

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**KARINA FELISBINO CAMPOS**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE  
FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA  
ESPESSURA**

**Florianópolis, 2011.**



**KARINA FELISBINO CAMPOS**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE  
FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA  
ESPESSURA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ph.D. Humberto Ramos Roman.

**Florianópolis, 2011.**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária  
da  
Universidade Federal de Santa Catarina

C198d Campos, Karina Felisbino

Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura [dissertação] / Karina Felisbino Campos ; orientador, Humberto Ramos Roman. - Florianópolis, SC, 2011.

187 p.: il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Fachadas - Ventilação. 3. Porcelanatos. 4. Alumínio - Estruturas. I. Roman, Humberto Ramos. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

**KARINA FELISBINO CAMPOS**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE  
FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA  
ESPESSURA**

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, março de 2011.

---

Prof.<sup>a</sup> Janaíde Cavalcante Rocha, Dra.  
Coordenadora do PPGEC

---

Prof. Humberto Ramos Roman, Ph.D.  
Orientador

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Philippe Jean Paul Gleize, Dr.-Ing (UFSC/ECV)

---

Prof. Orestes Estevam Alarcon, Dr. (UFSC/EMC)

---

Prof. José Octavio Armani Paschoal, Ph.D. (CCB)



À minha mãe, Maria Helena  
Felisbino Campos, pelo amor,  
dedicação e confiança.





## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida, iluminação e inspiração para realização deste trabalho.

À minha mãe, Maria Helena Felisbino Campos, pelo amor, pela minha educação e apoio incondicional. Aos meus irmãos Fábio Campos e Marisângela Campos pela amizade e companheirismo. Aos meus sobrinhos Guilherme Pavei Campos e Kauã Gabriel Campos Knabben, pela alegria proporcionada à nossa família.

Ao Prof. Ph.D. Humberto Ramos Roman, pelo interesse, atenção e disponibilidade na orientação.

Aos professores e funcionários do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil e à Universidade Federal de Santa Catarina, pela possibilidade da realização deste mestrado.

A José Celso Barbosa Jr., Superintendente de Planejamento e Novos Negócios da empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos pelo incentivo, apoio e confiança no desenvolvimento das atividades profissionais relacionadas ao tema deste trabalho. Pela oportunidade de trabalho ao longo desses anos, proporcionando meu aperfeiçoamento profissional.

Ao departamento de Engenharia e Produtos da empresa Belmetal, em especial ao Eng. Arimatéia Nonatto e também aos técnicos Pierluigi Carmine di Nonatto e Ronaldo Veronio, pela atenção, disponibilidade e contribuição com informações técnicas para aplicação nesta dissertação de mestrado.

À empresa 3M, em especial a equipe de desenvolvimento de negócios e equipe técnica: Pedro Terzi, Carlos T. Matsuda, Fred Queiroz e Victor Hugo Busato, pelo apoio e colaboração com informações para o desenvolvimento desta pesquisa.

Às amigas que surgiram no decorrer do mestrado: Caroline Cavalheiro, Cleila Cristina Navarini, Giovana Collodetti, Graziela Olivo Fermo e Renato Medeiros.

A todos aqueles que acreditaram e contribuíram diretamente ou indiretamente para a realização deste trabalho.



“Sei que o meu trabalho é uma gota no oceano, mas sem ele, o oceano seria menor”.

(Madre Teresa de Calcutá)



## RESUMO

Atualmente verifica-se um grande crescimento das inovações tecnológicas, possibilitando a realização de projetos com sistemas construtivos inovadores. A fachada é de fundamental importância para a apresentação do imóvel e há uma tendência das fachadas de edifícios serem revestidas com revestimentos cerâmicos, proporcionando maior proteção da edificação. As especificações estão voltadas para novos materiais e técnicas construtivas, com a finalidade de valorizar a estética dos empreendimentos, obter aumento de produtividade nas obras, aumentar o desempenho, especificar materiais e serviços de qualidade. A tecnologia de fachadas ventiladas apresenta várias vantagens, como: maior agilidade no prazo de execução da obra, maior segurança referente ao destacamento das placas, melhor desempenho do conforto térmico, redução dos problemas de infiltrações de água, quando comparado com o sistema tradicional. O objetivo do trabalho é o dimensionamento de uma fachada ventilada utilizando como revestimento o porcelanato de fina espessura e fixação do revestimento por meio de uma subestrutura auxiliar em alumínio, sendo essa técnica de execução utilizada para as fachadas cortinas de vidro. O dimensionamento é baseado na determinação dos esforços devido ao vento, sendo que o vento é o carregamento que incide diretamente na subestrutura auxiliar em alumínio e porcelanato de fina espessura. Para o comportamento estrutural da subestrutura auxiliar em alumínio realizam-se os cálculos para a flecha máxima admissível, momento de inércia mínimo, momento resistente mínimo, dilatação térmica linear e tensão atuante. Para o porcelanato de fina espessura é calculada a resistência à flexão e então se determina a quantidade de apoios necessários à estrutura. A ligação da subestrutura auxiliar em alumínio e porcelanato de fina espessura é realizada por meio de um selante estrutural. Para a fachada em estudo verifica-se também o dimensionamento do selante estrutural mediante determinação da resistência à tração e ao cisalhamento. Descreve-se o sistema construtivo da fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura. Verifica-se a compatibilidade entre os materiais e dimensionamentos de acordo com as especificações.

**Palavras-chave:** Fachada ventilada. Porcelanato de fina espessura. Subestrutura auxiliar em alumínio. Selante estrutural. Sistema construtivo.



## ABSTRACT

Currently, there is a large growth of technological innovation, enabling the execution of projects with innovative building systems. The façades has a fundamental importance for the presentation of the building and there is a trend of covering the façades with ceramic tiles, providing a greater protection of the building. Specifications are focused on new materials and construction techniques in order to have a greater aesthetic value of the projects, to achieve productivity growth in the construction works, to increase the performance and to specify materials and services with quality. The technology of ventilated façades has several advantages such as: greater agility in the lead time of the construction work, more security regarding to the fixing of the pieces, improved performance of the thermal comfort, reducing the problems of water infiltration when compared with the traditional system. The purpose of this dissertation is the dimensioning of a ventilated façade using as the coating the low thickness porcelain tile and fixing of the tile by an auxiliary substructure in aluminum, this executive technique is used for glass curtain walls. The dimensioning is based on the determination of loads due to wind and the wind is the loading applied on the auxiliary substructure in aluminum and low thickness porcelain tile. For the structural behavior of the auxiliary substructure in aluminum, the values for maximum allowable deflection, minimum moment of inertia, minimum resistant moment, linear thermal expansion and active tension are calculated. For the low thickness porcelain tile, the bending resistance is calculated and then the necessary quantity of supports to the structure is determined. The connection of the auxiliary substructure in aluminum and low thickness porcelain tile is made by means of a structural sealant. It is also verified the dimensioning of the structural sealant by determination of tensile and shear strength for the façade which has been studied here. The building system of ventilated façade with low thickness porcelain tile is described. The compatibility between materials and dimensions according to specifications is checked.

**Key Words:** Ventilated façade. Low thickness porcelain tile. Auxiliary substructure in aluminum. Structural sealant. Building system.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes da fachada ventilada.....	38
Figura 2 – Esquema de funcionamento da câmara de ar.....	44
Figura 3 – Detalhe do sistema ventilado. ....	44
Figura 4 – Guia mestra: alvenaria com elementos de concreto.....	45
Figura 5 – Elementos de concreto inseridos na alvenaria. ....	46
Figura 6 – Placas de porcelanato fixadas em elementos de concreto. ...	46
Figura 7 – Placas pétreas fixadas com o auxílio de uma subestrutura auxiliar.....	47
Figura 8 – Porcelanato com sistema visível. ....	49
Figura 9 – Sistema visível com subestrutura auxiliar.....	49
Figura 10 – “Inserts” metálicos inseridos no verso de placas de porcelanato. ....	50
Figura 11 – Sistema oculto com subestrutura auxiliar. ....	50
Figura 12 – Detalhe da fixação com o uso de “insert” metálico pontual fixado em perfurações executadas nas bordas laterais das placas.....	51
Figura 13 – Chumbador mecânico. ....	53
Figura 14 – Chumbador bucha de expansão.....	53
Figura 15 – Chumbador químico.....	54
Figura 16 – Fachada Sistema Stick. ....	55
Figura 17 – Fachada Sistema Unitizado.....	56
Figura 18 – Fachada Sistema Híbrido ou Coluna-Folha. ....	56
Figura 19 – Juntas horizontais e verticais. ....	59
Figura 20 – Fachada ventilada com placas de porcelanato. ....	65
Figura 21 – Porcelanato de 3mm de espessura.....	69
Figura 22 – Porcelanato de 3,5mm de espessura.....	69

Figura 23 – Porcelanato de 7mm de espessura. ....	69
Figura 24 – Porcelanato de 11mm de espessura. ....	70
Figura 25 – Porcelanato fina espessura aplicado em piso e parede.....	70
Figura 26 – Porcelanato fina espessura em móveis.....	71
Figura 27 – Fábrica Laminam (Itália). ....	72
Figura 28 – Formação quadro de alumínio. ....	73
Figura 29 – Aplicação adesivo estrutural.....	73
Figura 30 – Quadro de alumínio 1000x1000mm. ....	74
Figura 31 – Quadro de alumínio para placas 3000x1000mm. ....	74
Figura 32 – Instalação fachada.....	75
Figura 33 – Detalhe perfis e ancoragens.....	75
Figura 34 – Quadro – perfil Laminam .....	76
Figura 35 – Detalhe usinagem perfil.....	77
Figura 36 – Detalhe instalação da fachada.....	77
Figura 37 – Fachada Laminam - Seção Horizontal.....	78
Figura 38 – Fachada Laminam - Seção Horizontal: junta intermediária. ....	78
Figura 39 – Fachada Laminam - Seção horizontal: detalhe perfis. ....	79
Figura 40 – Fachada Laminam - Seção vertical: fechamento superior. ....	79
Figura 41 – Fachada Laminam - Seção vertical: junta intermediária....	80
Figura 42 – Fixação das placas por perfis metálicos.....	80
Figura 43 – Fixação das placas. Detalhe: perfis verticais e ancoragens.....	81
Figura 44 – Fixação das placas. Detalhe: “inserts” metálicos.....	81
Figura 45 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. ....	82
Figura 46 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. Detalhe do sistema. ....	83

Figura 47 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. Detalhe do sistema: canto interno. ....	84
Figura 48 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. Detalhe do sistema: canto externo.....	84
Figura 49 – Instalação fachada ventilada com porcelanato de fina espessura 3000x1000mm. ....	85
Figura 50 – Fachada ventilada finalizada com porcelanato de fina espessura 3000x1000mm. ....	85
Figura 51 – Instalação de uma fachada ventilada.....	86
Figura 52 – Fachada ventilada. ....	86
Figura 53 – Instalação fachada ventilada com porcelanato de fina espessura 3000x1000mm. ....	87
Figura 54 – Planta localização - cortes.....	99
Figura 55 – Corte 01: detalhe fechamento lateral canto externo e interno. ....	100
Figura 56 – Corte 02: Corte horizontal com detalhes do sistema construtivo. Cotas em mm.....	101
Figura 57 – Corte 03: Corte horizontal com detalhes do sistema construtivo. Cotas em mm.....	102
Figura 58 – Corte 04: Corte vertical com detalhes do acabamento inferior da câmara de ar. Cotas em mm.....	104
Figura 59 – Corte 05: Corte vertical com detalhes do perfil T – verso da placa de porcelanato de fina espessura. Cotas em mm. ....	105
Figura 60 – Corte 06: Corte vertical – junta intermediária. Cotas em mm. ....	105
Figura 61 – Corte 07: Corte vertical com detalhes acabamento superior da câmara de ar. Cotas em mm. ....	106
Figura 62 – Coluna. Cotas em mm.....	107
Figura 63 – Travessa. Cotas em mm. ....	107
Figura 64 – Folha. Cotas em mm. ....	108
Figura 65 – Presilha de fixação da folha. Cotas em mm. ....	108

Figura 66 – Ancoragem. Cotas em mm. ....	109
Figura 67 – Perfil T de abas desiguais. Cotas em mm. ....	109
Figura 68 – Macho de conexão. Cotas em mm. ....	110
Figura 69 – Cunha de conexão. Cotas em mm. ....	110
Figura 70 – Eixo horizontal das ancoragens. ....	111
Figura 71 – Eixo vertical das ancoragens. ....	111
Figura 72 – Instalação da ancoragem. ....	112
Figura 73 – Instalação do chumbador. ....	112
Figura 74 – Ancoragens com nível e prumo. ....	113
Figura 75 – Modelo de carregamento em fachadas. ....	114
Figura 76 – Componentes da coluna. ....	114
Figura 77 – Exemplo de montagem de colunas. ....	115
Figura 78 – Junta telescópica. ....	116
Figura 79 – Montagem colunas e travessas. ....	116
Figura 80 – Montagem quadro. ....	117
Figura 81 – Aplicação selante estrutural. ....	118
Figura 82 – Sistema de fixação – presilhas. ....	118
Figura 83 – Perspectiva fachada ventilada. ....	119
Figura 84 – Componentes fachada ventilada. ....	120
Figura 85 – Detalhe juntas intermediárias. ....	120
Figura 86 – Gráfico das isopletas da velocidade básica do vento; “vo” em m/s no Brasil. ....	122
Figura 87 – Fator topográfico $S_1(z)$ . ....	123
Figura 88 – Coeficientes de pressão. ....	131
Figura 89 – Carregamento trapezoidal coluna. ....	136
Figura 90 – Carregamento trapezoidal travessa. ....	136
Figura 91 – Esquema biapoado. ....	137
Figura 92 – Área da seção trapezoidal. ....	138

Figura 93 – Coluna – FA-378. ....	144
Figura 94 – Travessa – FA-380.....	145
Figura 95 – Carga distribuída devido ao vento. ....	148
Figura 96 – Diagrama de momento fletor. ....	148
Figura 97 – Seção resistente da placa de porcelanato de fina espessura. ....	148
Figura 98 – Preparação amostras – 1.....	150
Figura 99 – Preparação amostras – 2.....	151
Figura 100 – Preparação amostras – 3.....	151
Figura 101 – Preparação amostras – 4.....	151
Figura 102 – Equipamento. ....	152
Figura 103 – Teste tração - 1.....	152
Figura 104 – Teste tração - 2.....	153
Figura 105 – Teste tração - 3.....	153
Figura 106 – Teste cisalhamento.....	154
Figura 107 – Teste cisalhamento-amostra.....	154
Figura 108 – Gráfico teste de tração. ....	156
Figura 109 – Gráfico teste de cisalhamento. ....	156



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de fachadas cortinas de vidro .....	57
Tabela 2 – Propriedades físicas do porcelanato técnico e esmaltado ....	63
Tabela 3 – Características técnicas do porcelanato de fina espessura ...	68
Tabela 4 – Descrição dos perfis, componentes e acessórios do sistema construtivo .....	98
Tabela 5 – Parâmetros metereológicos.....	127
Tabela 6 – Fator $S_2$ .....	128
Tabela 7 – Valores mínimos do fator estatístico $S_3$ .....	129
Tabela 8 – Coeficientes de pressão e de forma externos.....	132
Tabela 9 – Resultados dos testes de tração e cisalhamento do selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M. ....	155
Tabela 10 – Comparativo de custos e produtividade fachadas.....	158
Tabela 11 – Peso dos sistemas construtivos. ....	159





## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A – Laudo técnico porcelanato de fina espessura por Eliane Revestimentos Cerâmicos. ....	181
ANEXO B – Mapa de perfis da subestrutura auxiliar em alumínio....	183
ANEXO C – Mapa de acessórios da subestrutura auxiliar em alumínio.....	185
ANEXO D – Propriedades técnicas do selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M. ....	187



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	29
1.2 OBJETIVOS .....	31
<b>1.2.1 Objetivo Geral .....</b>	<b>31</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>31</b>
1.3 JUSTIFICATIVA.....	32
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	34
<b>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>35</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DAS FACHADAS .....	35
2.2 AS FACHADAS VENTILADAS .....	36
<b>2.2.1 Vantagens das fachadas ventiladas.....</b>	<b>40</b>
<b>2.2.2 O projeto de fachadas ventiladas .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2.3 Câmara de ar .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.4 Fixação das placas .....</b>	<b>44</b>
<b>2.2.5 Fachadas cortinas de vidro.....</b>	<b>54</b>
<b>2.2.6 Juntas entre as placas .....</b>	<b>57</b>
2.3 REVESTIMENTO CERÂMICO DO TIPO PORCELANATO .....	61
<b>2.3.1 Porcelanato de fina espessura .....</b>	<b>65</b>
2.4 SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	87
<b>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>89</b>
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	89
3.2 PESQUISA DE CAMPO .....	89

3.3 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA .....	90
3.3.1 Materiais especificados para o sistema construtivo da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura .....	90
3.3.2 Métodos aplicados no desenvolvimento do sistema construtivo da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura .....	92
<b>CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA .....</b>	<b>95</b>
4.1 SISTEMA CONSTRUTIVO DA FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA.....	96
4.1.1 Detalhamento do sistema construtivo.....	96
4.1.2 Processo de instalação da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura .....	111
4.2 CARREGAMENTOS DEVIDO AO VENTO – NBR 6123 (1988).....	121
4.2.1 Velocidade básica do vento.....	121
4.2.2 Velocidade característica do vento .....	122
4.2.3 Pressão dinâmica na edificação (q).....	129
4.2.4 Coeficientes de pressão .....	130
4.3 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL .....	135
4.3.1 Dados necessários para análise estrutural .....	135
4.3.2 Cálculo da flecha máxima admissível.....	140
4.3.3 Momento de inércia mínimo .....	140
4.3.4 Momento resistente mínimo .....	141
4.3.5 Cálculo da dilatação térmica linear .....	143
4.3.6 Análise estrutural dos perfis coluna e travessa .....	144
4.3.7 Cálculo da flecha máxima nos perfis coluna e travessa .....	145
4.3.8 Tensão normal nos perfis coluna e travessa.....	146

<b>4.3.9 Resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura .....</b>	<b>147</b>
<b>4.3.10 Dimensionamento do selante estrutural .....</b>	<b>150</b>
<b>4.4 COMPARAÇÃO CUSTOS E PRODUTIVIDADE DAS FACHADAS CORTINAS E FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA .....</b>	<b>158</b>
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES .....</b>	<b>161</b>
<b>5.1 CONCLUSÕES - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA .....</b>	<b>161</b>
<b>5.2 DISCUSSÕES .....</b>	<b>163</b>
<b>5.3 RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>164</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>167</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>179</b>



# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Com a evolução tecnológica nas mais variadas etapas da construção civil, verifica-se a necessidade de adquirir novos conhecimentos e aperfeiçoamentos no desenvolvimento de técnicas construtivas.

A indústria cerâmica tem evoluído constantemente no desenvolvimento de novos produtos, tornando-se necessário buscar técnicas alternativas de aplicação. Essas técnicas de aplicação, associadas ao revestimento cerâmico podem resultar em melhoras significativas no desempenho dos sistemas e oferecer novas oportunidades, que resultam em qualidade nas construções.

Segundo a Anfacer (2010), o Brasil ocupa a segunda produção mundial de revestimentos cerâmicos, perdendo apenas para a China. A produção nacional de revestimentos cerâmicos em 2009 foi de 714,9 milhões de metros quadrados, sendo que destes foram produzidos 48 milhões de metros quadrados de porcelanato.

Há 10 anos surgiu na indústria de revestimentos cerâmicos uma nova categoria de produtos, os porcelanatos de fina espessura. A tecnologia de produção foi introduzida pelo grupo System, na Itália. Estes porcelanatos vêm apresentando destaque no mercado de revestimentos cerâmicos, principalmente pela fina espessura e grande formato.

