantendo o conjunto seco, assim como reduzir descolamentos, trincas e eflorescências. Como não existe uma norma brasileira para o projeto e dimensionamento desse tipo de revestimento, fez-se um levantamento experimental a fim de contribuir para um melhor entendimento dos esforços ocorridos nas interfaces do sistema, para verificar qual a interferência da escolha do tipo de substrato no dimensionamento da quantidade de chumbadores para a ancoragem da estrutura, uma vez conhecido o esforço de sucção proveniente do vento.

Através dos ensaios de caracterização do revestimento, constatou-se que algumas características do material adotado interferem no seu desempenho quando fixados de forma não aderida. Inicialmente, a partir dos ensaios de determinação dos índices físicos, verificou-se que a maior porosidade do revestimento ocasiona um maior índice de absorção de água e com isso há um incremento na carga do peso próprio do revestimento na condição saturada. Para o granito branco Itaúnas, com porosidade aparente de 0,90% (o mais poroso dentre os analisados), observou-se um incremento de 0,68 kg/m<sup>2</sup> de material. Haja vista que em granitos, que no geral são pouco porosos, verificou-se esse incremento de massa, nota-se que para revestimentos mais porosos deve-se ter ainda mais cuidado. Outra característica que é influenciada pela saturação do revestimento vem a ser a resistência a flexão. Para o granito Preto São Gabriel, que obteve maior diferença de resistências nas condições seca e saturada dos tipos analisados, foi percebido que na condição saturada as resistências a flexão decaíram em 14,20%.

Comparando-se as tensões de ruptura verificadas através do ensaio de flexão padrão da norma, com as tensões de ruptura do conjunto granito e ancoragem, é possível constatar que o conjunto obteve resistência à flexão significativamente inferior e que a forma de fixação através de furos nos bordos da peça ocasiona uma concentração de cargas, gerando o esforço de tração na seção longitudinal do furo quando a placa é solicitada transversalmente. Fazendo o contraponto das tensões de flexão e tração da seção do furo encontradas para a carga última que ocasionou a ruptura do conjunto, com relação à carga proveniente do vento calculada pela projetista da fachada no contexto da obra em que o revestimento foi aplicado, todas as tensões

de ruptura foram superiores a essa solicitação. Em síntese, por conta de o granito ser um material de revestimento com resistências mais elevadas, mesmo com a concentração de tensões ocasionada pela redução da sua seção transversal resistente foi garantida a segurança da peça, no entanto, para se ter um coeficiente de segurança verossímil convém verificar essa condição de tração da seção longitudinal do furo.

Quanto ao ensaio de impacto de corpo duro, verificou-se que as energias de ruptura médias entre os três tipos de granito ficaram entre 3,63J e 4,22J. Isto é, uma carga acidental dessa magnitude pode ocasionar a ruptura abrupta da peça e sua posterior queda. Conforme demonstrado no referencial teórico, Sousa (2016) recomenda que ao nível do solo, na zona de fácil acesso de pessoas, deve-se apresentar uma resistência ao impacto de corpo duro de 3 a 10 joules, portanto, de acordo com esse critério os resultados encontram-se dentro do aceitável. O ensaio padrão por norma é realizado a partir do assentamento da placa de revestimento em um colchão de areia. Cogitou-se que esse colchão poderia estar funcionando como amortecedor do impacto; por esse motivo, realizou-se um ensaio complementar no qual a placa foi assente sobre quatro apoios e recebeu impactos de mesma magnitude. Observou-se um decréscimo do desempenho da rocha de 11,61% a 13,13% em relação à resistência ao impacto de corpo duro padrão, mas ainda assim em todas as ocorrências a energia de ruptura foi superior a 3J. Com isso, averiguou-se que a resistência a esse tipo de impacto não é apenas uma característica do material constituinte do revestimento, também está atrelada à forma de fixação no local.

Ademais, por meio dos testes de arrancamento realizados detectou-se que para os dois fabricantes o substrato com melhor desempenho foi o concreto armado, que suportou maiores cargas de ruptura por tração. Embora nessa base os chumbadores químicos e mecânicos tenham apresentado resistências muito semelhantes, para os dois fabricantes os mecânicos mostraram-se ligeiramente mais eficientes. Na sequência, vem a alvenaria estrutural, que, considerando os resultados obtidos para os dois fabricantes, teve um desempenho 21,20% inferior ao concreto armado para os chumbadores químicos e 36,08% inferior para os chumbadores mecânicos, mas ainda assim suportou cargas médias entre 830,00 kgf e 1070,00kgf. Observa-se que nesse substrato o *parabolt* se torna menos eficiente do que os chumbadores químicos por conta de ele se travar mecanicamente no substrato seu desempenho está diretamente atrelado à resistência do mesmo e, o graute dentro do bloco canaleta possuía resistência inferior à da viga.

Os resultados mais baixos entre os substratos analisados ocorreram nos tijolos maciços e nas juntas de argamassa. Conforme foi apresentado no referencial teórico, o substrato de parede de tijolos maciços também é entendido como confiável, por ser sólido em toda a sua

extensão. Não obstante, quando rebocada a parede, perde-se a referência do que são as juntas de argamassa e do que são os tijolos, por esse motivo foram fixadas amostras nesses dois substratos existentes na parede, para verificar a existência de disparidade de cargas últimas de arrancamento suportadas. Em relação substrato de tijolos maciços, foi onde ocorreu o pior desempenho dos chumbadores químicos, nesse substrato os chumbadores mecânicos mostraram-se mais adequados. Já na junta de argamassa os chumbadores químicos tiveram bom desempenho, uma vez que a argamassa é porosa, ocasionando melhor ancoragem química do produto. Verifica-se que na junta de argamassa houve variação entre os resultados apresentados pelos fabricantes no caso dos chumbadores químicos, a média de cargas últimas para o chumbador químico de um fabricante foi de 805 Kgf, enquanto para o outro foi de 604,50Kgf, ou seja, não só a alteração do substrato influi no desempenho, mas, por vezes, também do fabricante. Quanto às formas de ruptura na parede de tijolos maciços, todas ocorreram no substrato.

Em conclusão, ao se projetar uma fachada ventilada ou até mesmo um revestimento não aderido com as juntas seladas, preliminarmente deve-se saber qual o substrato a ser utilizado no empreendimento, para assim definir qual o tipo de chumbador é mais adequado a ele. Em substratos resistentes e homogêneos o chumbador mecânico e o químico se mostram como alternativas eficazes, no entanto o químico representa um investimento financeiro substancialmente superior. Quando se está trabalhando com substratos porosos e menos resistentes, o chumbador químico vem a ser uma alternativa funcional. Posterior a essa análise, deve-se compreender qual a magnitude dos esforços ocorridos no sistema, para definir as dimensões e quantidades de ancoragens.

O estudo de dimensionamento deve abranger desde o peso próprio crítico do revestimento saturado, carga proveniente do vento, suas resistências à flexão, a cargas acidentais e, tensões ocorridas nas demais interfaces em virtude da escolha do sistema de fixação, particulares caso a caso. No contexto de ancoragens pontuais para revestimentos pesados, é importante garantir que o substrato e o chumbador adotados suportem o esforço cortante oriundo do peso próprio, o arrancamento provocado tanto pelo esforço de sucção do vento como pelo tombamento da peça de revestimento nas ancoragens situadas em sua porção superior, deve-se verificar também a resistência do revestimento em pontos de acúmulo de tensões, normalmente situados na interface entre a fixação e o revestimento. No âmbito da fixação através de *inserts* por furação nos bordos do revestimento, constatou-se que a ruptura na seção longitudinal do furo, cuja inércia da seção é reduzida à metade, se dá por tensão de

tração da seção, e, essas tensões são significativamente inferiores às tensões resistentes à flexão verificadas para o revestimento propriamente dito. Nesse sentido, é importante que o coeficiente de segurança adotado leve em conta essa tensão crítica, para a garantia de sua estabilidade global.

Por fim, existe uma ampla gama de temas a serem aprofundados no que diz respeito ao comportamento estrutural de fachadas ventiladas. Como sugestão para trabalhos futuros vale destacar os seguintes pontos:

- Avaliação de desempenho, enquanto suporte de fachadas não aderidas, de substratos com variação de seção nos materiais constituintes, como a alvenaria de vedação de tijolos furados, a partir de testes de arrancamento de chumbadores químicos;
- Análise aprofundada sobre os esforços provenientes do vento através da cavidade ventilada da fachada;
- Formas de evitar a queda de revestimentos fixados de forma não aderida no caso de ruptura advinda de cargas acidentais (por exemplo, o uso de fibras para reforço revestimentos);
- Estudo sobre manutenção e inspeção de fachadas de revestimento não aderido com juntas fechadas.

## REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 548. *Polymer-modified concrete*. American Concrete Institute, 2003.

ANCORA. *Chumbador PBA*. Disponível em: <<http://ancora.com.br/site/portfolios/chumbador-pba/>>. Acesso em: 01 set. 2019.

ANCORA. *QPO 300*. Disponível em: <<http://ancora.com.br/site/portfolios/qpo300/>>. Acesso em: 01 set. 2019.

ARAÚJO, Valdir. *Tecnologia de fachadas em alumínio e vidro: fachadas de alumínio, pele de vidro e structural glazing*. Salto: Alumibras – Alumidia, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8953: Concreto para fins estruturais: Classificação por grupo de resistência*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações*. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. *NBR 11675: Divisórias leves internas moduladas – verificação da resistência aos impactos*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 14827: Chumbadores instalados em alvenaria – determinação da resistência à tração e ao cisalhamento*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 15575-4: Edificações habitacionais - Desempenho parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas — SVVIE*. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. *NBR 15845-2: Rochas para revestimentos - Parte 2: Determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 15845-6: Rochas para revestimentos - Parte 6: Determinação o módulo de ruptura (flexão por carregamento em três pontos)*. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_. *NBR 15845-8: Rochas para revestimentos - Parte 8: Determinação da resistência ao impacto de corpo duro*. Rio de Janeiro, 2015.

BBC. *Grenfell Tower: What happened*. Reino Unido, jun. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/uk-40301289>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

BBC. *The problem with the skyscraper wind effect*. Jul. 2015. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/magazine-33426889>>. Acesso em: 19 maio 2019.

BBC. *How the tragedy unfolded at Grenfell Tower*. Mai. 2018. Disponível em: <<https://www.bbc.com/news/uk-england-london-40272168>>. Acesso em: 19 maio 2019.

BELLEI, Ildony H. *Interfaces aço-concreto*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2006. 93 p. (Série 'Manual de Construção em Aço').

BLESSMANN, Joaquim. *Acidentes causados pelo vento*. 4. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

CASSEL, Eunice. *Paginação de Fachada*. Porto Alegre, 2018.

CASSEL, Eunice. *Memorial descritivo*. Porto Alegre, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE SÃO PAULO. *Instrução técnica 07*. Separação entre edificações (isolamento de risco), ed. 2018.

\_\_\_\_\_. CBPMESP. *Instrução Técnica 08*. Segurança Estrutural nas Edificações, ed. 2018.

\_\_\_\_\_. CBPMESP. *Instrução Técnica 09*. Compartimentação Horizontal e Compartimentação Vertical, ed. 2018.

COSTA, Ennio Cruz da. *Ventilação*. 1. ed. São Paulo: E. Edgard Blücher, 2005.

CRESPO, Ana Maria Leon. *History of double skin facade: early double skins*. 199?.

Disponível em:

<<http://www.civil.uwaterloo.ca/beg/ArchTech/History%20of%20Double%20Skin.pdf>>.

Acesso em: 27 mar. 2019.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. *Aço e arquitetura: estudo de edificações no Brasil*. São Paulo: Zigurate, 2001. 171 p.

DIREITO, Joana Ferreira. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). *Estudo de segurança contra incêndio em fachadas ventiladas* – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2011.

DORVO. *Inserts metálicos*. Disponível em: <<http://dorvo.com.br/inserts-metalicos>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

DUTRA, Miguel Resendes. (Programa de Mestrado em Engenharia Civil) *Caracterização de revestimentos em fachadas ventiladas: análise do comportamento* – Instituto Superior Técnico Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

EIRAS, Carlos Quintáns. *Cerramientos Pesados*. Tectônica: monografias de arquitetura, tecnologia e construcción. Cerramientos Pesados: Aplacados y Paneles – Envolvertes (II). Barcelona, 12-27, 1995.