A produção teve início com placas de 3000x1000mm e 3.0mm de espessura. Recentemente o fabricante da tecnologia adaptou o processo de produção para possibilitar placas de até 3600x1200mm.

Já existem instaladas um total de cinco fábricas deste produto, três na Itália, uma na Espanha e uma na Turquia. Atualmente a produção se concentra em placas com espessura de 3.0 e 3.5mm e tamanho de 3000x1000mm.

Com a finalidade de proteger os edifícios, a fachada ventilada e os revestimentos cerâmicos resultam em características estéticas de nível elevado e com vantagens de conforto térmico e acústico.

Barth & Vefago (2007, p.22) ao abordar sobre fachadas destacam que:

As fachadas possuem papel estratégico na valorização de um empreendimento, podendo

gerar destaque ao edifício e também compor um espaço urbano. Dentre outras funções, as fachadas são elementos condicionadores naturais do edifício podendo, quando bem dimensionadas, melhorar a eficiência energética do mesmo. As fachadas são a interface entre os ambientes interiores e o exterior, podendo criar espaços de transição que melhoram o conforto dos usuários.

A fachada é a primeira impressão visual de uma construção. Considerada o cartão de visita de um empreendimento, responde também pela proteção e durabilidade da edificação.

As fachadas ventiladas com utilização de revestimentos cerâmicos são largamente empregadas nos países europeus. Destacam-se pelas características de eficiência energética, beleza, resistência, potencial criativo e conforto, os quais são argumentos que promovem as especificações entre os profissionais da indústria da construção civil.

As fachadas ventiladas aumentam a eficiência energética dos edifícios, apresentando características de um sistema sustentável. O sistema de fachadas ventiladas consiste em um espaço entre a base suporte do edifício e a placa de revestimento definido como uma câmara de ar. As placas de revestimento são fixadas à estrutura por meio de ancoragens mecânicas. A melhoria do conforto térmico é obtida por meio da circulação de ar, visto que a variação da densidade do ar dentro da câmara faz com que o ar aquecido ascenda e seja substituído pelo ar mais frio. Esse fluxo ocorre constantemente no interior da câmara de ar sendo caracterizado pelo efeito chaminé.

De acordo com a revista Ceraspaña (2006), a principal vantagem das fachadas ventiladas é o ganho de energia em torno de 25% a 50%, com o aquecimento promovido nas edificações no inverno e a economia com os sistemas de ar condicionado no verão. Outro benefício das fachadas ventiladas é a durabilidade dos materiais e estruturas utilizados na execução do sistema, pois a circulação de ar elimina as manifestações patológicas das edificações originadas por problemas de umidade.

O método de execução das fachadas ventiladas pode ser empregado em obras novas e reformas. O processo de execução da fachada é considerado rápido, uma vez que os revestimentos cerâmicos e as ancoragens mecânicas são materiais pré-fabricados. As fachadas ventiladas são caracterizadas por um sistema construtivo que promove agilidade na execução, alta produtividade, redução das etapas de



controle de recebimento de materiais e produção, facilidade de manutenção entre outros.

A fachada com revestimento de placas de grandes formatos requer uma maior segurança no que se refere ao destacamento de placas. Assim, utilizando o sistema de revestimento não aderido, na qual a fixação é realizada por elementos metálicos, é possível obter melhoras significativas no desempenho construtivo.

No Brasil, a fixação de pedras naturais e porcelanatos em fachadas têm ocorrido principalmente por meio de “inserts” metálicos. Outros revestimentos como, por exemplo, o vidro e o ACM (alumínio composto) são instalados através de uma subestrutura auxiliar em alumínio. Verifica-se que é utilizado o conceito da tecnologia de sistema de fixação não aderido, pois existe um afastamento do verso da placa de revestimento até a base portante do edifício, caracterizando uma câmara de ar.

Pode-se observar ainda que a maioria das construções de fachada considera a câmara de ar como não ventilada, ou seja, é utilizado o sistema construtivo das fachadas ventiladas, mas a câmara de ar e juntas entre as placas permanecem fechadas, assim não se aproveita a eficiência do sistema de ventilação. Acredita-se que esse posicionamento de mercado ocorre devido à tecnologia de fachadas ventiladas ser um tema recente para o Brasil.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento e dimensionamento de um sistema construtivo utilizando fixação com perfis metálicos, segundo a técnica de execução das fachadas ventiladas, para um porcelanato técnico de fina espessura.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- Desenvolver o sistema construtivo utilizando uma subestrutura auxiliar em alumínio, porcelanato de fina

espessura e selante estrutural;

- Desenvolver fornecedores para definição dos materiais utilizados no sistema construtivo;
- Determinar os esforços devido às cargas de vento;
- Determinar o comportamento estrutural dos perfis;
- Dimensionar os perfis metálicos que constituem a subestrutura auxiliar em alumínio;
- Determinar a resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura para definição dos perfis reforços que são aderidos no verso da placa de revestimento;
- Caracterizar e dimensionar o selante estrutural;
- Comparar os custos e produtividade das fachadas cortinas e fachada ventilada com porcelanato de fina espessura.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

No Brasil a técnica de fachada ventilada é muito recente e verifica-se a necessidade de estudos para acompanhamento da evolução tecnológica dos sistemas de aplicação de revestimentos, uma vez que este sistema é uma boa solução tecnológica para utilização de revestimentos em vedações externas, já que possibilita o uso de placas de grandes formatos, maior segurança quanto ao destacamento de placas, agilidade no cronograma de obras, valorização estética do edifício. Além disto, evita manifestações patológicas originadas por problemas de umidade, entre outros.

Segundo Siqueira Júnior (2003), o desenvolvimento do sistema de fachada ventilada ocorreu nos países do hemisfério norte, sendo uma solução alternativa para a conservação de energia (calor), pois as condições climáticas são bastante severas e assim os sistemas de aquecimento e arrefecimento dos edifícios tornam-se críticos. Devido ao alto potencial de desempenho térmico e acústico, maior segurança quanto ao destacamento das placas, agilidade no cronograma das obras, diminuição sensível de problemas de infiltração de água, facilidade de manutenção, os sistemas de fachada ventilada têm sido largamente empregados em obras na Itália, Espanha, Estados Unidos e Alemanha. A maioria desses processos construtivos originou em países de primeiro

mundo, visto que é grande o investimento em pesquisas tecnológicas e na elaboração de normas de desempenho.

Segundo Müller (2003), com o sistema de fachadas ventiladas é possível eliminar os problemas de descolamento e trincas originados pelas diferentes variações entre a placa de revestimento cerâmico e argamassa. O descolamento é uma das principais manifestações patológicas encontradas nos revestimentos cerâmicos de fachada com o sistema aderido. Já nas fachadas ventiladas o sistema de fixação através de ancoragens mecânicas substitui a camada de argamassa.

Os fabricantes de revestimentos cerâmicos estão buscando o desenvolvimento de produtos e sistemas sustentáveis. As fachadas ventiladas e os porcelanatos de fina espessura se destacam no segmento da construção civil pelas suas características de conforto térmico, economia de energia e sistemas construtivos leves.

De acordo com a revista *Tile Internacional* (2010), os porcelanatos de fina espessura apresentam diferenças no processo de produção, espessura e tamanho quando comparado com os revestimentos cerâmicos tradicionais, mas mantêm as características físicas, químicas e de desempenho, oferecendo também novas oportunidades de aplicações.

No Brasil tanto o sistema de fachadas ventiladas como os porcelanatos de fina espessura são considerados produtos inovadores. Segundo Medeiros (1999), a indústria de construção de edifícios está buscando a implementação de novas tecnologias construtivas para o aumento da eficiência e qualidade dos revestimentos cerâmicos de fachada.

Apesar da tecnologia de fachada ventilada apresentar várias vantagens, é importante salientar algumas considerações referentes ao conceito das fachadas ventiladas para aplicação no mercado brasileiro, conforme abaixo:

- Ausência de normas técnicas específicas para projeto e avaliação do desempenho técnico das fachadas ventiladas;
- Maior conscientização do mercado da construção civil para as vantagens das fachadas ventiladas;
- Necessidade de projeto detalhado das fachadas ventiladas, apresentando informações de todos os elementos para fixação, acessórios e orientação do processo de instalação;
- Realização de treinamentos e mão-de-obra qualificada;

- Custos superiores quando comparado com o sistema de assentamento convencional.

Verifica-se a importância da pesquisa científica buscando o desenvolvimento de tecnologias para fachadas com revestimentos cerâmicos, mediante avaliação dos aspectos técnicos, construtivos e de desempenho.

#### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está estruturada em cinco capítulos, conforme descrito abaixo.

No CAPÍTULO 1 realizam-se as considerações iniciais sobre as fachadas ventiladas, comentários referentes à indústria brasileira de revestimentos cerâmicos e apresentação do porcelanato de fina espessura. Neste capítulo estão informados os objetivos do presente trabalho, finalizando com a justificativa do tema proposto.

No CAPÍTULO 2 denominado Revisão Bibliográfica são apresentadas as características das fachadas, conceito das fachadas ventiladas, sistemas construtivos e fachadas cortinas de vidro. Discorre-se sobre os revestimentos cerâmicos do tipo porcelanato e também sobre o porcelanato de fina espessura e sua aplicação em fachadas ventiladas.

No CAPÍTULO 3 são apresentados os materiais e os métodos adotados no desenvolvimento da pesquisa, para a tecnologia de fachadas ventiladas utilizando o porcelanato de fina espessura.

No CAPÍTULO 4 é realizado o dimensionamento do sistema de fixação por meio de perfis de alumínio e selante estrutural para o porcelanato de fina espessura, seguindo o método de execução das fachadas ventiladas. Apresenta-se o comportamento estrutural bem como os detalhes construtivos do sistema.

No CAPÍTULO 5 são apresentadas as conclusões finais e sugestões para trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DAS FACHADAS

A fachada de um edifício costuma apresentar a imagem da própria edificação. É um dos elementos básicos para valorização do empreendimento. A fachada, em conjunto com a cobertura, assume a responsabilidade pela manutenção das condições ambientais internas como: conforto termo-acústico, insolação e manutenção dos níveis de segurança e privacidade dos usuários.

Com o desenvolvimento do setor cerâmico na produção de revestimentos cerâmicos, verifica-se a necessidade de novos métodos, processos e sistemas construtivos para execução de fachadas de edifícios.

Geralmente os edifícios são revestidos com materiais cerâmicos em função da durabilidade e proteção da edificação. As especificações técnicas buscam garantir a qualidade dos novos materiais e técnicas construtivas utilizadas, com o objetivo de obter aumento de produtividade e desempenho das obras.

Segundo a definição da NBR 13755 (1996, p.2), o revestimento externo é:

Um conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação da chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.

Os revestimentos de fachadas têm a finalidade de proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos, evitando a degradação precoce, aumentando a durabilidade e reduzindo os custos de manutenção. Podem-se destacar as seguintes funções: valorização estética, isolamento térmico, resistência às cargas de vento e segurança ao fogo. Estes revestimentos podem ser construídos de qualquer material durável como painéis de aço inoxidável, alumínio, PVC, revestimentos cerâmicos, pedras naturais, vidro, etc.

De acordo com Medeiros (1999), os revestimentos cerâmicos tradicionais trabalham completamente aderidos sobre as bases de

substratos que servem de suporte e por isso podem ser denominados de aderidos, como por exemplo, os revestimentos assentados à base de argamassas de cimento e argamassas colantes (argamassas industrializadas).

Medeiros (1999) ainda informa que os revestimentos não aderidos são caracterizados pela técnica de fachadas ventiladas. A fixação das placas à base é realizada por intermédio de dispositivos especiais, normalmente metálicos, que são componentes mecânicos que podem ser compostos por “inserts” metálicos, parafusos, chumbadores, etc.

## 2.2 AS FACHADAS VENTILADAS

As fachadas ventiladas e os revestimentos foram desenvolvidos para proteger os edifícios da ação combinada da chuva e do vento, com características estéticas de nível elevado e com vantagens de conforto térmico e acústico. A instalação do sistema de fachada ventilada com revestimento cerâmico para edifícios novos e reformas de edifícios existentes proporciona vantagens consideráveis de durabilidade da fachada.

Precisamente, por causa dos benefícios numerosos e das inovações tecnológicas, as fachadas ventiladas apresentam o reconhecimento no mundo da arquitetura, possibilitando a interpretação livre das fachadas em um estilo moderno.

Referente à fachada ventilada, publicado em artigo técnico da revista *Téchne*, Kiss (1999), informa que a primeira definição do conceito de fachada ventilada é encontrada nas “*Directives Communes pour l’agrement des Façades légères*”, de 1968, do CSTB (*Centro Scientifique et Technique du Batiment*). A fachada é dita ventilada quando se comunica com o exterior através de orifícios, com uma ventilação permanente de baixo para cima, conforme norma francesa. Kiss comenta que o conceito mais aceito vem da Itália (1990). Segundo a norma italiana, a fachada ventilada é um sistema de revestimento externo caracterizado pela existência de uma camada isolante sobre a parede de vedação e uma camada externa de revestimento, estanque à água, composta de painéis modulares, fixadas ao edifício por uma estrutura metálica. O sistema deve prever um espaço vazio que permita por efeito chaminé, uma ventilação contínua no sentido vertical.

Segundo Figuerola (2005), no Brasil existem poucos projetos de fachadas ventiladas, tanto de cerâmica como de outros materiais. A

fachada ventilada, comparada com os revestimentos aderidos (forma tradicional) oferece melhor isolamento térmico ao edifício, devido à circulação de ar na camada formada entre o revestimento e as paredes, ou pelas juntas abertas. O efeito chaminé permite a entrada inferior do ar frio e saída superior do ar aquecido.

Figuerola (2005), diz ainda que as fachadas ventiladas além de permitirem um melhor isolamento térmico, também são importantes quanto ao sistema de fixação no que se refere a placas de grandes formatos. Com este sistema, através dos mecanismos de fixação, pode-se trabalhar com vários formatos e com grandes dimensões, que comparado com o sistema tradicional (aderidos), apresenta vantagem. Nos sistemas aderidos, placas com grandes formatos precisam de argamassa colante com alto teor de polímeros. Em casos de necessidade de trocar placas, o sistema ventilado é prático, pois as peças são fixadas através de “inserts” metálicos, que permitem retirar o parafuso ou desencaixar os chumbadores, para possíveis manutenções.

Segundo Siqueira Junior (2003), as fachadas ventiladas podem ser definidas como um sistema formado por placas ou painéis fixados externamente à base suporte do edifício através de fixadores metálicos ou por uma subestrutura auxiliar metálica, constituindo-se na vedação vertical exterior de uma edificação. Essa estrutura é dimensionada de tal forma que permite a remoção do ar aquecido no interior da câmara pelo chamado efeito chaminé.

Nos termos da energia térmica, as fachadas ventiladas podem reduzir a quantidade de calor que os edifícios absorvem em condições de tempo quentes, devido à reflexão parcial da radiação solar e a abertura de ar pela ventilação.

O isolamento térmico em vedações externas é composto por sistemas de multicamadas com ventilação entre as camadas, no qual caracterizam as fachadas ventiladas. É construída uma sequência de camadas funcionais as quais apresentam performances específicas para garantir os requerimentos desejados. Os componentes funcionais das fachadas ventiladas consistem em:

- Revestimento;
- Subestrutura auxiliar;
- Câmara de ar;
- Isolante térmico;
- Base suporte.

Na figura 1 encontram-se os componentes da fachada ventilada.

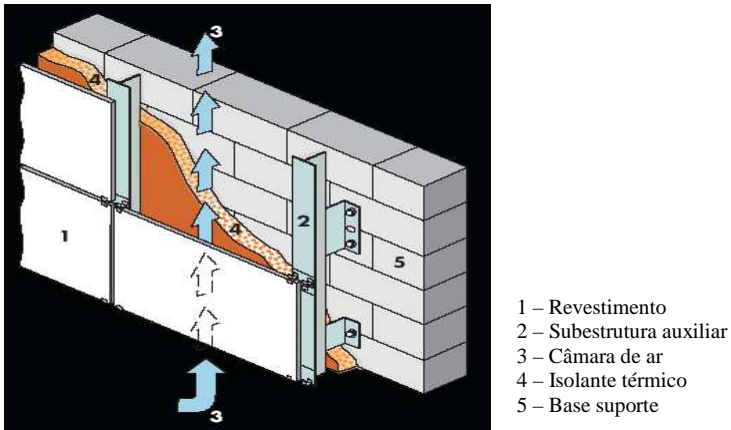


Figura 1 – Componentes da fachada ventilada.  
 Fonte: Manual técnico Graniti Fiandre (2004).

Através de um espaço entre o material de isolamento térmico (em contato com a parede do edifício) e a vedação externa promove-se uma ventilação natural. A partir das vantagens do isolamento térmico a fachada ventilada ganha uma vantagem especial de conforto térmico devido ao efeito chaminé. Este efeito é originado pelo aquecimento que provoca uma variação na densidade do ar dentro da câmara, causando um movimento de ascensão. Este efeito é particularmente útil no verão, permitindo dispersar o calor que não é refletido pela vedação externa.

Conforme Moura (2009), nas últimas décadas, os estudos realizados em laboratórios europeus, com objetivo de reduzir custos com energia para sistemas de aquecimento e refrigeração, levaram ao desenvolvimento da fachada ventilada, sendo que o princípio fundamental é o fato de possuir juntas abertas, e isso a diferencia das fachadas cortinas. O espaço entre o revestimento e a base do edifício não recebe vedação completa nas aberturas inferiores e superiores, possibilitando, assim, a criação da câmara de ar na cavidade entre as duas paredes. Essa câmara de ar é a característica dominante do sistema de fachada ventilada, uma vez que é responsável pelo efeito chaminé, um sistema eficaz e natural de ventilação.

De acordo com Rosso (2007), a fachada cortina é definida por uma esquadria de alumínio que é instalada externamente na estrutura do edifício e compreende, no mínimo, dois pavimentos. Representa o revestimento e a vedação da edificação, que pode ser de vidro, cerâmica, alumínio e granito.



Segundo o manual técnico da Marazzi (2008), para a temperatura e umidade o comportamento sazonal da fachada pode ser resumido conforme segue:

- **No verão:** A maior parte do calor radiante incidente é refletida. A quantidade de calor que não é refletida ativa o efeito chaminé para que o edifício absorva somente uma parte do calor. A especificação de cores claras nos revestimento da fachada pode intensificar o efeito de reflexão.
- **No inverno:** No inverno a passagem de ar através do isolante térmico causa uma deficiência na eficiência energética, assim o efeito chaminé é menor. Na ausência de um forte calor incidente originado por meio da vedação externa, o ar ambiente externo e o ar dentro da câmara de ar apresentam aproximadamente a mesma temperatura e densidade, conseqüentemente o efeito chaminé é muito inferior do que na condição de verão. A escolha do revestimento externo é igualmente importante, tanto para o ponto de vista de segurança e manutenção como para os aspectos estéticos. As fachadas ventiladas com revestimentos cerâmicos apresentam as características para atender as exigências técnicas e estéticas.

Para o revestimento da fachada ventilada, podem-se utilizar placas de ACM (alumínio composto), dupla pele de vidro, placas pétreas (exemplo: granito, mármore), placas cerâmicas (exemplo: porcelanato).

De acordo com Bondielli (2000), os revestimentos para as fachadas têm função de proteger os edifícios contra os agentes atmosféricos, assim como representar a arquitetura da fachada. Devem atender os seguintes requisitos:

- Alta resistência mecânica;
- Alta resistência ao choque térmico;
- Alta resistência ao impacto;
- Impermeabilidade;
- Resistência ao fogo;
- Inalterabilidade das características físicas e estéticas;
- Resistência ao vento;
- Versatilidade na instalação;
- Manutenção.