ELIANE TEC. *Projetos*. Disponível em: <<https://elianetec.com/projetos/fachadas-ventiladas>>. Acesso em: 18 maio 2019.

ENGENHOSUL OBRAS LTDA. *Empreendimento de grande porte UNISINOS Porto Alegre*. Porto Alegre: Sinduscon Premium, 2017.

FAVEGRUP. Catálogo técnico *Faveton Terracota: facade ventilated system*. Espanha, 2019.

FIGUEROLA, Valentina. *Fachada ventilada curva confere conforto térmico, rapidez de execução e facilidade de manutenção*. TÉCHNE: revista de tecnologia da construção. São

Paulo: Pini, Set. 2016. Disponível em: < <https://techne.pini.com.br/2016/09/fachada-ventilada-curva-confere-conforto-termico-rapidez-de-execucao-e-facilidade-de-manutencao/>>. Acesso em: 11 maio 2019.

FUNDERMAX. Catálogo técnico: *Exterior*. Jul. 2018.

G1. *Temporal com ventos de quase 120 km/h causa transtornos no RS*. Jan. 2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2016/01/chuva-causa-transtornos-e-derruba-telhado-de-shopping-em-porto-alegre.html>>. Acesso em: 31 maio 2019.

GELINSKI, Gilmar. *Fachadas ventiladas no mercado brasileiro: Produzidos no país ou importados, sistemas de fachadas ventiladas começam a ser difundidos em novos projetos e também em obras de retrofit no mercado brasileiro*. Finestra. Ed. 77. Disponível em: < <https://www.arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/tecnologia---especial-fachadas-fachadas-ventiladas>>. Acesso em: 19 maio 2019.

GEROLLA, Giovanni.; FERREIRA, Kelly. *Como especificar fachadas ventiladas: Desempenho térmico se alia à eficiência e produtividade da construção industrializada*. TÉCHNE: revista de tecnologia da construção. Ed. 231. São Paulo: Pini, Jul. 2013.

GRIFFIN, Adrew. *Grenfell Tower cladding that may have led to fire was chosen to improve appearance of Kensington block of flats*. Independent, Reino Unido, jun. 2017. Disponível em: < <https://www.independent.co.uk/news/uk/home-news/grenfell-tower-cladding-fire-cause-improve-kensington-block-flats-appearance-blaze-24-storey-west-a7789951.html>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

GRIPP, Ronaldo de Assis. Monografia (Especialização em Engenharia Civil) *A importância do projeto de revestimento de fachada, para a redução de patologias*. – Universidade Federal de Minas Gerais. Vitória, 2010.

JUNIOR, Amaury Antunes Siqueira. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) *Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato* – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

KISS, Paulo. *Pulmões Prediais*. TÉCHNE: revista de tecnologia da construção. Ed. 39. São Paulo: Pini, Mar. 1999.

LAMBERTS, Roberto; PEREIRA, F. O. R. *Eficiência energética na arquitetura*. São Paulo: PW, 1997. 188 p.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes. (Dissertação de mestrado em Estruturas e Construção Civil) *Energia incorporada de fachadas ventiladas : estudo de caso para edificação habitacional em Brasília – DF* – Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MAHFUZ, Edson. *Edson Mahfuz fala sobre as fachadas contemporâneas*. Au educação: Conteúdo para professores e estudantes. São Paulo: Pini, Jul. 2009.

MANETTI, Luiz Henrique. Portobello Técnica: *Palestra sobre cases de escolha de sistema de fachadas ventiladas*. mar. 2015.



MARTINS, José Augusto Stoffel Maia Titto. (Programa de Mestrado em Engenharia Civil) *Análise comportamental do fogo em sistemas de fachada com isolamento pelo exterior* – Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2009.

MMC LAB CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA. *Ensaio do sistema de ancoragem*. Porto Alegre, 2019.

MMC LAB CONTROLE TECNOLÓGICO LTDA. *Relatório de queda de revestimento em Condomínio Residencial*. Porto Alegre, 2019.

MONTENEGRO, Gildo A. *Ventilação e cobertas: estudo teórico, histórico e descontraído: a arquitetura tropical na prática*. São Paulo: E. Blücher, 1984. 128 p.

MOURA, Eride. *Fachadas Respirantes: Fachadas ventiladas combinam funções estéticas com bom desempenho térmico, além de contribuir para reduzir cargas do condicionamento de ar*. TÉCHNE: revista de tecnologia da construção. Ed. 144. São Paulo: Pini, Mar. 2009.

OLIVEIRA, Luciana Alves de. (Programa de Doutorado em Engenharia Civil). *Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves* – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. *Estruturas de aço: dimensionamento prático*. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

PORTOBELLO. *Catálogo Portobello técnica: arquitetura em movimento*. 2016.

POYATOS, Miguel Angel Zapata. *La fachada ventilada*. Universitat de Lleida. Escola Politècnica . Lleida, 2012.

RIESCO CHUECA, PILAR (Coord.). *FACADES*. Barcelona: Monsa, 2002.

ROCHA, Ana Paula. *Fachada Ventilada: Industrial e sem desperdício de resíduos, sistema de fachada com cerâmica extrudada começa a se disseminar em edifícios comerciais*. TÉCHNE: revista de tecnologia da construção. Ed. 176. São Paulo: Pini, Nov. 2011.

SAHADE, Renato. *A Fachada Ventilada: conceito, vantagens e desvantagens*. In: Concrete Show, South America Brazil. São Paulo, 2017.

SANTA CRUZ DO SUL. Código de Obras do Município de Santa Cruz do Sul promulgado em 17 de janeiro de 2001. Santa Cruz do Sul: Lei complementar 66, 2001.

SANTOS, Altair. *Fachadas ventiladas vão além da função estética*. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/fachadas-ventiladas-alem-estetica/>>. Acesso em: 18 maio 2019.

SOUSA, Fernando Manuel Fernandes. Dissertação (Programa de Mestrado em Engenharia Civil) *Fachadas ventiladas em edifícios: tipificação de soluções e interpretação do*

*funcionamento conjunto suporte, acabamento* - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2010.

SOUSA, H. D.; et al. *Fachadas de Edifícios*. 1. ed. Porto: Lidel, 2016.

SOUSA, Hipólito de. *Alvenarias em Portugal: Situação actual e perspectivas futuras*. In: SEMINÁRIO DE PAREDES DE ALVENARIA. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2002.

SOUSA, Hipólito José Campos de. (Dissertação de Doutoramento em Engenharia Civil). *Melhoria do comportamento térmico e mecânico das alvenarias por actuação da geometria dos elementos: Aplicação a blocos de betão e argila expandida* – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 1996.

ULMA ARCHITECTURAL. *A nova sede do sinafer-sp reformada com a fachada ventilada da ULMA*. Disponível em: <<http://www.ulmaarchitectural.com/br/fachadas-ventiladas/projetos/a-nova-sede-do-sinafer-sp-reformada-com-a-fachada-ventilada-da-ulma/>>. Acesso: 19 maio 2019.

VARGAS, Luciano. Notas de aula - *Curso de Elaboração de PPCI*. UNISC, 2017.

WALSYWA. *Chumbador químico de injeção WQI 44*. Disponível em: <<https://www.walsywa.com.br/chumbador-quimico-de-injecao-wqi-44-300ml/>> Acesso em: 1 set. 2019.

WALSYWA. *Chumbador WB*. Disponível em: <<https://www.walsywa.com.br/chumbador-wb/>> Acesso em: 1 set. 2019.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Mecânicos da Âncora e respectivas tensões de tração calculadas

Chumbador Mecânico Âncora							
Ø 5/16" - Profundidade do Furo: 6,50mm - Broca utilizada: 8							
Substrato	Amostra	Característica da ruptura	Carga de movimentação do chumbador (Kgf)	Carga máxima suportada (Kgf)	Tração última aplicada no chumbador (Mpa)	Média (Kgf)	Desvio Padrão (kgf)
Concreto armado (V3)	1	Rompeu na rosca.	Não movimentou.	1133	224,55	1370,5	53,28
	2	Rompeu na rosca.	Não movimentou.	1343	266,17		
	3	Rompeu no concreto.	1000	1373	272,12		
	4	Rompeu na parte de trás do chumbador, deixando a parte mais espessa do parabolte remanescente dentro da viga.	1300	1444	286,19		
	5	Rompeu no chumbador, porção roscada.	Não movimentou.	1322	262,01		
Alvenaria estrutural	1	Chumbador foi arrancado e rompeu o bloco gerando fissura horizontal.	592	688	136,36	833	128,7969979
	2	Chumbador foi arrancado e rompeu o bloco gerando fissura horizontal.	487	636	126,05		
	3	Arrancou o chumbador íntegro do substrato.	771	785	155,58		
	4	Arrancou o chumbador íntegro do substrato.	777	867	171,83		
	5	Arrancou o chumbador íntegro do substrato.	713	992	196,61		
Tijolos maciços	1	Rompeu no tijolo.	204	539	106,83	589	62,13426323