### 2.2.1 Vantagens das fachadas ventiladas

As fachadas ventiladas apresentam as seguintes vantagens quando comparadas com o sistema de revestimentos tradicionalmente aderidos:

- Economia de energia;
- O isolante térmico favorece a redução do calor de dispersão, resultando em ganho de energia no inverno;
- Menor calor de absorção no verão, reduzindo os custos de ar condicionado;
- Não deterioração das características estéticas e técnicas com o decorrer do tempo;
- Cores dos revestimentos inalteradas, que são afetadas pela luz ou pela ação de agentes atmosféricos;
- Eliminação dos problemas de umidade, eflorescência ou infiltrações nas vedações externas, evitando as manifestações patológicas;
- Não absorve poeira ou sujeira. Por exemplo, os revestimentos do tipo porcelanato são facilmente limpos com a ação da chuva;
- Resistente à poluição e corrosão;
- Auxilia na dispersão da umidade;
- Proteção da vedação externa contra água da chuva e baixas temperaturas;
- Menor deterioração da fachada, significando redução nos custos de manutenção;
- Resultados satisfatórios em trabalhos de renovação;
- Pode ser utilizado em reformas de fachadas de edifícios sem necessidade de remover o revestimento antigo;
- Melhora do conforto térmico e acústico;
- Alta produtividade e facilidade de manutenção;
- Diminuição dos efeitos de dilatação térmica da estrutura do edifício;
- Eliminação do risco de destacamento de revestimentos;
- Proporciona a redução no prazo de construção.

## 2.2.2 O projeto de fachadas ventiladas

Conforme Medeiros (1999) é necessário desenvolver o projeto de fachada com revestimento cerâmico por motivos técnicos e econômicos. Além de definir os meios para que o planejamento e a programação da produção sejam eficientes, o projeto deve permitir exercer o controle de qualidade do processo dos materiais e da execução, pois oferece os principais subsídios para isto. Recomenda-se considerar não apenas o desempenho de cada camada isoladamente, mas o desempenho do sistema como um todo, desde a base suporte até o material cerâmico de revestimento externo.

Segundo Barth & Vefago (2007), o projeto da edificação é constituído por um conjunto de processos, que se origina na concepção global com a expressão conceitual da edificação, até a definição e detalhamento dos diversos sistemas construtivos. A visão do projeto parte do todo para as suas partes constituintes, tais como: sistemas, subsistemas, elementos, componentes e matérias-primas. Na execução da edificação ocorre um processo evolutivo, pois os materiais e componentes são agregados, formando os elementos e subsistemas construtivos. Antes de iniciar a construção, o projeto tem função de integrar todos os subsistemas.

De acordo com o manual técnico da Mirage (2008), os projetos de fachada ventilada devem ser articulados preliminarmente conforme abaixo:

- Análise do projeto arquitetônico da fachada;
- Identificação dos materiais referentes à estrutura da fachada;
- Seleção do tipo do revestimento para a fachada;
- Identificação do tipo da base suporte adequada para o tipo de revestimento desejado;
- Análise do projeto estrutural e estimativa de custos;
- Elaboração do desenho gráfico chamado como “trama” estrutural para a execução da fachada ventilada.

Uma das mais importantes escolhas de projeto para o resultado final da fachada ventilada é a possibilidade de uso do sistema de fixação visível ou oculto. A definição do tipo de sistema de fixação envolve as seguintes considerações:

- A melhor adaptação tecnológica para um caso específico;

- A escolha de mostrar ou ocultar os “inserts” metálicos no revestimento da fachada;
- A modularidade da fachada, uma vez que no sistema de fixação visível é possível usar juntas alinhadas (menor custo), enquanto que no sistema de fixação oculto são utilizadas juntas horizontais e verticais.

As etapas de elaboração de projetos podem ser divididas em duas fases para uma melhor definição de projeto e execução das fachadas ventiladas.

De acordo com o manual da Marazzi (2008), as etapas são divididas em fase A e fase B:

- Fase A: Estudo de viabilidade e elaboração de orçamento. Análise de custos baseada na escolha do revestimento e materiais para a execução da fachada em função das necessidades técnicas e estéticas. Definição das linhas gerais dos detalhes construtivos.

- Fase B: Uma vez que a fase A seja concluída, devem-se seguir os procedimentos para a execução da fachada conforme abaixo:

- Realização de ensaio das paredes e estruturas da edificação;
- Desenvolvimento dos cálculos estáticos para a determinação das dimensões da base suporte em função das cargas atuantes e da ação dos ventos;
- Levantamento das dimensões da fachada a ser revestida;
- Elaboração dos projetos gerais da estrutura suporte, dos detalhes construtivos e preparação da lista de materiais;
- Preparo dos materiais (execução de cortes, furos nas estruturas de alumínio, preparo das placas de revestimento com “inserts” metálicos e tela de segurança no verso da placa de revestimento);
- Envio dos materiais à obra;
- Desenho da "trama" estrutural sobre o edifício;
- Início da instalação.

### 2.2.3 Câmara de ar

Segundo Siqueira Junior (2003), a câmara de ar da fachada pode ser projetada de forma a ser estanque ou ventilada. O sistema não ventilado não possui aberturas ligando o ar da câmara com o ar exterior. Assim, o revestimento possui também a função de “barreira de ar”.

Por princípio, são especificadas juntas abertas em fachadas com câmara de ar ventiladas. Quando a câmara de ar é estanque geralmente as juntas são preenchidas com materiais flexíveis como, por exemplo, silicones e poliuretanos.

De acordo com o manual técnico da Mirage (2008), a fachada ventilada tem se destacado pela sua principal característica que é a criação de um movimento na câmara de ar, que é um espaço entre a base suporte e o revestimento externo. Esta câmara permite a movimentação do ar através do efeito chaminé.

Conforme o manual técnico da Graniti Fiandre (2004), em uma fachada ventilada a abertura entre o material isolante e o revestimento externo, além de promover um efeito de proteção, possui uma câmara especial na qual ocorre a circulação de ar. A entrada de ar é realizada pela base da fachada e a saída do ar aquecido pela parte superior. A radiação solar incidente na fachada e o calor proveniente das áreas habitáveis de fato fazem o ar aquecido na câmara resultar em um movimento de ascensão chamado efeito chaminé. As aberturas da câmara de ar podem ser protegidas por telas para prevenir a entrada de corpos estranhos indesejáveis. A câmara de ar deve ter dimensões apropriadas para garantir a boa circulação de ar e principalmente promover o efeito chaminé. A câmara de ar geralmente apresenta espessura entre 50 e 150mm.

A câmara de ar ventilada resulta em uma série de benefícios e vantagens, tais como:

- A evaporação presente nas paredes das edificações;
- Remoção do vapor de água proveniente do interior;
- Calor removido pela ascensão de circulação de ar;
- Redução do calor do lado exterior para o lado interior dos edifícios no verão;
- Mantém a edificação “seca” e contribui para a longa preservação da camada de isolante térmico e da alvenaria.

Nas figuras 2 e 3 pode-se verificar o esquema de funcionamento da câmara de ar.

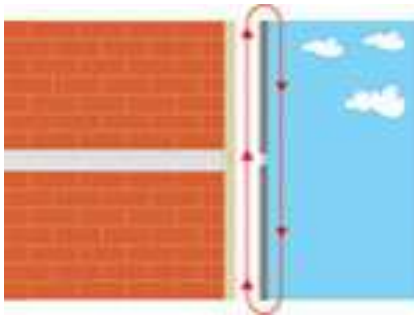


Figura 2 – Esquema de funcionamento da câmara de ar.  
Fonte: Manual técnico Mirage (2008).

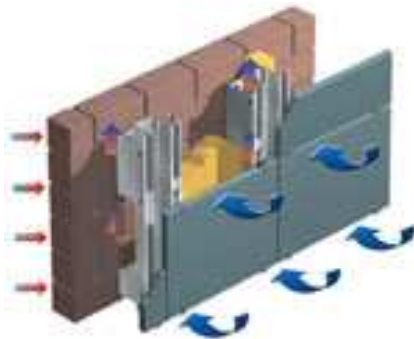


Figura 3 – Detalhe do sistema ventilado.  
Fonte: Manual técnico Mirage (2008).

## 2.2.4 Fixação das placas

### 2.2.4.1 Base suporte de fixação

Na base suporte de fixação são realizadas as ancoragens dos “inserts” metálicos e chumbadores que proporcionam a fixação das placas na fachada.

Os revestimentos podem ser fixados de maneira pontual e direta por meio dos “inserts” metálicos ou por uma subestrutura auxiliar composta por perfis metálicos verticais e horizontais. No Brasil, as placas pétreas são fixadas com “inserts” metálicos pontuais e nas fachadas cortinas de vidro e ACM (alumínio composto), por exemplo, são utilizados perfis metálicos de alumínio.

De acordo com Bondielli (2000), o sistema de fixação para as fachadas ventiladas promove uma autonomia estática de cada placa de revestimento individualmente e eliminação de cura da argamassa (método de assentamento convencional com argamassa colante). Não diretamente aderidas na base suporte, as placas de revestimento apresentam livre movimentação de acordo com o coeficiente de expansão, independente dos movimentos da base suporte. As movimentações e oscilações da base suporte são permitidas devido à flexibilidade das ancoragens.

Segundo Klein, Rocha & Souza (2002, p.2) “as fachadas ventiladas podem ser aplicadas em qualquer tipo de edificação, seja ela construída em concreto armado, aço ou alvenaria portante”.

No Brasil verifica-se que para as ancoragens mecânicas de placas pétreas ou porcelanato através de “inserts” metálicos e chumbadores, as fixações são realizadas diretamente em um elemento de concreto inserido na alvenaria, de acordo com as figuras 4, 5 e 6. Este método de execução com fiadas intercaladas entre alvenaria e guias ou blocos de concreto podem implicar em perda de produtividade e desperdício de material. Outro fator que deve ser avaliado é a segurança referente ao arrancamento dos fixadores.

Segundo Franco (1998), para as vedações verticais a coordenação dimensional é um requisito de fundamental importância, tanto para a utilização de alvenaria como para os painéis com alto nível de industrialização de seus componentes. A coordenação dimensional evita reajustes, arremates ou improvisações que sempre representam as situações de desperdício e redução da produtividade.

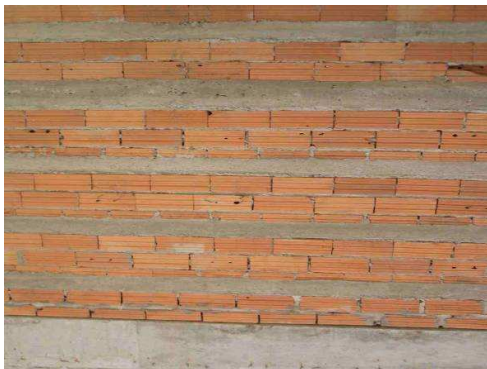


Figura 4 – Guia mestra: alvenaria com elementos de concreto.  
Fonte: Do autor.



Figura 5 – Elementos de concreto inseridos na alvenaria.  
Fonte: Do autor.



Figura 6 – Placas de porcelanato fixadas em elementos de concreto.  
Fonte: Do autor.

Na figura 7 verifica-se um exemplo de placas pétreas fixadas em uma subestrutura auxiliar formada por perfis metálicos.





Figura 7 – Placas pétreas fixadas com o auxílio de uma subestrutura auxiliar.

Fonte: Tectônica (1997 apud SIQUEIRA JÚNIOR, 2003, p. 25).

Moura (2009) informa que a subestrutura auxiliar deve ser constituída por aço inoxidável ou ligas especiais de alumínio e não recomenda acessórios de aço galvanizado, que podem enferrujar e pôr em risco toda a estrutura.

Conforme Siqueira Júnior (2003), para definição da base suporte de fixação deve-se considerar os fatores que influenciam no desempenho da vedação como um todo, verificando além da resistência à flexão da base, a deformabilidade de seus diversos elementos e componentes que podem comprometer o desempenho da vedação e da fachada ventilada. Além disso, se as ancoragens forem isoladas ou pontuais, fixadas diretamente a parede de alvenaria, esta deve ser de tijolo ou bloco perfurado ou maciço.

Siqueira Júnior (2003, p. 59) diz ainda que: “Quando a vedação externa não pode ser aproveitada como suporte, deve-se fixar as ancoragens diretamente aos elementos estruturais como: vigas, pilares e lajes”. O autor salienta ainda que neste caso deve-se verificar as deformações da base suporte, subestrutura auxiliar e somatória das deformações de ambos os sistemas.

A alvenaria racionalizada seria uma opção para construção da vedação externa. Os “inserts” metálicos e chumbadores poderiam ser

inseridos diretamente nos blocos. Para isso é necessário avaliar as características e desempenho dos blocos principalmente referente ao arrancamento dos fixadores.

Os tipos de elementos da alvenaria são caracterizados por blocos cerâmicos, blocos de concreto, blocos sílico - cálcico e blocos de concreto celular.

Segundo Sabbatini (1989 apud BARROS, 1998, p.24), a racionalização é definida por um processo que engloba o conjunto de todas as ações com objetivo principal de otimizar a utilização de recursos materiais, humanos, organizacionais, energéticos, tecnológicos, temporais e financeiros disponíveis em todas as etapas de uma construção.

De acordo com Barros (1998), a alvenaria racionalizada para a produção de vedações verticais teve seu desenvolvimento segundo as diretrizes de produção estabelecidas para os processos construtivos de alvenaria estrutural, o qual apresenta elevado nível de racionalização.

Para Alvarenga, Gonçalves & Silva (2006, p.76) a alvenaria racionalizada apresenta as seguintes características:

- Utilização de blocos de melhor qualidade, preferencialmente com furos na vertical para facilitar a passagem de instalações;
- Planejamento prévio;
- Projeto da produção;
- Treinamento da mão-de-obra;
- Utilização de família de blocos com blocos compensadores para evitar a quebra de blocos na execução;
- Redução drástica do desperdício de materiais;
- Melhoria nas condições de limpeza e organização do canteiro de obras.

#### 2.2.4.2 Sistema de fixação

O tipo da subestrutura auxiliar para a fixação das placas é definido em função do sistema adotado, podendo ser por sistema de fixação visível ou oculto.

- Sistema de fixação visível: após a fachada ser executada, os elementos de fixação permanecem expostos na superfície do revestimento. Este sistema consiste em uma subestrutura com perfis verticais fixados na vedação externa através de ancoragens com parafusos ou rebites. O revestimento é fixado à subestrutura por meio de cliques metálicos, chamados “inserts” metálicos situados próximos às extremidades das placas. Nas figuras 8 e 9 encontram-se exemplos do sistema de fixação visível.

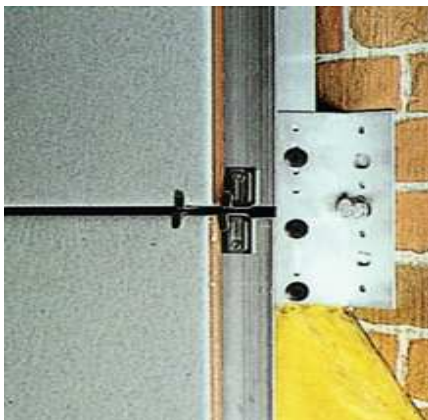


Figura 8 – Porcelanato com sistema visível.  
Fonte: Manual técnico Marazzi (2008).

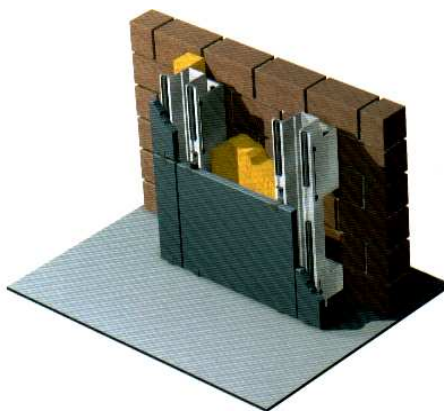


Figura 9 – Sistema visível com subestrutura auxiliar.  
Fonte: Manual técnico Mirage (2008).

- Sistema de fixação oculto: os elementos de fixação não ficam expostos no revestimento. A subestrutura auxiliar consiste em perfis verticais e horizontais. Os “inserts” metálicos geralmente são inseridos no verso da placa de revestimento. Existe também a possibilidade de inserir os “inserts” metálicos na borda do revestimento, mas este deve apresentar espessura suficiente, geralmente recomenda-se revestimentos com espessuras superiores a 15mm. Nas figuras 10 e 11 estão ilustrados os exemplos de sistema de fixação oculto.



Figura 10 – “Inserts” metálicos inseridos no verso de placas de porcelanato.

Fonte: Manual técnico Mirage (2008).

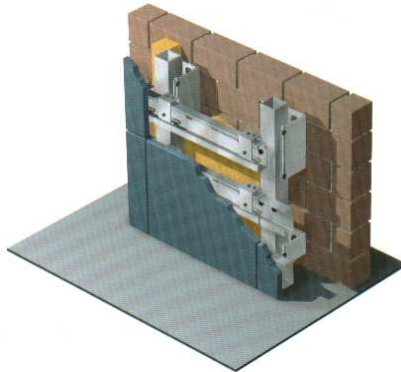


Figura 11 – Sistema oculto com subestrutura auxiliar.

Fonte: Manual técnico Mirage (2008).

Na figura 12 verifica-se o modelo de “insert” metálico pontual fixado nas bordas do revestimento, por meio de pinos.

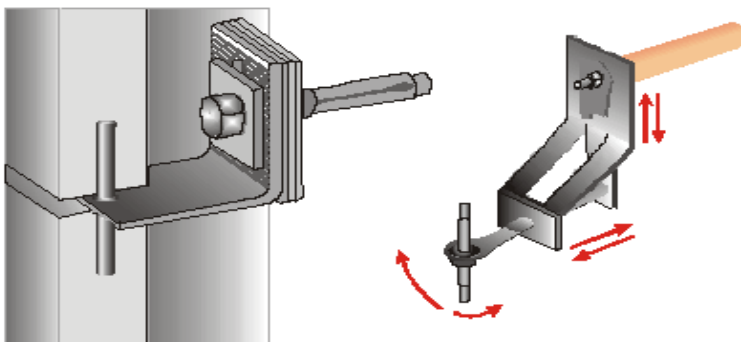


Figura 12 – Detalhe da fixação com o uso de “insert” metálico pontual fixado em perfurações executadas nas bordas laterais das placas.

Fonte: Tectônica (1997 apud SIQUEIRA JÚNIOR, 2003, p. 25).

Os “inserts” metálicos são especificados em função da sua resistência mecânica, para que não ocorram problemas durante ou após a fixação das placas de revestimento.

Segundo recomendações da NBR 13707 (2004), os “inserts” são componentes metálicos com formatos diversos e função de:

- Fixar as placas no suporte e frequentemente conectar umas às outras;
- Sustentar o peso próprio do revestimento à ação de ventos, pressões internas e outras cargas passíveis de atuação;
- Impedir o tombamento das placas;
- Absorver as deformações diferenciais (principalmente, dilatações e contrações) entre o revestimento e o suporte, de modo a permitir a dissipação de tensões introduzidas no revestimento;
- Permitir que o revestimento fique afastado do suporte, para promover a livre circulação do ar e eliminação da umidade no sistema revestimento/suporte.

A NBR 13707 (2004) informa ainda que os “inserts” são geralmente constituídos de três partes (em uma só peça ou não) com as seguintes características e funções:

- Uma parte a ser fixada no suporte (do tipo parafuso, chumbador, passante, etc.);
- Uma parte constituída por barra, cantoneira ou outro perfil metálico, com eventual dispositivo de regulação, para permitir o adequado posicionamento da placa;
- Uma parte que permitirá a união com as placas.

Segundo a NBR 13707 (2004), os “inserts” devem ser constituídos por ligas metálicas que possuam elevadas resistências mecânicas e à corrosão. Para fixação de pedras naturais esta norma recomenda preferencialmente a utilização de “inserts” metálicos em aço inoxidável.

As subestruturas auxiliares geralmente são constituídas por perfis extrudados de alumínio em ligas da serie 6000 e têmperas T5 ou T6.