	2	Rompeu no tijolo.	427	658	130,41		
	3	Rompeu no tijolo.	218	534	105,84		
	4	Rompeu no tijolo.	327	429	85,02		
	5	Rompeu no tijolo.	311	625	123,87		
Junta de argamassa assentamento de tijolos maciços	1	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	180	449	88,99	495,5	114,741739
	2	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	113	368	72,94		
	3	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	65	247	48,95		
	4	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	178	528	104,65		
	5	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	286	637	126,25		

**APÊNDICE B – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Químicos da Âncora e respectivas tensões de tração calculadas**

Chumbador Químico Âncora							
Ø 5/16" - Profundidade do Furo: 8,00mm - Broca utilizada: 10							
Substrato	Amostra	Característica da ruptura	Carga de movimentação do chumbador (Kgf)	Carga máxima suportada (Kgf)	Tração aplicada no chumbador (Mpa)	Média (Kgf)	Desvio Padrão (kgf)
Concreto armado (V2)	1	Rompeu na haste roscada.	877	1366	270,73	1359,75	17,25060385
	2	Rompeu na haste roscada.	Não movimentou.	1369	271,33		
	3	Rompeu na haste roscada.	Não movimentou.	1334	264,39		
	4	Rompeu na haste roscada.	Não movimentou.	1313	260,23		
	5	Rompeu na haste roscada.	Não movimentou.	1370	271,52		
Alvenaria estrutural	1	Chumbador foi sacado para fora sem danificar substrato.	590	759	150,43	1072,5	391,5477834
	2	Chumbador foi sacado para fora danificando superficialmente o bloco.	650	1234	244,57		
	3	Chumbador foi sacado para fora sem danificar substrato.	470	746	147,85		
	4	Trincou significativamente bloco e arrancou chumbador.	1200	1551	307,40		
	5	Chumbador foi sacado para fora sem danificar substrato.	420	600	118,92		
Tijolos maciços	1	Ruptura do substrato formando cone de ruptura.	110	437	86,61	418,75	105,2215916

	2	Ruptura do substrato formando cone de ruptura.	140	284	56,29		
	3	Ruptura do substrato formando cone de ruptura, trincando o tijolo e o trazendo para fora.	272	414	82,05		
	4	Ruptura do substrato formando cone de ruptura.	48	114	22,59		
	5	Ruptura do substrato formando cone de ruptura, com trincas no tijolo.	102	540	107,02		
Junta de argamassa assentamento de tijolos maciços	1	Ruptura do substrato.	800	1154	228,72	805	259,5290607
	2	Ruptura do substrato. Gerou fissuras nos tijolos adjacentes.	421	585	115,94		
	3	Ruptura do substrato.	655	849	168,27		
	4	Ruptura do substrato.	477	632	125,26		
	5	Ruptura do substrato.	100	137	27,15		

**APÊNDICE C – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Mecânicos da Walsywa e respectivas tensões de tração calculadas**