Conforme a ABAL (2007), as ligas 6053, 6061, 6063 e 6351 são ligas de AlMgSi tratáveis termicamente com excelente resistência mecânica na têmpera T6. As aplicações destas ligas são indicadas para elementos estruturais, construção civil, fachadas, entre outros. A letra “T” significa liga tratada termicamente, pois são aplicados produtos que sofrem tratamento térmico com ou sem deformação plástica complementar, que resultam em propriedades físicas estáveis. A letra “T” ainda deve ser seguida por um ou mais dígitos que indicam a sequência dos processos realizados.

A tempera T5 é indicada para aplicação na construção civil, com boa resistência mecânica, alta resistência à corrosão e boa conformabilidade, características estas apropriadas para aplicação de pintura decorativa eletrostática e anodização.

Para a fixação dos “inserts” metálicos na base suporte de fixação são utilizados chumbadores. Recomenda-se que os chumbadores sejam de aço inoxidável.

Conforme Siqueira Júnior (2003), a correta especificação dos chumbadores quanto às características e forma de fixação são fatores de fundamental importância para a estabilidade do sistema de fachada ventilada. Existem os chumbadores mecânicos, químicos ou bucha de expansão.

- Chumbadores mecânicos: ideais para peças de concreto e alvenaria maciça, são ligados à base através de um tensionamento passivo, geralmente provocado pela expansão do sistema de fixação, conforme figura 13;

- Buchas de expansão: buchas de nylon que se expandem pela ação de um parafuso de fixação, ideais para componentes perfurados ou vazados, conforme figura 14;
- Chumbadores químicos: compostos por uma barra de aço roscada, fixada com resina poliéster bicomponente, ideais para componentes perfurados ou vazados, conforme figura 15.

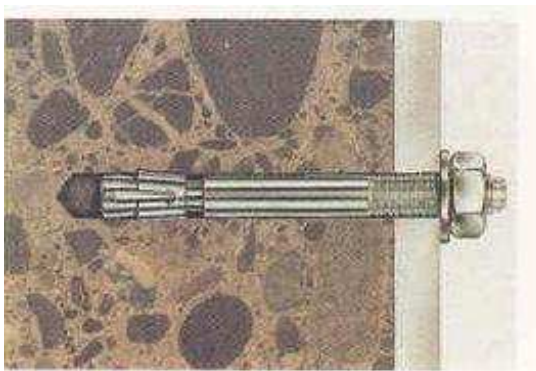


Figura 13 – Chumbador mecânico.

Fonte: Tectônica (1995 apud SIQUEIRA JÚNIOR, 2003, p.165).

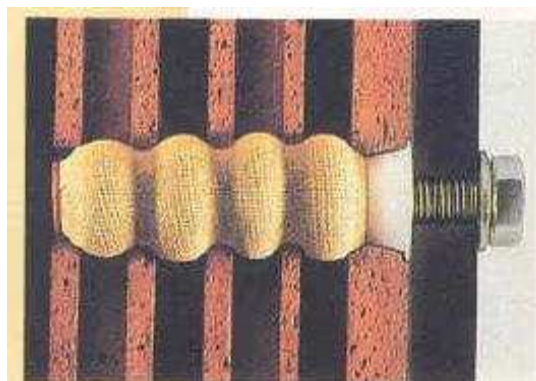


Figura 14 – Chumbador bucha de expansão.

Fonte: Tectônica (1995 apud SIQUEIRA JÚNIOR, 2003, p.165).

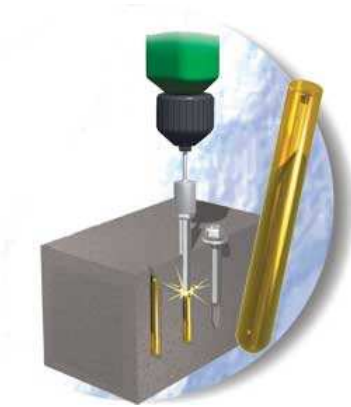


Figura 15 – Chumbador químico.  
Fonte: Ancora chumbadores.

### 2.2.5 Fachadas cortinas de vidro

As fachadas de vidro, que utilizam a técnica de execução das fachadas cortinas, por meio de uma subestrutura auxiliar em alumínio, têm sido largamente utilizadas na construção civil. A leveza e transparência são características que contribuem para as especificações.

Segundo Nakamura (2009), entre 1940 e 1970 já existiam arquitetos que exploravam a utilização de vidros em amplas fachadas. Nas últimas décadas a tecnologia de fachadas cortinas de vidro avançou rapidamente e com várias melhorias, como por exemplo, diminuir o tempo de instalação, ocultamento dos perfis metálicos agregando leveza visual principalmente à arquitetura corporativa.

Os sistemas construtivos das fachadas cortinas de vidro foram sendo adaptados, pois as especificações se voltaram para fachadas neutras, sem o destaque de perfis horizontais e verticais na face da fachada.

De acordo com Rosso (2007), os sistemas construtivos para as fachadas cortinas de vidro podem ser construídos conforme as características técnicas que os diferenciarão do ponto de vista estético, tornando visíveis ou não os perfis de alumínio na fachada. No sistema tradicional, os perfis estruturais de alumínio ficam externos às esquadrias, salientando verticalmente a fachada em relação ao plano de vidro.



Referente às características estéticas, os sistemas podem ser divididos em Pele de Vidro, Structural Glazing e Grid e com relação ao sistema construtivo podem ser classificados em Stick, Unitizado e Híbrido ou Coluna-Folha.

Rosso (2007) explica ainda que a Pele de Vidro é uma fachada cortina predominantemente de vidro, com poucas marcações perimetrais de alumínio. O sistema Structural Glazing eliminou o alumínio externo, possibilitando a construção de uma fachada totalmente envidraçada, pois a infraestrutura fica oculta pelos vidros. Nesse sistema, os perfis estruturais são montados internamente e as esquadrias são fixadas frontalmente por meio de presilhas e a fixação dos vidros é feita com silicone estrutural ou fita adesiva dupla face. No sistema Grid domina a marcação horizontal e vertical formando uma grelha.

Nas figuras 16, 17 e 18 verificam-se os sistemas Stick, Unitizado e Híbrido ou coluna-folha, respectivamente. Na tabela 1 encontram-se também os tipos de fachadas cortinas de vidro.

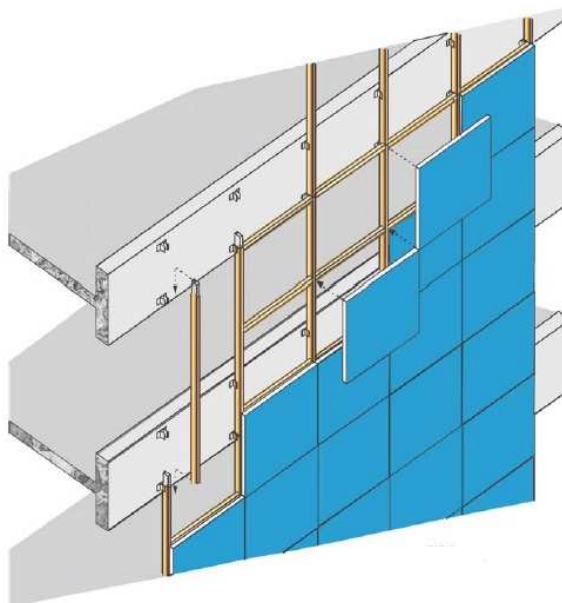


Figura 16 – Fachada Sistema Stick.  
Fonte: Santos (2005, p.30).

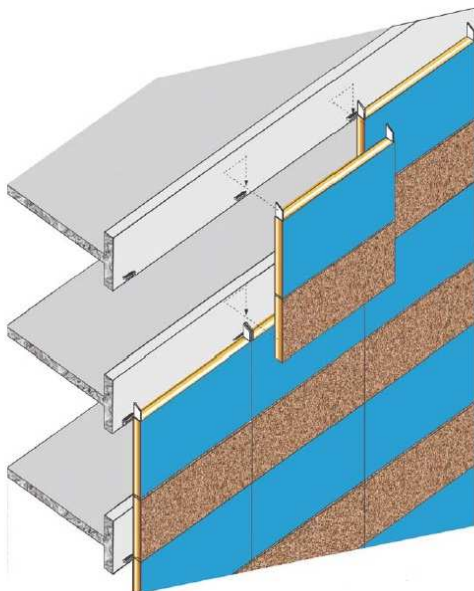


Figura 17 – Fachada Sistema Unitizado.  
Fonte: Santos (2005, p.35).

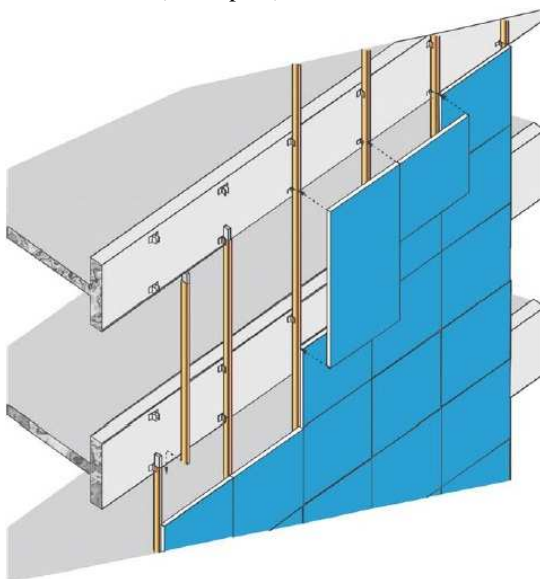


Figura 18 – Fachada Sistema Híbrido ou Coluna-Folha.  
Fonte: Santos (2005, p.36).

Tabela 1 – Tipos de fachadas cortinas de vidro

STRUCTURAL GLAZING	Envidraçamento estrutural com pouca ou nenhuma estrutura de aço ou alumínio. Tem sido a preferida dos arquitetos, para lobbies de edifícios comerciais com grandes vãos. O vidro deve ser temperado, mas pode receber outro beneficiamento também.
SISTEMA STICK (PELE DE VIDRO)	As colunas são instaladas primeiro; depois, aplicam-se os quadros de alumínio e vidro. São conhecidas por pele de vidro, pois as colunas – sua estrutura de sustentação – ficam do lado interno da edificação. Exige montagem externa com andaimes fachadeiros ou balancins.
SISTEMA GRID	Originalmente, era essa a concepção das fachadas cortinas. Tem colunas aparentes que estruturam a fachada. As travessas horizontais também são aparentes. São reconhecidas por apresentar linhas horizontais e verticais ao observador externo.
SISTEMA UNITIZADO	É o mais moderno sistema de fachada no Brasil. A coluna é dividida em duas partes e, conseqüentemente, a esquadria configura-se em módulos. A montagem dos módulos é feita pelo lado interno do edifício.

Fonte: Revista O Vidro Plano (2007)

### 2.2.6 Juntas entre as placas

Nas fachadas ventiladas existem dois tipos de juntas, as abertas e as fechadas. Por princípio, o sistema de fachadas ventiladas não exige nenhum tipo de vedação das juntas.

A NBR 9817 (1987, p.3) afirma que juntas são “frestas regulares entre duas peças de materiais idênticos ou distintos”.

Segundo a NBR 15755 (1996) recomenda-se que na execução de assentamento de revestimentos cerâmicos sejam deixados espaços entre as placas. As juntas apresentam as seguintes funções:

- Compensar a variação de bitola das placas cerâmicas, facilitando o alinhamento;
- Atender a estética, harmonizando o tamanho das placas e as dimensões do pano a revestir com a largura das juntas entre as placas cerâmicas;
- Oferecer relativo poder de acomodação às movimentações da base e da placa cerâmica;
- Facilitar o perfeito preenchimento, garantindo a completa vedação da junta;
- Facilitar a troca de placas cerâmicas.

Para as fachadas ventiladas pode-se definir as juntas como espaços deixados entre o perímetro das placas de revestimento, que tem função de permitir a livre movimentação das placas originadas pelas variações de temperatura, movimentações da estrutura suporte ou ainda das ancoragens mecânicas.

#### 2.2.6.1 Juntas abertas

As juntas abertas são espaços regulares entre placas de revestimentos cerâmicos. São caracterizadas pelo sistema de fachadas ventiladas, na qual existe a circulação de ar entre as juntas e também na câmara de ar por intermédio do efeito chaminé. Como não existe a vedação das juntas, estas podem receber infiltração da água da chuva.

Segundo o manual técnico da Marazzi (2008), o uso das placas de revestimentos cerâmicos resultam em um particular tipo de fachada ventilada à medida que as juntas entre cada placa (geralmente um espaço de 8mm) permanecem abertas. No sistema de fixação visível, somente as juntas horizontais permanecem abertas, enquanto que no sistema de fixação oculto as juntas horizontais e verticais ficam abertas. Isto não causa significativa mudança na circulação de ar e a entrada da água da chuva não é considerada um problema, uma vez que a quantidade de água envolvida é pequena. Estudos realizados na Alemanha confirmam este fenômeno conforme figura 19.

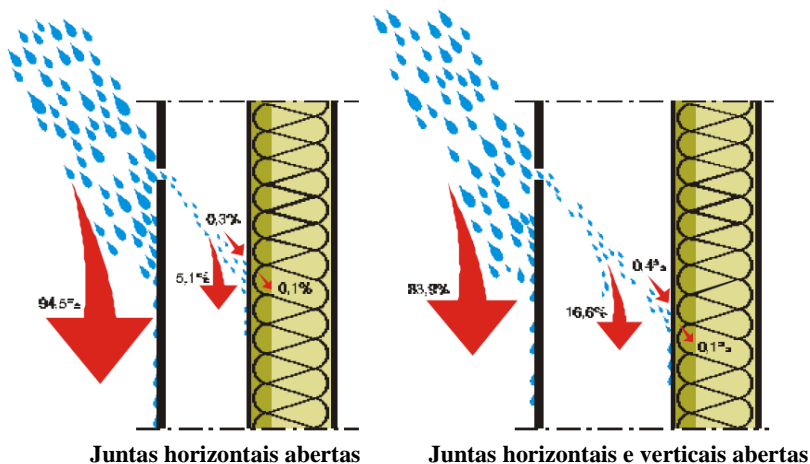


Figura 19 – Juntas horizontais e verticais.  
Fonte: Manual técnico Marazzi (2008).

Quando as juntas horizontais permanecem abertas, a quantidade de água das chuvas que entra na câmara de ar é em torno de 5,1%, sendo que desta apenas 0,3% atinge a vedação interna e apenas 0,1% é absorvida. No caso de juntas horizontais e verticais abertas, 16,6% de água entra no sistema. Destes 0,4% atingem a vedação interna e somente 0,1% é absorvido pela parede, o restante é escoado pelo verso da placa ou através da câmara de ar.

### 2.2.6.2 Juntas fechadas

As juntas fechadas são especificadas quando a câmara de ar não é ventilada. Realiza-se a vedação das juntas que apresenta função de proteção externa contra a penetração da água da chuva.

De acordo com Siqueira Junior (2003), recomenda-se utilizar o revestimento de aberturas e de drenos para possibilitar a equalização das pressões e o escoamento de água que porventura adentre o sistema durante tempestades.

Pode-se utilizar selantes desde que se tenha conhecimento das ações de compatibilidade química com o revestimento e as alterações de cor, devido às ações de raios ultravioletas.

A NBR 9817 (1987, p. 35) faz as seguintes recomendações para a vedação das juntas:

Devem ser verificadas as condições de preparação da junta (juntas com bordas regulares, secas, limpas e totalmente desobstruídas), as condições do material de enchimento (natureza, estado de umidade e altura da camada) e todas as condições de aplicações do selante (eventual imprimação preliminar, altura da camada, acabamento superficial do selante e proteção lateral das juntas) para que não ocorra impregnação dos pisos cerâmicos.

### 2.2.6.3 Material de preenchimento das juntas

Segundo a NBR 13707 (2004), em caso de opção pela vedação das juntas com selantes estes devem:

- Ser resistentes aos agentes atmosféricos;
- Apresentarem aderência aos materiais nos quais serão aplicados;
- Ser estanque ao ar e à água e não causar manchas ou alterações nos materiais aos quais são aplicados;
- Ser inerte em presença de substâncias químicas normalmente encontradas nos edifícios;
- Ter elasticidade suficiente e mantê-la ao longo da vida útil prevista.

Para preenchimento das juntas o rejuntamento geralmente utilizado é o silicone ou poliuretano.

Goldberg (1998) informa os critérios para seleção de selantes para vedação de juntas em fachadas:

- Elevado poder adesivo (resistência ao cisalhamento e tração);
- Resistência à água;
- Flexibilidade;
- Permanência;
- Resistência ao fogo e alta temperaturas;
- Segurança;
- Boas propriedades como tempo em aberto e resistência ao escorrimento.

## 2.3 REVESTIMENTO CERÂMICO DO TIPO PORCELANATO

Atualmente os revestimentos cerâmicos do tipo porcelanato têm se tornado bastante competitivos quando comparados aos demais materiais utilizados na execução de fachadas, com o sistema de fixação mecânica. A alta resistência mecânica e a baixa absorção de água são características fundamentais para as especificações.

Conforme Mäntylä (2001 apud SIQUEIRA JÚNIOR, 2003) o material mais recomendado para aplicação em fachadas ventiladas deve possuir uma absorção de água menor ou igual a 0,5%. Nesta classe de absorção denominada B1a pela norma Brasileira de revestimentos cerâmicos, NBR 13817 (1997), encontram-se os porcelanatos. O autor comenta também sobre a resistência mecânica do revestimento cerâmico, que deverá resistir aos esforços devido ao vento e ao choque acidental de corpos, citando o valor estabelecido pela norma EN 100 em torno de  $35\text{N/mm}^2$ , mas que os revestimentos cerâmicos de maior qualidade atingem valores superiores a  $50\text{N/mm}^2$ .

Inicialmente os porcelanatos foram desenvolvidos para concorrer com as pedras naturais. No Brasil, a tecnologia de produção de porcelanato foi inserida há 15 anos. Desde então, o porcelanato vem substituindo muitas especificações para locais de domínio das pedras naturais e pode-se enfatizar o uso do porcelanato em fachadas tanto pelos sistemas que trabalham completamente aderidos (argamassas colantes) como para as fachadas ventiladas.

O porcelanato é obtido a partir de matérias primas feldspáticas e argilosas, submetido a pressões de compactação acima do usado nos materiais cerâmicos convencionais e tratamento térmico a  $1.220^\circ\text{C}$ . Destaca-se pelas seguintes características:

- Alta carga de ruptura;
- Alta resistência à flexão;
- Alta resistência à abrasão;
- Resistência ao gelo;
- Resistência a ácidos e álcalis;
- Uniformidade nas cores;
- Impermeabilidade;
- Amplas possibilidades de composições;
- Baixa absorção de água.

Devido a sua grande durabilidade, o porcelanato é indicado para ambientes de alto tráfego como escolas, hospitais, shoppings, aeroportos, indústrias e supermercados. Por possuir estabilidade de cores e praticamente ausência de expansão por umidade é um revestimento adequado para uso também em fachadas.

A NBR 15463 (2007, p.2) define o porcelanato conforme abaixo:

Porcelanatos são placas cerâmicas para revestimento constituídas por argilas, feldspatos e outras matérias primas inorgânicas. Destina-se a revestir pisos e paredes podendo ser conformado por prensagem, extrusão ou por outros processos. O processo de fabricação envolve elevado grau de moagem, alto teor de matérias primas fundentes e alta densificação após a queima, resultando em produtos com baixa porosidade e elevado desempenho técnico. Pode ser esmaltado ou não, polido ou natural, retificado ou não retificado. O porcelanato pode apresentar dimensões variadas: tamanhos pequenos (área do produto  $\leq 50\text{cm}^2$ ), intermediários ( $50\text{cm}^2 < \text{área do produto} \leq 2500\text{cm}^2$ ) ou grandes (área do produto  $> 2500\text{cm}^2$ ).

A NBR 15463 (2007) informa as seguintes definições para os tipos de porcelanato:

- Porcelanato técnico: placa cerâmica não esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,1%;
- Porcelanato técnico polido: porcelanato técnico que recebe polimento mecânico, o qual resulta em uma superfície com intensidade variável de brilho, em toda a superfície ou parte dela, de acordo com o efeito estético desejado;
- Porcelanato técnico natural: porcelanato técnico que não recebe polimento;
- Porcelanato esmaltado: placa cerâmica esmaltada para revestimento que apresenta absorção de água menor ou igual a 0,5%;
- Porcelanato retificado: Porcelanato que pode ser técnico ou esmaltado, que recebe um desbaste lateral;
- Porcelanato não retificado: Porcelanato que pode ser técnico ou esmaltado, que não recebe um desbaste lateral.



Na Tabela 2 encontram-se as propriedades físicas do porcelanato técnico e esmaltado.

Tabela 2 – Propriedades físicas do porcelanato técnico e esmaltado

Propriedades físicas		Unidades	Área do produto $\leq$ 50cm <sup>2</sup>		Área do produto $>$ 50cm <sup>2</sup>	
			Técnico	Esmaltado	Técnico	Esmaltado
Absorção de água	Média	%	$\leq$ 0,1	$\leq$ 0,5	$\leq$ 0,1	$\leq$ 0,5
	Individual (máx)	%	0,2	0,6	0,2	0,6
Módulo de resistência à flexão	Média	MPa	$\geq$ 45		$\geq$ 45	$\geq$ 37
	Individual (min.)	MPa	42		42	35
Carga de Ruptura	E < 7,5 mm	N	$\geq$ 1000		$\geq$ 900	$\geq$ 900
	E $\geq$ 7,5mm	N	Não se aplica		$\geq$ 1800	$\geq$ 1500
Resistência à abrasão profunda (não esmaltados)		mm <sup>3</sup>	$\leq$ 140	Não se aplica	$\leq$ 140	Não se aplica
Dilatação térmica linear <sup>1)</sup>			Por acordo		Por acordo	Por acordo
Resistência ao choque térmico <sup>1)</sup>			Por acordo		Por acordo	Por acordo
Resistência ao gretamento <sup>2)</sup>			Não se aplica	Não gretar	Não se aplica	Não se aplica
Coeficiente de atrito			A declarar		A declarar	A declarar
Resistência à abrasão superficial <sup>1, 3)</sup>			Não se aplica	Por acordo	Não se aplica	Por acordo
Resistência ao congelamento <sup>1)</sup>			Por acordo		Por acordo	Por acordo
Resistência ao impacto <sup>1)</sup>			Por acordo		Por acordo	Por acordo

#### NOTAS

1 Os valores, em função de aplicações específicas, podem ser verificados pelos métodos de ensaios disponíveis e os limites acordados entre as partes.

2 Certos efeitos decorativos podem apresentar efeito craquelê proposital; nestes casos devem ser identificados como gretamento pelo fabricante e o ensaio não será aplicável.

3 A classe de abrasão, conforme anexo D da ABNT NBR 13818:1997, deve ser acordada entre as partes.

Fonte: NBR 15463 (2007)

Segundo Siqueira Junior (2003), a fachada ventilada com a utilização de porcelanato como material de revestimento teve início nos principais países europeus, com um trabalho associado à substituição do uso das pedras naturais. Com isso o porcelanato tornou-se concorrente das pedras, mas com uma série de vantagens:

- Menor absorção de água;
- Menor peso;
- Material homogêneo (não apresentam grande variação de tonalidade);
- Menor potencial de manchamento (as placas pétreas apresentam manchamento quando expostas a intempéries, devido à alta absorção de água);
- Menor controle no recebimento e escolha das placas;
- Maior perspectiva de durabilidade;
- Composição com demais revestimentos cerâmicos (paginação).

Para evitar a ruptura do porcelanato devido a choques acidentais na fachada e por questões de segurança, recomenda-se a inserção de uma tela no verso das placas, por meio de materiais à base de adesivo poliuretano bicomponente.

A figura 20 ilustra uma fachada ventilada com o revestimento porcelanato, executada com “inserts” metálicos pontuais em Belo Horizonte - MG. O tamanho das placas é 60x60cm e espessura de 15mm. Para esta fachada foi realizada uma produção especial em uma indústria de revestimentos cerâmicos, para obtenção do porcelanato com espessura 15mm.



Figura 20 – Fachada ventilada com placas de porcelanato.  
Fonte: Do autor.

### **2.3.1 Porcelanato de fina espessura**

Os porcelanatos padrões possuem espessura em torno de 10mm. Na Europa desenvolveu-se uma tecnologia para fabricação de porcelanato com fina espessura e grande formato.

O porcelanato de fina espessura é caracterizado pela versatilidade estética e dimensional. É reconhecido como o produto e processo tecnológico mais inovador que as indústrias cerâmicas têm desenvolvido nos últimos anos. A tecnologia industrial pode ser instalada em qualquer país e os produtos estão se tornando cada vez mais populares.

Suas características dimensionais leves e de fácil manutenção criam um material totalmente versátil, que pode ser aplicado no revestimento de paredes internas e externas, incluindo fachadas e coberturas. Galerias de metrô, fachadas ventiladas, construção naval, hospitais, clínicas, laboratórios, indústrias de alimentos, etc. Na decoração ele pode ser usado na cobertura de móveis, portas, tampos de mesa, painéis decorativos, divisórias, bancadas e acabamentos.

A origem desta tecnologia foi promovida pela empresa Italiana System que atua no segmento de fabricação de máquinas e equipamentos para a indústria cerâmica.

Conforme Crasta (2007), a tecnologia de fabricação para porcelanatos de fina espessura teve início em 1996 quando a empresa Laminam apresentou o projeto para o ministro da indústria Italiana. Após quatro anos de pesquisa, o inventor da tecnologia criou uma linha de produtos que se tornou o mais fino revestimento cerâmico disponível no mercado. Laminam é uma unidade do Grupo System instalada em Fiorano Modenese (Modena), a qual foi a primeira em todo o mundo a fabricar e comercializar este tipo de produto e buscou também o aperfeiçoamento das características técnicas e estéticas.

Crasta (2007) ainda informa que no final de 2005 esta tecnologia foi instalada na Turquia pelo grupo Kalebodur. Em 2006 ocorreu a primeira instalação na Espanha pelo grupo Levantina, líder em fabricação e distribuição de pedras naturais que inaugurou uma nova fábrica chamada Techlam, para produção e distribuição do porcelanato de fina espessura. Na Itália existem mais duas fábricas, uma do grupo Panaria e outra da Lea.

No Brasil ainda não existe nenhuma fábrica instalada do porcelanato de fina espessura, no entanto alguns fabricantes nacionais estão importando.

Pode-se definir este revestimento cerâmico de fina espessura como um porcelanato técnico, com absorção de água em torno de 0,1%. No momento apresenta dimensões comerciais máximas de 3x1m, peso de 7Kg/m<sup>2</sup>. Uma placa de 3x1m pesa em torno de 21Kg e tem espessura de 3mm. Também é possível obter espessuras superiores a partir da união de placas e inserção de fibra de vidro no verso da placa para fornecer resistência mecânica e segurança ao manuseio e transporte do produto. A empresa Laminam apresenta placas com espessuras de 3mm, 3,5mm, 7mm e 11mm. Neste trabalho o foco será com placas de 3x1m e 3.5mm de espessura, que resultam em 8Kg/m<sup>2</sup>.

Através do corte é possível obter tamanhos inferiores à placa padrão, como por exemplo, 100x100cm, 100x40cm, 50x50cm e 100x5cm.

As placas de porcelanato de fina espessura são produzidas pelo processo de fabricação via úmida, com matérias primas, como por exemplo, as argilas e os feldspatos que são transformados em grânulos, com alto desempenho no processo de compactação seguido pela sinterização de aproximadamente 1.250°C. Apresenta as seguintes características técnicas:

- Resistência aos ataques químicos (solventes orgânicos e inorgânicos, desinfetantes, detergentes, etc.);
- Superfície higiênica (não permite a proliferação de fungos, mofo e bactérias);
- Resistência ao fogo e a altas temperaturas;
- Resistência à abrasão profunda (e dureza 5 na escala MOHS);
- Cores inalteráveis (resistente aos raios ultravioleta; as cores não sofrem variação, mesmo exposto a condições climáticas e atmosféricas rigorosas);
- Antigelivo (absorção de água próximo de zero, resiste ao gelo e se adapta a todas as condições climáticas e atmosféricas);
- Resistência à flexão;
- Ecompatibilidade e reciclável (produto obtido de matérias-primas controladas; no processo de produção não são liberados gases nocivos nem resíduos danosos ao meio ambiente ou ao homem).

Segundo Adams (2007), o porcelanato de fina espessura é considerado um produto ecologicamente correto. Comparado o seu processo de produção com os revestimentos cerâmicos tradicionais, apresenta emissão de gás e poeira 20 vezes menos e a emissão de CO<sub>2</sub> é 1.000 vezes inferior.

Na Tabela 3 estão informadas as características técnicas do porcelanato de fina espessura.

Tabela 3 – Características técnicas do porcelanato de fina espessura

<b>Características</b>	<b>Teste Padrão</b>	<b>Limite EN 14411 Grupo BIa</b>	<b>Placa porcelanato fina espessura Laminam</b>
Absorção de água	ISO10545-3	≤ 0,5	0,1%
Resistência à flexão	ISO10545-4	Min. 35 MPa	50 MPa
Resistência ao impacto/Coeficiente de restituição	ISO10545-5	Método de ensaio/Por acordo.	0,6
Resistência à abrasão profunda	ISO10545-6	≤ 175mm <sup>3</sup>	≤ 175mm <sup>3</sup>
Coeficiente de expansão térmica	ISO10545-8	Método de ensaio/Por acordo	6,6 x 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>
Resistência ao choque térmico	ISO10545-9	Método de ensaio/Por acordo	Resistente
Resistência ao gelo	ISO10545-12	Método de ensaio/Por acordo	Resistente
Resistência química	ISO10545-13	Min. Classe GB-UB	Resistente
Resistência a manchas	ISO10545-14	Min. Classe 3	Classe 5
Resistência ao risco	UNI EN 101	A declarar	≥ 5
Coeficiente de atrito	ASTM C-1028	A declarar	>0,6
Espessura	-	-	3.5mm
Tamanho	-	-	3000x1000mm
Peso	-	-	8Kg/m <sup>2</sup>
<p>Observações:</p> <p>1) ISO = International Standard Organization – Organização Internacional de Normalização</p> <p>2) EN = European Committee for Standardization – Normalização da Comunidade Européia.</p> <p>3) ASTM = American Society for Testing and Materials – Normalização da Sociedade Americana para testes e materiais.</p>			

Fonte: Adaptado de Ceramic World Review n. 03 (2009) e Laminam (2008).

De acordo com as recomendações da Laminam segue especificações para cada espessura:

- **Porcelanato - 3mm:** nesta placa não existe aplicação da fibra de vidro, constitui-se somente em porcelanato. Indicado para paredes internas e externas e indústria de móveis. Conforme figura 21.



Figura 21 – Porcelanato de 3mm de espessura.

Fonte: Laminam (2008).

- **Porcelanato laminado - 3,5mm:** A placa de porcelanato de 3mm de espessura recebe no seu verso uma tela de fibra de vidro de 0,5mm. Indicado para pisos internos e externos, paredes internas e externas, fachadas ventiladas e indústria de móveis. Conforme figura 22.



Figura 22 – Porcelanato de 3,5mm de espessura.

Fonte: Laminam (2008).

- **Porcelanato laminado 7mm:** Um painel formado por duas placas de porcelanato de 3mm de espessura e aplicação de fibra de vidro entre as placas. Indicado para pisos internos e externos, paredes internas e externas, pisos elevados e indústria de móveis. Conforme figura 23.



Figura 23 – Porcelanato de 7mm de espessura.

Fonte: Laminam (2008).

- **Porcelanato laminado 11mm:** Um painel formado por três placas de porcelanato de 3mm de espessura e aplicação de duas camadas de

fibra de vidro entre as placas. Indicado para pisos elevados e indústria de móveis. Conforme figura 24.

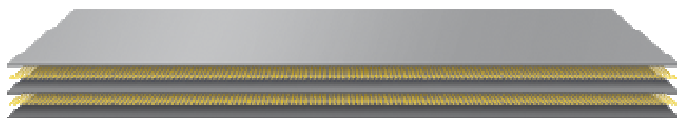


Figura 24 – Porcelanato de 11mm de espessura.  
Fonte: Laminam (2008).

Nas figuras 25 e 26 pode-se verificar exemplos de aplicações.



Figura 25 – Porcelanato fina espessura aplicado em piso e parede.  
Fonte: Laminam (2008).





Figura 26 – Porcelanato fina espessura em móveis.  
Fonte: Do autor.

Para instalação do porcelanato de fina espessura os fabricantes recomendam o uso de argamassa colante para paredes, pisos e fachadas. Para fachadas orientam preferencialmente a instalação através de ancoragem mecânica, técnica esta utilizada para as fachadas ventiladas. O sistema de fachada ventilada para instalação das placas do porcelanato de fina espessura é muito similar às estruturas metálicas utilizadas para as fachadas cortinas de vidro.

### 2.3.1.1 Processo de Produção – Porcelanato de fina espessura

O processo de produção do porcelanato de fina espessura apresenta um sistema especial de compactação que consiste em transformar matérias-primas, tais como, argilas e feldspatos em placas que combinam as características técnicas e estéticas dos porcelanatos.

De acordo com a catálogo técnico da System Lamina (2010), durante a produção são realizadas menos emissões de gases no meio

ambiente e também existe uma redução do custo do energia, devido a placa apresentar fina espessura. O processo de queima é capaz de atingir 1.250°C através de um forno híbrido (gás/elétrico), reduzindo o consumo de combustível e mantendo a qualidade do produto final.

As principais etapas do processo de produção do porcelanato de fina espessura são: moagem das matérias-primas, compactação, decoração, queima, linha de compósitos, linha de corte, embalagem e expedição.

Na figura 27 verifica-se a fábrica Laminam na Itália.



Figura 27 – Fábrica Laminam (Itália).

Fonte: Do autor.

### 2.3.1.2 Fachadas ventiladas – Porcelanato de fina espessura

A tecnologia de fachadas ventiladas para o porcelanato de fina espessura é muito recente. Na Itália e Turquia as empresas produtoras deste produto têm desenvolvido sistemas próprios de instalação.

Como este produto apresenta fina espessura e grande formato, a forma de instalação seguindo a técnica de execução das fachadas ventiladas é muito similar às fachadas cortinas de vidro.

São utilizados perfis de alumínio aderidos no perímetro da placa de porcelanato de fina espessura, formando um quadro. A interface entre

o verso da placa e o perfil de alumínio é realizada por um adesivo com função estrutural. São utilizados selantes como, por exemplo, os silicones e poliuretanos estruturais. O tipo de fixação é caracterizado pelo sistema oculto.

Nas figuras 28 e 29 pode-se verificar a fixação dos perfis de alumínio nas placas do porcelanato de fina espessura.



Figura 28 – Formação quadro de alumínio.

Fonte: Do autor.



Figura 29 – Aplicação adesivo estrutural.

Fonte: Do autor.

Como as placas apresentam grande formato, verifica-se a necessidade de inserir perfis reforços para resistir aos esforços devido à flexão. Na figura 30 verifica-se a formação de um quadro para placas no tamanho 1000x1000mm. Na figura 31 está ilustrada a formação do quadro para as placas de 3000x1000mm com os perfis reforços.



Figura 30 – Quadro de alumínio 1000x1000mm.  
Fonte: Do autor.



Figura 31 – Quadro de alumínio para placas 3000x1000mm.  
Fonte: Do autor.

Na estrutura base da edificação são realizadas as fixações mecânicas, por meio de chumbadores, cantoneiras, perfis verticais e horizontais, etc. Nas figuras 32 e 33 pode-se verificar as fixações na estrutura base do edifício.



Figura 32 – Instalação fachada.

Fonte: Do autor.



Figura 33 – Detalhe perfis e ancoragens.

Fonte: Do autor.

As placas com dimensões de 3000x1000mm podem ser paginadas para a colocação nas fachadas tanto horizontalmente como verticalmente, isto dependerá diretamente da especificação e dimensionamento da subestrutura auxiliar formada pelos perfis de alumínio.

Na Itália, a empresa Laminam realiza o sistema de quadros, pois todos os lados da placa de porcelanato de fina espessura recebem o perfil de alumínio. Neste caso a paginação pode ser realizada tanto na horizontal como vertical. Este sistema é adotado principalmente pela necessidade de atender a norma de vento regida por região no país. O próprio perfil recebe uma usinagem que permite o encaixe nos perfis guias verticais, conforme as figuras 34, 35 e 36.



Figura 34 – Quadro – perfil Laminam

Fonte: Do autor.



Figura 35 – Detalhe usinagem perfil.  
Fonte: Do autor.



Figura 36 – Detalhe instalação da fachada.  
Fonte: Do autor.

Nas figuras 37, 38, 39, 40 e 41 verifica-se os detalhes do sistema de fachada da empresa Laminam – Itália, caracterizado pelo sistema de fixação oculto.

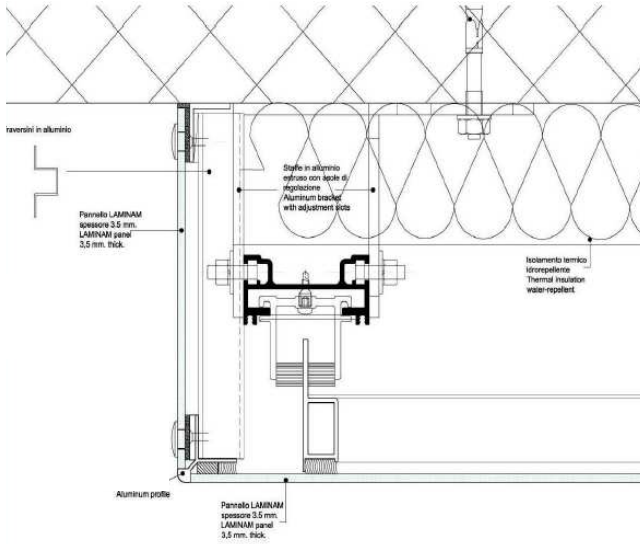


Figura 37 – Fachada Laminam - Seção Horizontal.  
Fonte: Sistema Laminam Esterna (2010).

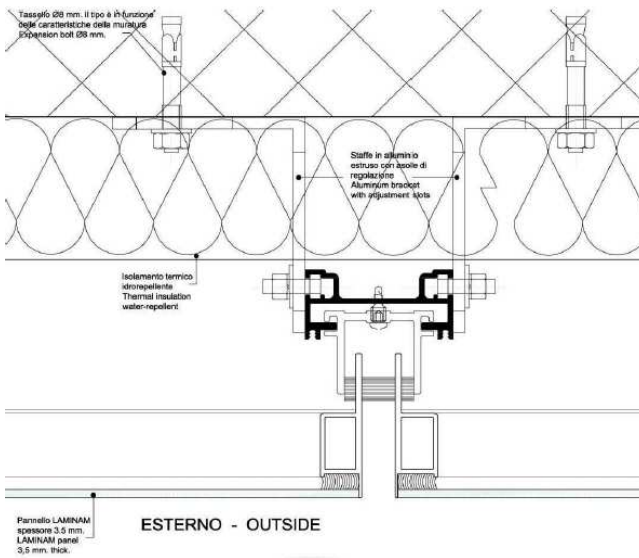


Figura 38 – Fachada Laminam - Seção Horizontal: junta intermediária.  
Fonte: Sistema Laminam Esterna (2010).