Chumbador Mecânico Walsywa							
Ø 5/16" - Profundidade do Furo: 6,50mm - Broca utilizada: 8							
Substrato	Amostra	Característica da ruptura	Carga de movimentação do chumbador (Kgf)	Carga máxima suportada (Kgf)	Tração aplicada no chumbador (Mpa)	Média (Kgf)	Desvio Padrão (kgf)
Concreto armado (V2)	1	Rompeu na parte de trás do chumbador, deixando a parte mais espessa do parabol remanescente dentro da viga.	Não movimentou.	1282	254,08	1344	68,93958708
	2	Rompeu na parte de trás do chumbador, deixando a parte mais espessa do parabol remanescente dentro da viga.	Não movimentou.	1361	269,74		
	3	Rompeu na parte de trás do chumbador, deixando a parte mais espessa do parabol remanescente dentro da viga.	Não movimentou.	1271	251,90		
	4	Rompeu no chumbador, porção roscada.	Não movimentou.	1434	284,21		
	5	Rompeu na parte de trás do chumbador, deixando a parte mais espessa do parabol remanescente dentro da viga.	Não movimentou.	1299	257,45		
Alvenaria estrutural	1	Arrancou o chumbador íntegro do substrato.	200	564	111,78	902	344,4038327
	2	Rompeu na rosca.	Não movimentou.	521	103,26		
	3	Começou a movimentar e então rompeu na rosca. A carga foi reaplicada e rompeu na rosca novamente com o mesmo máximo.	820	828	164,10		
	4	Arrancou o chumbador íntegro do substrato.	678	833	165,10		
	5	Arrancou o chumbador íntegro do substrato.	465	1383	274,10		

Tijolos maciços	1	Rompeu no tijolo.	440	440	87,21	524	43,35127834
	2	Rompeu no tijolo.	465	576	114,16		
	3	Rompeu no tijolo.	471	501	99,29		
	4	Rompeu no tijolo.	254	541	107,22		
	5	Rompeu no tijolo.	381	478	94,74		
Junta de argamassa assentamento de tijolos maciços	1	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	329	725	143,69	524,25	134,174948
	2	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	137	462	91,57		
	3	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	201	466	92,36		
	4	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	22	444	88,00		
	5	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa.	155	405	88,00		



**APÊNDICE D – Dados brutos dos testes de arrancamento dos chumbadores Químicos da Walsywa e respectivas tensões de tração calculadas**

Chumbador Químico Walsywa							
Ø 5/16" - Profundidade do Furo: 8,00mm - Broca utilizada: 10							
Substrato	Amostra	Característica da ruptura	Carga de movimentação do chumbador (Kgf)	Carga máxima suportada (Kgf)	Tração aplicada no chumbador (Mpa)	Média (Kgf)	Desvio Padrão (kgf)
Concreto armado (VT)	1	Rompeu na haste roscada	Não movimentou	1289	255,47	1275,75	115,3964182
	2	Rompeu na haste roscada	Não movimentou	1283	254,28		
	3	Rompeu no concreto, formando cone de ruptura.	1000	1169	231,69		
	4	O chumbador químico foi sacado para fora do furo, danificando superficialmente o concreto da viga e carregando partículas de concreto aderidas a sua superfície.	1200	1362	269,94		
	5	Rompeu a rosca da haste roscada com 680 kgf, após aplicou-se novamente carga e a ruptura ocorreu no substrato.	1000	1092	216,43		
Alvenaria estrutural	1	Chumbador químico foi arrancado do substrato, danificando superfície do bloco, com formação de cone de ruptura.	330	884	175,20	1004,25	303,025164
	2	Chumbador químico foi arrancado do substrato, danificando superfície do bloco, com formação de cone de ruptura.	525	1064	210,88		

	3	Chumbador químico foi arrancado do substrato, danificando superfície do bloco, com formação de cone de ruptura.	454	677	134,18		
	4	Chumbador químico foi arrancado do substrato, danificando superfície do bloco, com formação de cone de ruptura.	262	1392	275,89		
	5	Chumbador químico foi arrancado do substrato, danificando superfície do bloco, com formação de cone de ruptura.	153	384	76,11		
Tijolos maciços	1	Rompeu no tijolo.	232	372	73,73	500,5	173,9913791
	2	Nítido problema de cura do produto, possivelmente não foi adequadamente homogeneizado no misturador.	27	41	8,13		
	3	Rompeu no tijolo.	209	366	72,54		
	4	Rompeu no tijolo.	104	528	104,65		
	5	Rompeu no tijolo.	200	736	145,87		
Junta de argamassa assentamento de tijolos maciços	1	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa).	219	287	56,88	604,5	193,3864869
	2	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa).	212	436	86,41		
	3	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa).	318	448	88,79		
	4	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa).	249	824	163,31		
	5	Ruptura do substrato (chumbador foi sacado para fora trazendo junto a argamassa).	402	710	140,72		