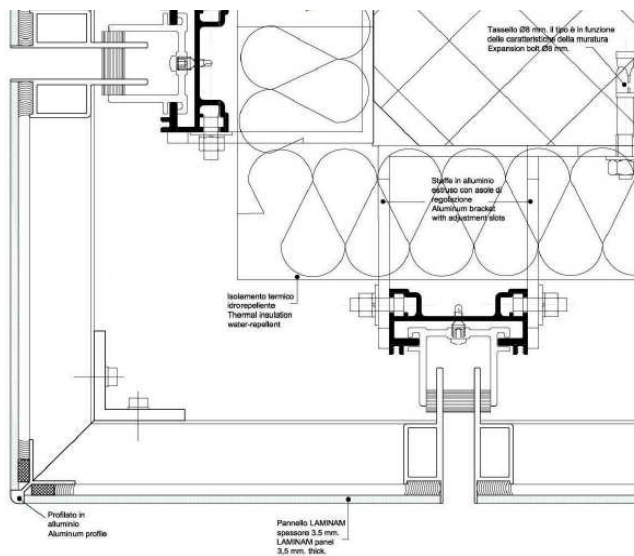


Figura 39 – Fachada Laminam - Seção horizontal: detalhe perfis.  
Fonte: Sistema Laminam Esterna (2010).

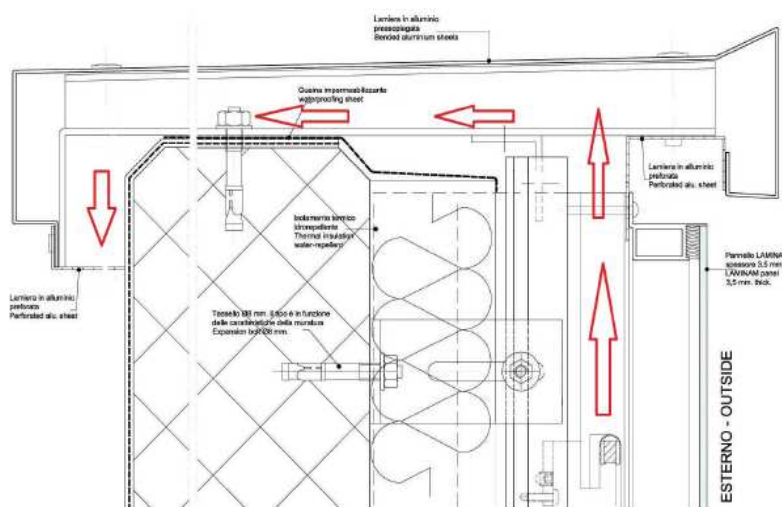


Figura 40 – Fachada Laminam - Seção vertical: fechamento superior.  
Fonte: Sistema Laminam Esterna (2010).

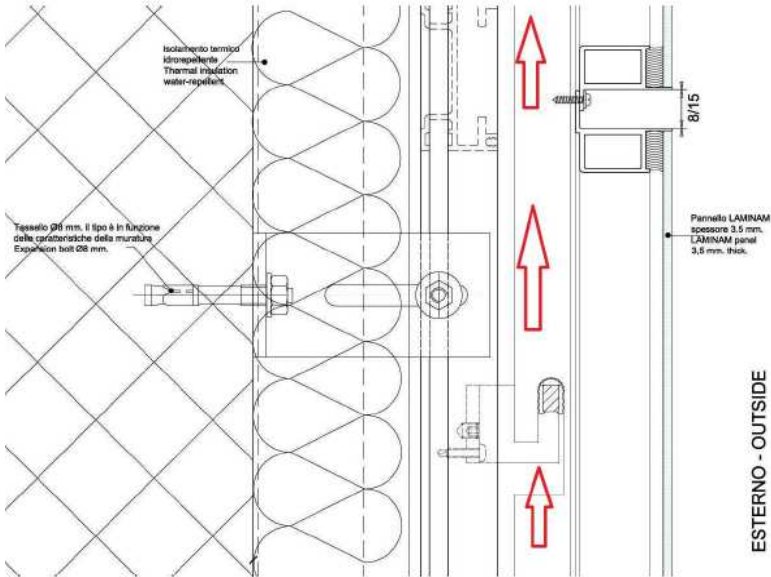


Figura 41 – Fachada Laminam - Seção vertical: junta intermediária.  
Fonte: Sistema Laminam Esterna (2010).

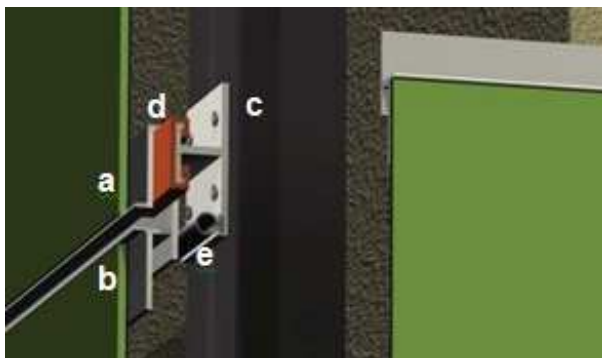
O sistema desenvolvido na Turquia pela empresa Kalebodur, consiste somente em perfis de alumínio (superior e inferior) aderidos no lado 3000mm. Neste caso, permite-se instalar somente as placas na horizontal. Nas figuras 42, 43 e 44 encontram-se os detalhes do sistema composto por perfis de alumínio.



Figura 42 – Fixação das placas por perfis metálicos.  
Fonte: Catálogo técnico Kalebodur (2008).



Figura 43 – Fixação das placas. Detalhe: perfis verticais e ancoragens.  
 Fonte: Catálogo técnico Kalebodur (2008).



- a – Perfil inferior
- b – Perfil superior
- c – “Inserts” metálicos
- d – Perfil de vedação
- e – Perfil de vedação

Figura 44 – Fixação das placas. Detalhe: “inserts” metálicos.  
 Fonte: Catálogo técnico Kalesinterflex (2008).

Nas figuras 45, 46, 47 e 48 encontram-se os esquemas gráficos de instalação do porcelanato de fina espessura, com sistema de fixação mecânico oculto.

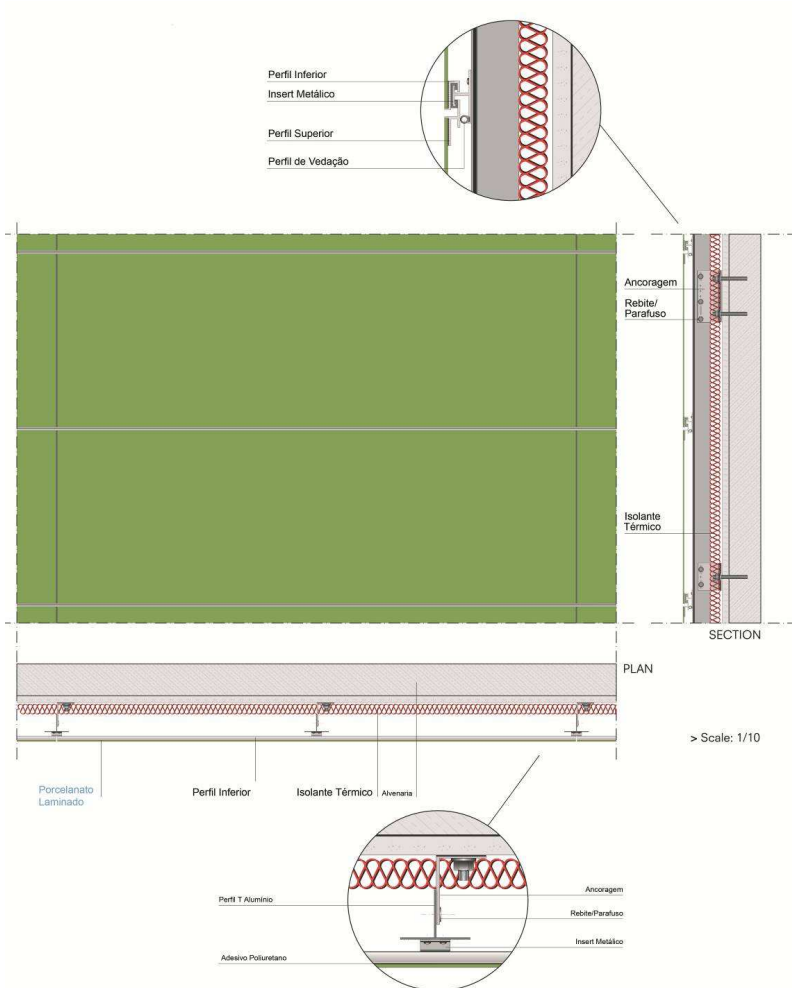


Figura 45 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto.  
 Fonte: Adaptado catálogo técnico Kalebodur (2008).

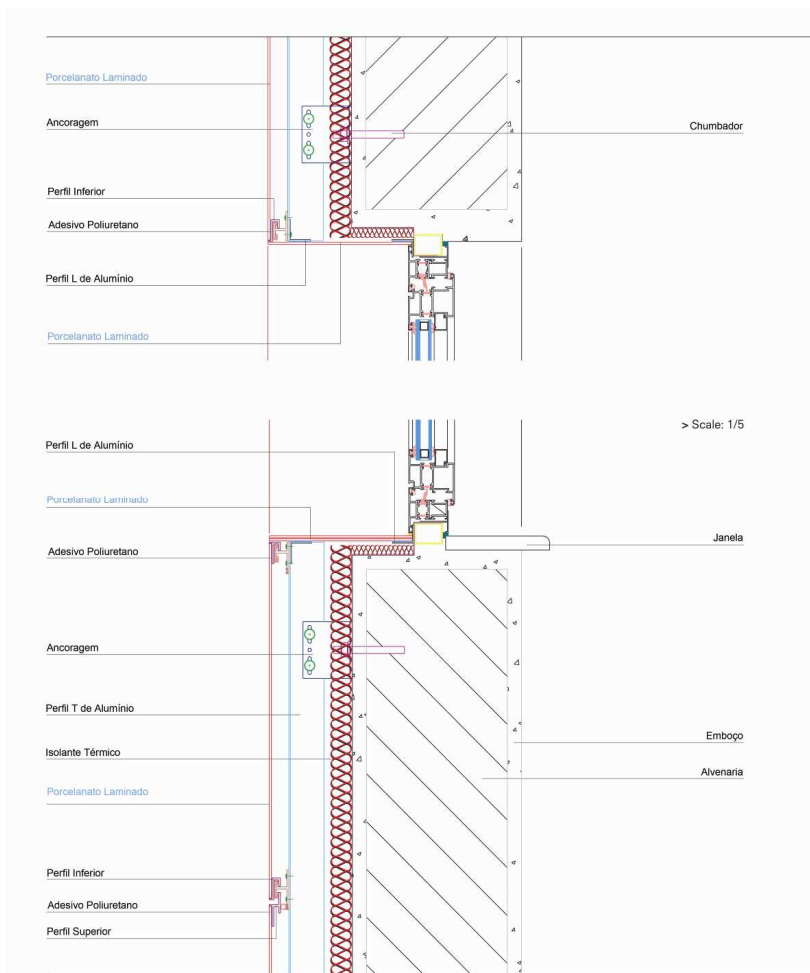


Figura 46 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. Detalhe do sistema.

Fonte: Adaptado catálogo técnico Kalebour (2008).

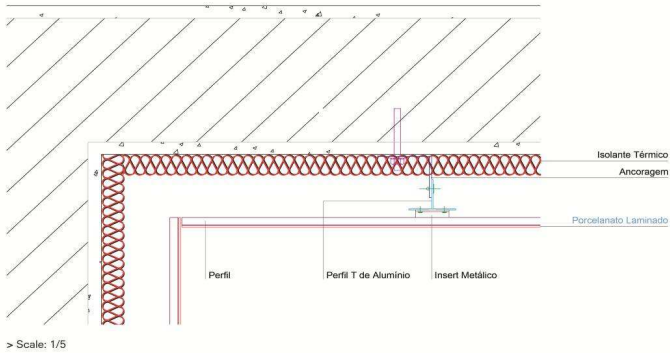


Figura 47 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. Detalhe do sistema: canto interno.

Fonte: Adaptado catálogo técnico Kalebodur (2008).

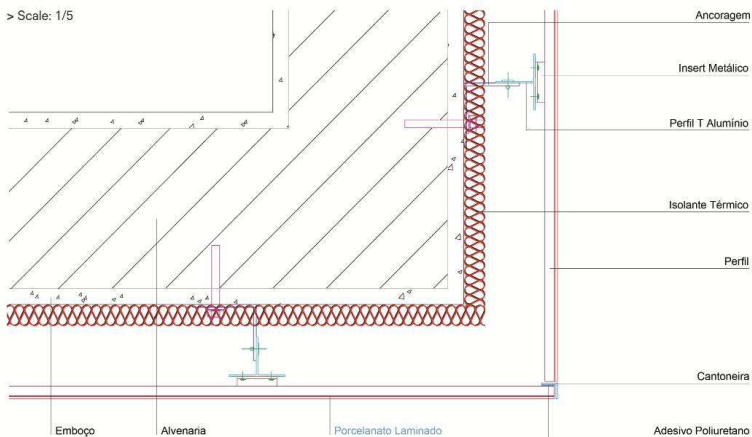


Figura 48 – Ancoragem das placas com sistema de fixação oculto. Detalhe do sistema: canto externo.

Fonte: Adaptado catálogo técnico Kalebodur (2008).

Nas figuras 49 e 50 encontram-se exemplos de aplicações de porcelanato de fina espessura em fachadas ventiladas, realizada na sede do grupo System na Itália.



Figura 49 – Instalação fachada ventilada com porcelanato de fina espessura 3000x1000mm.

Fonte: System Laminam (2008).



Figura 50 – Fachada ventilada finalizada com porcelanato de fina espessura 3000x1000mm.

Fonte: Do autor.

Nas figuras 51, 52 e 53 encontram-se mais exemplos de aplicações de porcelanato de fina espessura em fachadas ventiladas.



Figura 51 – Instalação de uma fachada ventilada.  
Fonte: Do autor.



Figura 52 – Fachada ventilada.  
Fonte: Laminam (2008).





Figura 53 – Instalação fachada ventilada com porcelanato de fina espessura 3000x1000mm.

Fonte: System Laminam (2008).

## 2.4 SÍNTESE DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica permitiu apontar os seguintes assuntos relevantes para a pesquisa:

- A fachada representa a valorização do empreendimento bem como responsabilidade pela proteção e durabilidade da edificação;
- As fachadas ventiladas são reconhecidas pelas características de melhor desempenho do conforto térmico e também por apresentar um sistema construtivo inovador, através dos sistemas de revestimentos não aderidos;
- Orientação e recomendação dos sistemas de fixação (subestrutura auxiliar metálica, “inserts” metálicos e chumbadores);
- Avaliação dos sistemas construtivos de fachadas ventiladas utilizados no exterior;

- Possibilidade de adaptação da subestrutura auxiliar em alumínio e processo de instalação das fachadas cortinas de vidro, já utilizadas no Brasil;
- Conhecer detalhadamente as características do porcelanato de fina espessura e sua aplicação em fachadas ventiladas.

## **CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento do trabalho foram seguidos os seguintes procedimentos: revisão bibliográfica, pesquisa de campo no Brasil e no exterior e desenvolvimento do processo.

### **3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A pesquisa bibliográfica foi baseada em livros, teses, dissertações, normas técnicas, manuais técnicos, artigos técnicos, revistas e internet. No Brasil a tecnologia de fachadas ventiladas é muito recente, sendo assim, a maioria do acervo técnico encontra-se na literatura internacional, principalmente em recomendações técnicas de empresas da Europa que apresentam domínio desta tecnologia.

No Brasil não existem normas específicas para projeto e execução de fachadas ventiladas ou fachadas cortinas. Assim, foram verificadas as recomendações internacionais de empresas que já trabalham com esta tecnologia e também as normalizações e recomendações brasileiras que atualmente são utilizadas para as fachadas cortinas de vidro.

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica aprofundada referente ao tema de fachadas ventiladas. Foram verificadas as características, vantagens, recomendações para projetos e composição do sistema construtivo. Estudou-se também sobre as fachadas cortinas de vidro, para análise das semelhanças que poderiam ser inseridas no desenvolvimento deste trabalho. Apresentou-se a caracterização do revestimento cerâmico do tipo porcelanato, especialmente sobre os porcelanatos de fina espessura, com foco tanto no processo de produção como na sua utilização em fachadas ventiladas.

### **3.2 PESQUISA DE CAMPO**

Para melhor entendimento sobre os porcelanatos de fina espessura e fachadas ventiladas, realizou-se uma viagem técnica para Itália, em maio de 2010. Foi possível conhecer todo o processo de produção bem como as características e aplicações do produto. Verificou-se também a aplicação deste tipo de produto em fachadas

ventiladas. Foi possível acompanhar uma instalação de fachada ventilada e também visitar uma fábrica de perfis de alumínios.

No Brasil, realizou-se uma pesquisa entre os principais fabricantes de perfis e esquadrias de alumínio para análise dos sistemas de fachada cortina de vidro. A partir disso, definiu-se um fornecedor para o desenvolvimento do projeto referente à tecnologia de fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura. Adaptou-se o sistema construtivo com a utilização de perfis de alumínios já disponíveis no mercado.

Foi escolhida a empresa Belmetal, com sede em São Paulo-SP, para desenvolvimento das atividades referente ao dimensionamento da tecnologia de fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura. A Belmetal foi fundada em 1962 e atua no desenvolvimento produtivo e tecnológico da indústria nacional do alumínio.

Para definição do selante estrutural inicialmente foi pesquisado o tipo de material utilizado na Itália e Turquia. Verificou-se que são recomendados os mesmos selantes aplicados para ancoragem química das fachadas cortinas de vidro (tanto no Brasil como no exterior).

No Brasil, foram verificados também quais eram os selantes utilizados para fachadas cortinas de vidro e contactou-se com os principais fabricantes.

Definiu-se utilizar o selante estrutural comercializado pela empresa 3M. Essa é uma multinacional, que possui fábricas e laboratórios no Brasil.

Realizou-se uma pesquisa de mercado, em São Paulo – SP, para verificação de custos e produtividade das fachadas cortinas de vidro e ACM (alumínio composto) para comparação com a fachada ventilada com porcelanato de fina espessura.

### 3.3 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA

#### **3.3.1 Materiais especificados para o sistema construtivo da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura**

O material considerado para o revestimento da fachada é o porcelanato de fina espessura. Apresenta dimensões máximas de 3000x1000mm e 3,5mm de espessura. A placa de porcelanato de 3mm

de espessura recebe no seu verso uma tela de fibra de vidro de 0,5mm para fornecer resistência mecânica e segurança no manuseio, transporte, instalação e também contra choques acidentais após o revestimento ser instalado na fachada. A fibra de vidro é inserida no verso da placa de porcelanato durante o processo de produção do mesmo.

O porcelanato de fina espessura é comercializado no Brasil pela empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos. O laudo técnico do porcelanato de fina espessura encontra-se no Anexo A.

Os perfis que compõem a subestrutura auxiliar foram dimensionados em ligas de alumínio (6060-T5).

Para a subestrutura auxiliar em alumínio foram especificados perfis, componentes e acessórios. Foi utilizada uma linha de perfis para obras especiais, disponibilizada pela empresa Belmetal.

Foram utilizados os seguintes materiais para formação da subestrutura auxiliar em alumínio: coluna; travessa; ancoragem; folha; macho; cunha; perfil T; presilha; cantoneiras; chapa perfurada; rufo de alumínio; luva telescópica; fixador de travessa; parafuso para fixação da folha; parafuso para fixação de travessa; prisioneiro CSW; chumbador expansivo-14065; BUC-S6 e rebite POP. O mapa de perfis e mapa de acessórios estão informados nos Anexos B e C, respectivamente.

Para acabamento dos cantos internos e externos utiliza-se silicone de cura neutra, tarucel (nivelador) e fita VHB.

A fita VHB apresenta função estrutural e é utilizada para o sistema de fachada cortina de vidro chamado structural glazing. Nessas fachadas é outra opção de colagem do vidro na folha sendo que essa possibilidade substitui o silicone estrutural. A fita VHB tem cura instantânea.

O perfil chamado folha recebe o porcelanato de fina espessura e sua ligação é realizada por ancoragem química, através de um adesivo à base de selante estrutural. Foi definido utilizar o selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M. Esse selante estrutural é composto por um poliuretano monocomponente. As propriedades técnicas do selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M estão informadas no Anexo D. Na aplicação do selante utiliza-se uma fita de polietileno expandido, com faces adesivas para limitar a junta do selante.

### **3.3.2 Métodos aplicados no desenvolvimento do sistema construtivo da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura**

#### **3.3.2.1 Dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio**

Para o dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio, primeiramente determinou-se os carregamentos devido ao vento. Foram verificadas as recomendações das normas brasileiras NBR 6123 (1988) - Forças devidas ao vento em edificações e NBR 10821 (2000) - Caixilhos para edificações. Essas normas são utilizadas para o dimensionamento das fachadas cortinas de vidro.

Definiu-se adotar a velocidade característica do vento em 50m/s, conforme o gráfico das isopletras determinado pela NBR 6123 (1988). Mediante as condições atuais e mais comuns de edificações adotou-se os fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ . Na sequência foi determinada a velocidade característica do vento e pressão dinâmica da edificação. Para os coeficientes de pressão adotou-se  $(C_{pe} - C_{pi}) = 1,5$ , pois utiliza-se este valor para as condições mais desfavoráveis, conforme a NBR 10821 (2000). Sendo assim, foi possível determinar a pressão efetiva ou também chamada de pressão de ensaio ( $P_e$ ) pela NBR 10821 (2000).

Determinou-se também o carregamento devido ao vento com velocidade característica do vento em 45m/s, pois essa velocidade é considerada a mais comum nos dimensionamentos e cobre praticamente todo o território brasileiro.

Seguiu-se também a recomendação da NBR 10821 (2000) que recomenda a utilização das pressões de ensaios em  $1.800,00\text{N/m}^2$ , para dimensionamento de estruturas de fachadas cortinas. Assim, determinou-se a pressão de ensaio e pressão de sucção para a fachada em estudo, uma vez que a pressão de sucção corresponde a 80% da pressão de ensaio, segundo recomendação da NBR 10821 (2000).

Após a determinação do carregamento devido ao vento, realizou-se a determinação do comportamento estrutural da subestrutura auxiliar em alumínio.

Os perfis colunas e travessas são responsáveis pela função estrutural do sistema construtivo, assim determinou-se a análise do comportamento estrutural para esses perfis.

Primeiramente é necessário apresentar os dados para a análise estrutural, como por exemplo, distância entre os apoios, distância entre os eixos, área da seção de ensaio, pressão de ensaio, carga total

incidente na seção, carga distribuída, módulo de elasticidade do alumínio na liga 6060 T5 e coeficiente de dilatação térmica linear.

Foram realizadas as verificações citadas a seguir para os perfis coluna e travessa:

- Flecha máxima admissível, conforme recomendações da NBR 10821 (2000);
- Momento de inércia mínimo, de acordo com a equação da resistência dos materiais, utilizada para determinação de deslocamento máximo de uma viga biapoiada com carga uniformemente distribuída;
- Momento resistente mínimo, segundo a equação da resistência dos materiais para determinação de tensão atuante de flexão;
- Dilatação térmica linear, mediante equação da variação de comprimento de uma barra em função da temperatura.

Após determinação das especificações exigidas para a fachada em estudo, avaliou-se os dados estruturais dos perfis coluna e travessa, uma vez que esses devem apresentar momento de inércia e momento resistente superiores aos momentos atuantes.

A flecha máxima e tensão normal foram determinadas pelas equações da resistência dos materiais (deslocamento de uma viga biapoiada com carga uniformemente distribuída e tensão de flexão, respectivamente).

Estudou-se também a resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura. Foi considerado um perfil reforço (chamado perfil T) aderido no verso da placa de porcelanato de fina espessura, com o objetivo de impedir os esforços devido à flexão da placa.

Para determinação da quantidade necessária de apoios, ou seja, do número de perfis T e a distância entre eles, foi determinado o momento fletor máximo, pelo programa Ftool. Esse é programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas, elaborado por Luiz Fernando Martha (agosto, 2002).

Determinou-se para o porcelanato de fina espessura o momento de inércia de uma seção retangular. Assim, foi verificada a tensão atuante e tensão resistente da placa de porcelanato de fina espessura, verificando o dimensionamento dos perfis T a cada 75cm.

Detalhou-se o sistema construtivo por meio de desenhos elaborados pelo programa AutoCAD.

### 3.3.2.2 Dimensionamento do selante estrutural

Para o dimensionamento do selante estrutural, foram realizados testes de tração, cisalhamento e compatibilidade dos materiais, em laboratório da empresa 3M.

Utilizaram-se amostras referenciais do porcelanato de fina espessura no tamanho 60x180mm, aderidas em chapas de aço inox. Essas chapas foram limpas com álcool isopropílico e serviram como um segundo substrato, neste caso, simulando as placas de porcelanato de fina espessura aderidas por selante estrutural nos perfis de alumínio.

Para os testes de tração (arrancamento), foi considerada uma área de 1.524,00mm<sup>2</sup> e espessura de 1,25mm de selante. Já para os testes de cisalhamento, considerou-se uma área de 645,16mm<sup>2</sup> e espessura de 1,25mm.

A metodologia de ensaio foi baseada de acordo com as recomendações da ASTM-D897 (2008). Os testes foram realizados pela equipe técnica da empresa 3M, por meio do software Instron 5582 (software Instron Bluehill).

De acordo com as recomendações da NBR 15737 (2009) foi determinada a largura da junta do selante estrutural para a fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura, pelo cálculo para cargas dinâmicas e para cargas estáticas. Para cargas dinâmicas adotou-se uma pressão de vento de 2,90kPa, conforme a NBR 6123(1998), caracterizada pela região V, considerada a mais crítica pelo gráfico de isopletas da velocidade básica de vento. Já para cargas estáticas é considerado o peso da placa de porcelanato de fina espessura, ou seja, 24kg.



## **CAPÍTULO 4 - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA**

Neste capítulo são descritos os métodos de dimensionamento da fachada ventilada com placas de porcelanato de fina espessura, verificando-se os carregamentos devido ao vento, resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura, tensões e flecha máxima admissível para que a subestrutura auxiliar, constituída por perfis de alumínio atenda as exigências da NBR 10821 (2000).

Primeiramente é detalhado o sistema construtivo da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura, explicando a composição da subestrutura auxiliar em alumínio por meio de perfis, componentes e acessórios. Descreve-se também o processo de instalação da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura.

O dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio é de fundamental importância nos projetos de fachadas ventiladas. Por meio de cálculo dos esforços mecânicos é possível determinar os tipos de perfis metálicos ideais, para cada situação de aplicação de revestimento com o sistema não aderido. Deve-se levar em consideração os seguintes fatores:

- O peso próprio da placa de porcelanato de fina espessura;
- A resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura;
- Os carregamentos devido à pressão de vento na fachada;
- O peso próprio da subestrutura auxiliar (perfis de alumínio, componentes e acessórios);
- Determinação das tensões normais e flecha máxima admissível aplicadas nos perfis metálicos.

Para o dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio, primeiramente deve-se verificar os esforços devido a carga de vento, pois estes incidirão diretamente nos perfis estruturais. As colunas devem ser projetadas para resistirem o seu peso próprio, peso do revestimento e as forças e ações derivadas do meio externo. Para análise do comportamento estrutural da fachada devem-se determinar os seguintes cálculos:

- Cálculo da velocidade dos ventos;
- Cálculo da pressão de ventos;
- Carregamento sobre o perfil coluna ou travessa;
- Cálculo do momento de inércia;
- Cálculo da flecha máxima;
- Cálculo do momento fletor máximo;
- Cálculo da tensão normal máxima.

Para a determinação dos esforços devido à ação do vento, foram seguidas as recomendações da NBR 6123 (1988), em que a velocidade básica do vento é informada conforme a região de construção de um edifício. Como trata-se de um desenvolvimento de projeto, considerou-se as características mais comuns de edificações e coeficientes mais críticos.

#### 4.1 SISTEMA CONSTRUTIVO DA FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA

A definição da subestrutura auxiliar em alumínio está diretamente relacionada ao dimensionamento dos perfis coluna e travessa, resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura e selante estrutural. Foi prevista uma câmara de ar para o sistema funcionar com ventilação. Definiram-se os componentes e acessórios para a composição da fachada ventilada. A escolha dos perfis foi realizada mediante os cálculos referente ao comportamento estrutural e compatibilização dos perfis utilizados para as fachadas cortinas, disponíveis no mercado.

O sistema construtivo da fachada ventilada apresenta peso total de 12Kg/m<sup>2</sup>. O porcelanato de fina espessura é considerado um material leve, ou seja, apresenta somente 8Kg/m<sup>2</sup>. A subestrutura auxiliar em alumínio corresponde a 4Kg/m<sup>2</sup>.

Aborda-se no item 4.1.1 o detalhamento do sistema construtivo mediante plantas e cortes. No item 4.1.2 descreve-se o processo de instalação da fachada ventilada em estudo.

##### 4.1.1 Detalhamento do sistema construtivo

Conforme a atuação das cargas de ventos definiu-se a utilização dos perfis colunas e travessas e ancoragens que apresentam a função estrutural do sistema. Foi definido também o perfil denominado folha,

caracterizando um perfil periférico, o qual envolverá todos os lados da placa de porcelanato de fina espessura. O perfil folha juntamente com o porcelanato de fina espessura e selante estrutural formam um quadro. A união do perfil folha e porcelanato de fina espessura é realizada pelo selante estrutural. Neste trabalho foi adotado o termo “folha” para caracterizar o perfil periférico e o termo “quadro” para caracterizar a união da folha, porcelanato de fina espessura e selante estrutural.

As ancoragens são responsáveis pela ligação do conjunto da fachada ventilada. Essas são fixadas à estrutura base do edifício através de chumbadores expansivos. O perfil coluna contempla um parafuso prisioneiro para sua fixação na ancoragem. A folha é fixada por presilhas e o seu fechamento é realizado por um dispositivo macho e cunha.

A fachada em estudo é definida pelo sistema Stick. A escolha pelo sistema Stick foi determinada mediante a disponibilidade dos perfis e também pelo sistema de montagem. Partiu-se do princípio da avaliação dos perfis já disponíveis para buscar a adaptação do sistema, visando custos e compatibilidade entre os materiais, pois no caso de desenvolvimento de novos perfis envolve-se a produção de matrizes para extrusão. Cada perfil apresenta os seus dados estruturais (momento de inércia e momento resistente) e mediante aos cálculos de comportamento estrutural realizou-se as verificações para atendimento das especificações.

A instalação da fachada Stick é realizada peça por peça. Primeiramente, são fixadas as colunas, em seguida as travessas e finalmente as folhas (já aderidas com o revestimento porcelanato de fina espessura, formando um quadro).

Cada perfil que compõe a subestrutura auxiliar em alumínio apresenta uma função específica. A ancoragem é fixada ao elemento de concreto por meio de dois chumbadores. As colunas e travessas são interligadas formando uma grelha e em conjunto com as ancoragens representam a estrutura principal do sistema. Já a folha recebe o porcelanato de fina espessura e a sua ligação é realizada por meio de um selante estrutural.

Os perfis realizam as funções estruturais bem como a formação dos quadros. Os componentes representam as peças que são consideradas os membros principais de ligação da estrutura e os acessórios são os elementos agregados ao sistema.

Para identificação dos perfis, componentes e acessórios adotou-se uma codificação conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Descrição dos perfis, componentes e acessórios do sistema construtivo.

<b>Tipo</b>	<b>Código</b>	<b>Descrição</b>
Perfil	FA-378	Coluna
Perfil	FA-380	Travessa
Perfil	FA-XXX	Ancoragem para fixação da estrutura
Perfil	B-461	Folha
Perfil	3253	Macho de fixação para fechamento da folha
Perfil	3254	Cunha de fixação para fechamento da folha
Perfil	2825	Perfil T – reforço das placas de porcelanato
Componente	B-462	Presilha de fixação da folha
Componente	PL-229	Cantoneira de fixação
Componente	PL-162	Cantoneira de fixação
Componente	Chapa perfurada	Acabamento câmara de ar
Componente	Rufo de alumínio	Acabamento superior da fachada
Componente	Luva telescópica	Para realizar a ligação das colunas
Componente	Fixador de travessa	Para realizar a fixação das travessas nas colunas.
Acessório	Par M5 x 12mm	Fixação da folha
Acessório	Par 328	Fixação cantoneira e travessa
Acessório	Prisioneiro CSW 1/4"x2,1/2"	Fixação da ancoragem x coluna
Acessório	Chumbador expansivo-14065	Fixação da ancoragem – concreto
Acessório	BUC-S6	Bucha Nylon – Parafuso de fixação da cantoneira lateral para fechamento do canto interno e fixação de cantoneira das chapas perfurada de alumínio.
Acessório	Rebite POP	Fixação chapa perfurada em alumínio
Acessório	Espaçador	Polietileno expandido
Acessório	Selante estrutural	Selante estrutural
Acessório	Silicone de cura neutra	Silicone de cura neutra
Acessório	Fita VHB	Fita VHB – Empresa 3M
Acessório	Tarucel	Nivelador

Fonte: Do autor.

A figura 54 ilustra a planta de localização dos cortes. O sistema construtivo está detalhado por meio de sete cortes que mostram as principais características.

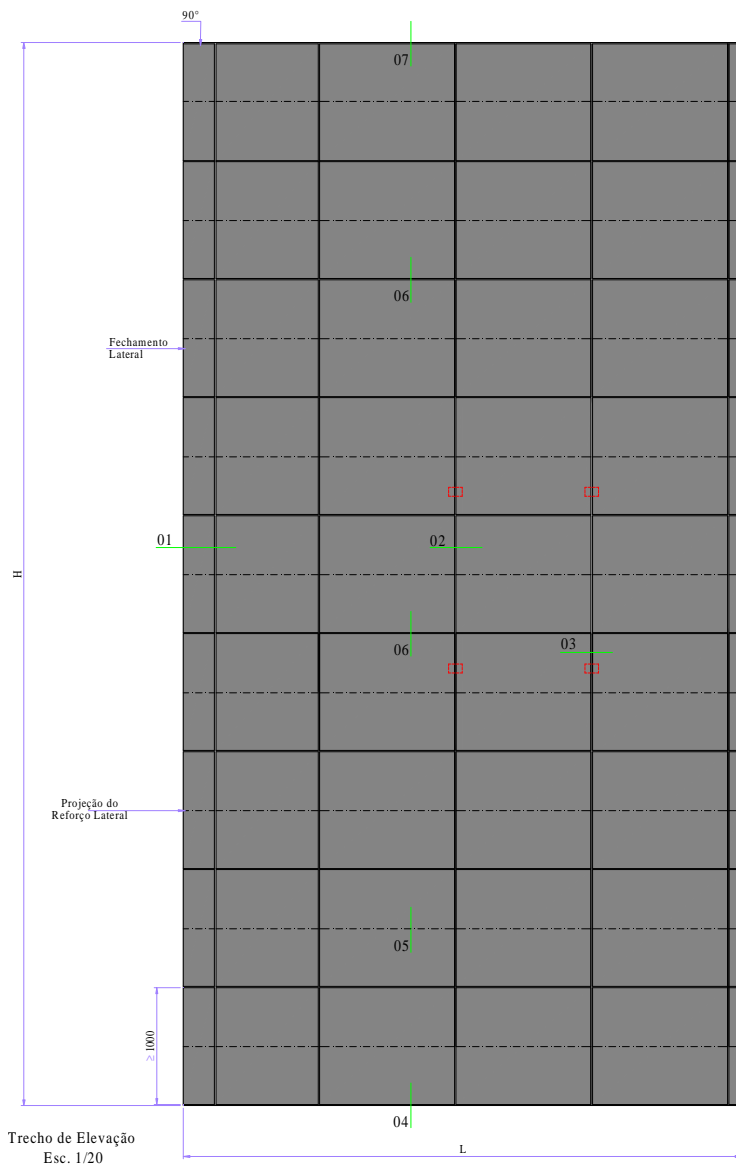


Figura 54 – Planta localização - cortes.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Colaboração do departamento de Engenharia e Produtos da empresa Belmetal, para as figuras referentes ao dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio.

A figura 55 ilustra o corte 01. Nessa figura verifica-se principalmente o fechamento lateral da fachada ventilada.

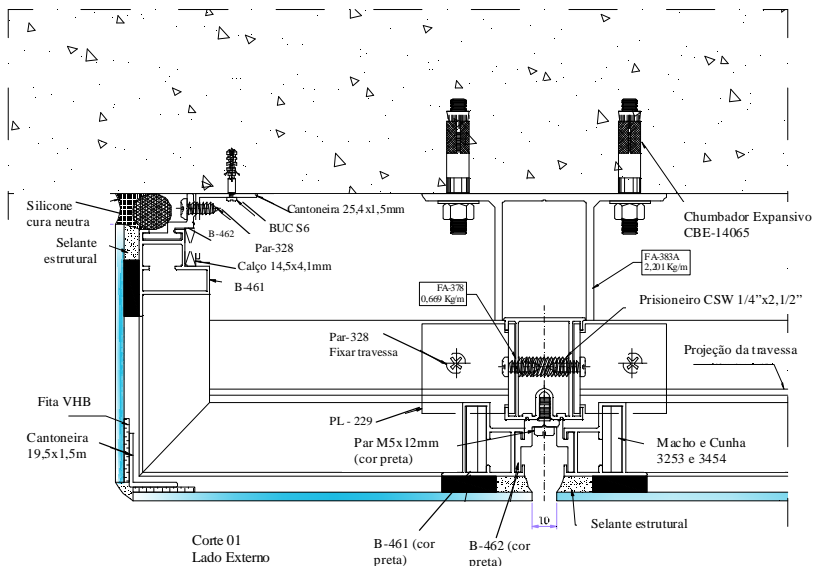


Figura 55 – Corte 01: detalhe fechamento lateral canto externo e interno.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Para o fechamento lateral no canto externo da fachada, insere-se primeiramente uma fita adesiva (Fita VHB) fornecida pela empresa 3M.

Posteriormente fixa-se uma cantoneira com dimensões de 19,5mm e 1,5mm de espessura. Para preenchimento do canto externo (90°) recomenda-se utilizar-se silicone de cura neutra.

No canto interno, insere-se um calço de alumínio (14,5x4,1mm) entre a folha e sua fixação. Utiliza-se uma cantoneira de 24,4mm e espessura de 1,5mm. A aba de apoio da cantoneira é fixada na folha através de presilha e a presilha por sua vez é fixada na cantoneira por parafuso. Para vedação aplica-se tarucel (polietileno expandido) com função de nivelamento e posteriormente realiza-se a vedação com silicone de cura neutra.

Nas figuras 56 e 57 encontram-se os cortes horizontais que exemplificam o sistema de fixação das colunas, travessas, ancoragens, chumbadores, prisioneiros, presilhas, parafusos, cantoneiras, silicone estrutural, acessórios, etc.

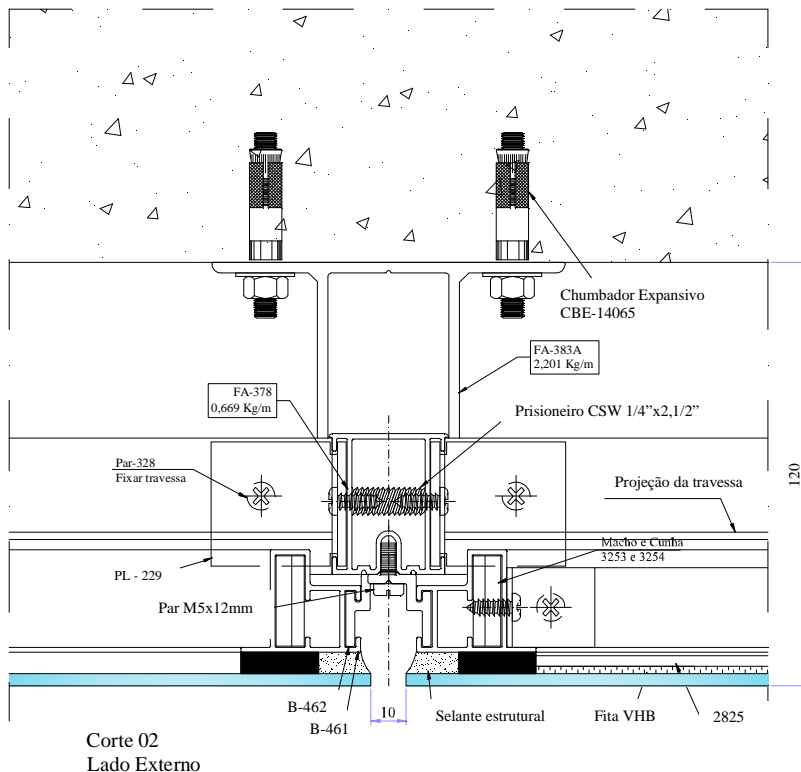


Figura 56 – Corte 02: Corte horizontal com detalhes do sistema construtivo. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Na figura 56 verifica-se o corte 02, que conforme a planta de localização (figura 54) mostra a seção intermediária entre as placas de porcelanato de fina espessura abaixo da ancoragem. Já na figura 57 o corte 03 ilustra a seção intermediária acima do ponto de fixação. Esses cortes mostram a semelhança do sistema construtivo nas placas intermediárias da fachada.

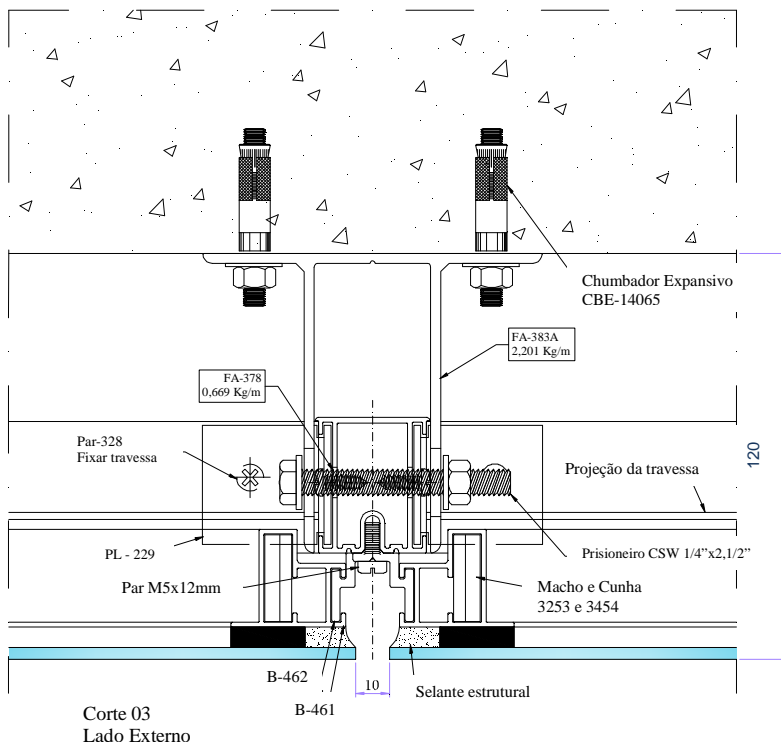


Figura 57 – Corte 03: Corte horizontal com detalhes do sistema construtivo. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Pode-se verificar nas figuras 55, 56 e 57 o esquema de fixação das ancoragens através de chumbador expansivo em aço inoxidável de 1/4" (6,4 mm). O chumbador é inserido em uma área concretada e será responsável pela ligação do sistema construtivo da fachada ventilada à base suporte do edifício.

As ancoragens apresentam função estrutural e determinarão o alinhamento das colunas e travessas e também suportarão as cargas de peso próprio, peso do revestimento e carregamentos do meio externo.

As colunas são fixadas nas ancoragens por meio dos parafusos prisioneiros. Esses são do tipo CSW com tamanho de 1/4" x 2, 1/2". As travessas são fixadas às colunas através de fixadores (previamente posicionados nas colunas).



A ligação da folha junto ao sistema é realizada por presilhas. A presilha é componente da folha e efetua-se uma pré-montagem das presilhas junto às folhas antes de ser enviada para a obra. Um parafuso (Par M5x12mm, na cor preta) realiza a fixação da folha e presilha junto às colunas e travessas. Um sistema de macho e cunha é responsável pelo fechamento da folha com ângulo de 45°.

O espaçamento entre as placas de porcelanato de fina espessura, ou juntas, apresenta 10mm. A junta mínima de 10mm é determinada pelo tamanho do parafuso (Par M5x12mm), pois esse precisa passar pela junta para a fixação da folha junto aos perfis coluna e travessa.

Com este modelo de sistema construtivo que utiliza fixação através de presilhas é possível montar e desmontar cada quadro individualmente. Simplesmente remove-se o parafuso e retira-se a folha. Essa vantagem é muito importante, pois no caso de existir necessidade de trocar alguma placa do porcelanato de fina espessura, este poderá ser substituído facilmente, sem interferir nas demais placas que compõem a fachada.

Todos os perfis são extrudados e recebem anodização na cor preta. “A extrusão é um processo de transformação mecânica no qual um tarugo de metal é reduzido em sua seção transversal quando forçado a fluir através do orifício de uma matriz (ferramenta), sob efeito de altas pressões” (ABAL, 2007, p.40).

Referente à anodização, a ABAL (2007) informa que se trata de um processo pelo qual o filme de óxido natural é artificialmente produzido no alumínio através de ânodo de um eletrólito. Antes do estágio final de selagem o recém formado filme anódico pode absorver material de coloração, sendo que essa é a base da maioria dos acabamentos anodizados coloridos.

A fixação da placa de porcelanato de fina espessura junto à folha é realizada por um selante estrutural, formando um quadro.

O selante estrutural é aplicado na folha, sendo que essa recebe primeiramente um espaçador periférico composto por fita de polietileno expandido, com faces adesivas que tem função de manter o porcelanato de fina espessura na posição ideal para receber o selante estrutural, que é injetado no espaço restante entre o revestimento e a folha.

Para aplicação do selante, recomenda-se que este processo seja realizado dentro de uma unidade de produção que esteja limpa, preparada e equipada para este tipo de serviço.

Na figura 58 encontra-se o corte 04. Essa figura representa o corte vertical do sistema construtivo com detalhe do acabamento inferior da câmara de ar.

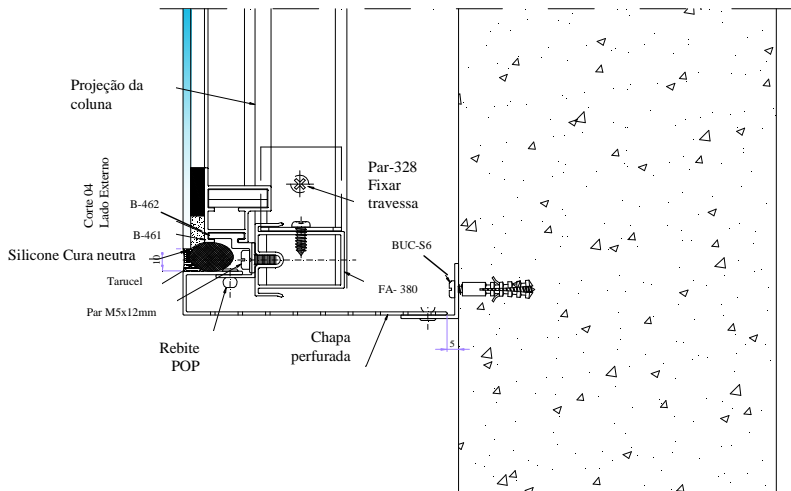


Figura 58 – Corte 04: Corte vertical com detalhes do acabamento inferior da câmara de ar. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

A câmara de ar é determinada pela instalação do sistema construtivo e apresenta espessura máxima de 120mm. A espessura mínima é 70mm e é determinada pela área necessária para instalação da estrutura. A câmara de ar é projetada para funcionar com o sistema ventilado. Assim, as aberturas inferiores e superiores e também as juntas de 10mm permanecem abertas.

Para o acabamento inferior da câmara de ar utiliza-se uma chapa perfurada em alumínio. Essa chapa tem função de realizar o fechamento da câmara evitando a presença de corpos indesejáveis (como por exemplo, insetos, folhas, etc.). A chapa de alumínio é fixada na área concreta por meio de uma cantoneira e um parafuso de bucha de expansão. A chapa também é fixada junta a travessa através de um rebite pop. Para acabamento da junta insere-se taruvel (polietileno expandido) e vedação com silicone de cura neutra.

Na figura 59 encontra-se um detalhe do perfil T em alumínio que é aderido no verso da placa de porcelanato de fina espessura. Esse perfil tem função de impedir os esforços de flexão na placa. A fixação do perfil no verso da placa de porcelanato de fina espessura é realizada pela fita VHB ou selante estrutural. O perfil T também é preso nas folhas por meio de parafuso. Determinou-se mediante cálculos de resistência a flexão que a cada 75 cm insere-se esse perfil T.



Figura 59 – Corte 05: Corte vertical com detalhes do perfil T – verso da placa de porcelanato de fina espessura. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Na figura 60 verificam-se os detalhes construtivos das juntas intermediárias da fachada ventilada.

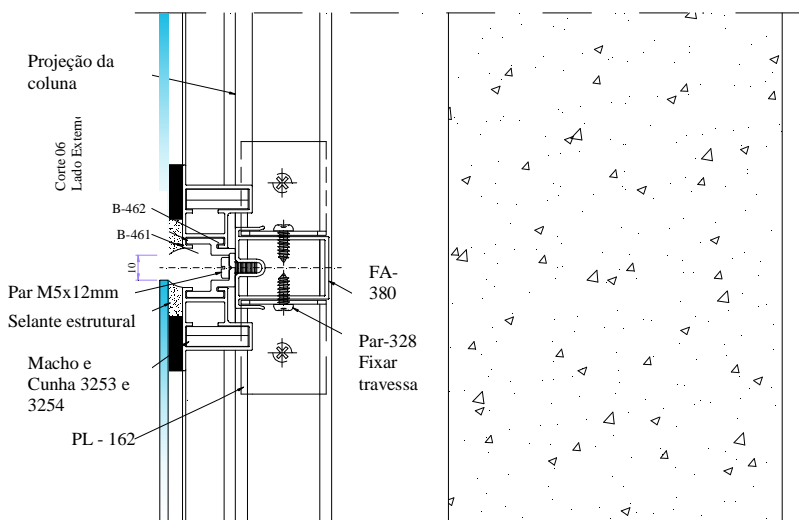


Figura 60 – Corte 06: Corte vertical – junta intermediária. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Na figura 61, ilustra-se o acabamento superior da câmara de ar. Assim como no acabamento inferior utiliza-se uma chapa perfurada em alumínio. Contempla também um rufo de alumínio para acabamento superior da fachada. A chapa de alumínio é fixada na travessa através de parafuso. É realizada a união da chapa com o rufo de alumínio por meio de um rebite pop. Para acabamento e vedação no ponto de instalação da última placa do porcelanato de fina espessura utiliza-se tarucel (polietileno expandido) e silicone de cura neutra. Para fixação na área concretada, primeiramente a chapa de alumínio é presa por uma cantoneira e um parafuso de bucha de expansão e então esse é inserido

no concreto. Através de um rebite o rufo e chapa de alumínio são unidos.

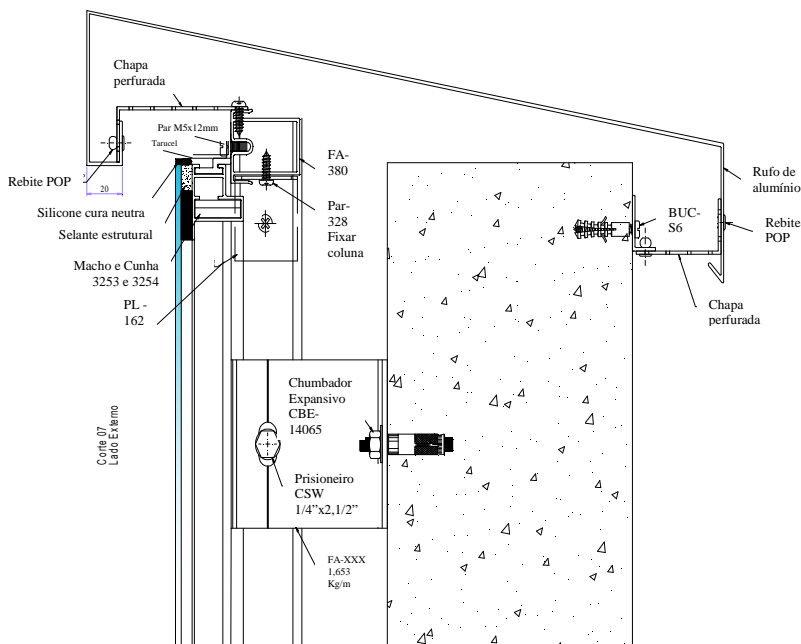


Figura 61 – Corte 07: Corte vertical com detalhes acabamento superior da câmara de ar. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

No sistema construtivo de uma fachada ventilada é importante conhecer claramente os perfis que formam a subestrutura auxiliar. Para isso utiliza-se o mapa de perfis.

Nas figuras 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68 e 69 encontram-se as dimensões, formatos e dados estruturais dos perfis: coluna, travessa, folha, presilha, ancoragem, perfil T (reforço), macho e cunha de conexão. Estão informados os momentos de inércia ( $J_x$  e  $J_y$ ), momentos resistentes ( $W_x$  e  $W_y$ ) e distância dos centroídes ( $Y$  e  $X$ ). Todas as cotas informadas com um (\*) indicam as medidas importantes, como por exemplo, medidas de encaixe e dimensões principais (largura e altura total), pois indicando essas cotas, a variação delas será a mínima possível no momento da extrusão dos perfis.

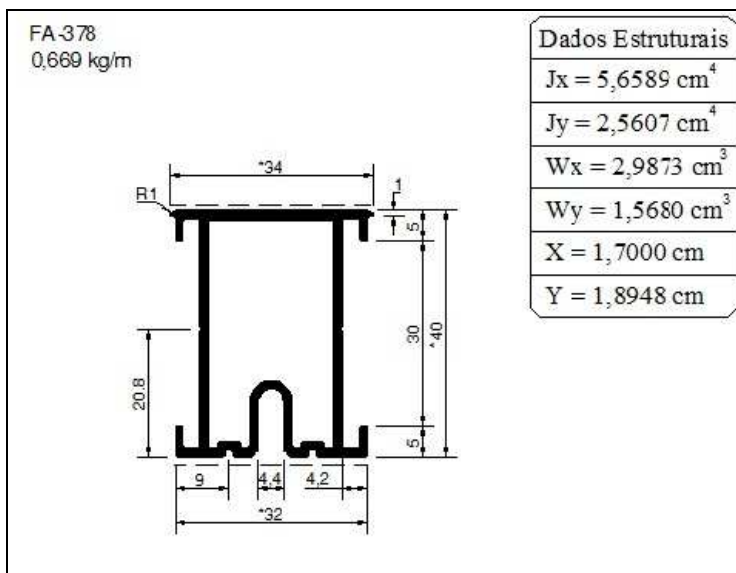


Figura 62 – Coluna. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

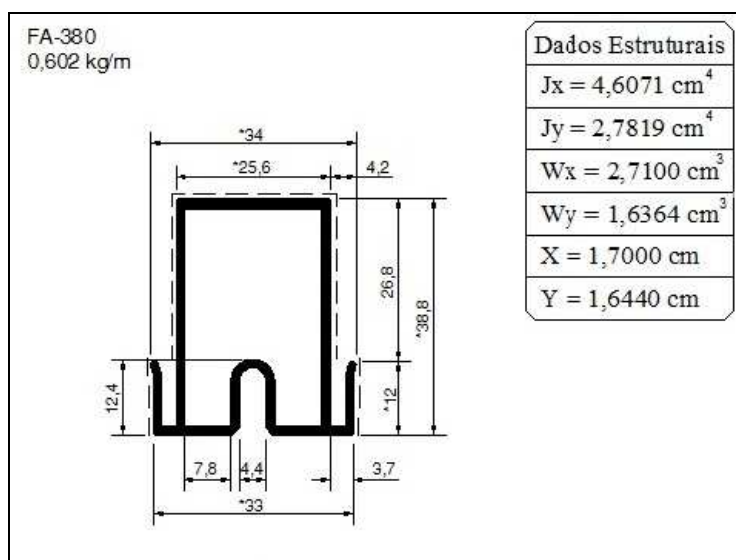


Figura 63 – Travessa. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

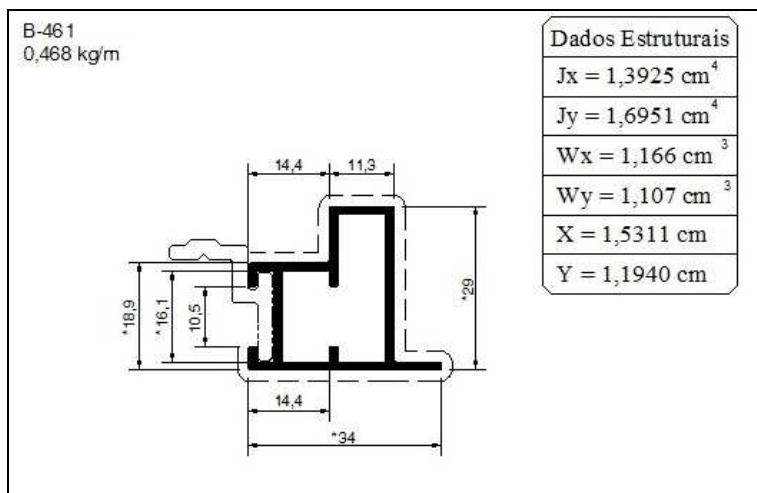


Figura 64 – Folha. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

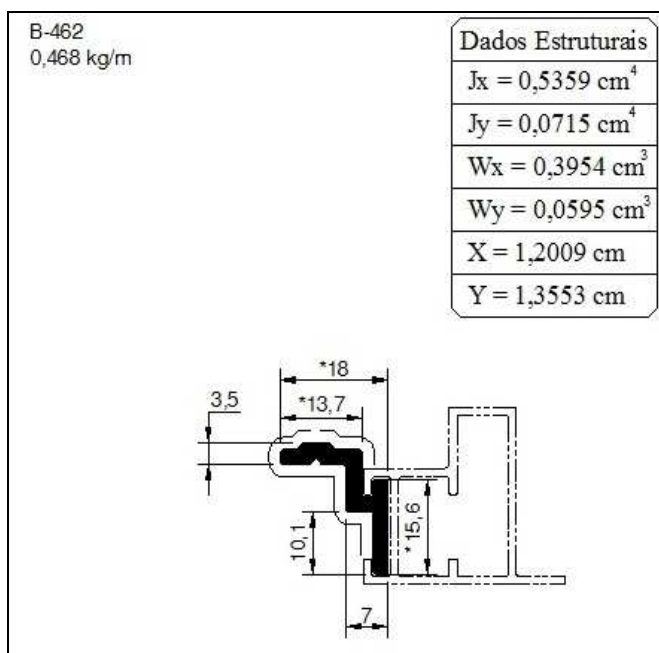


Figura 65 – Presilha de fixação da folha. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

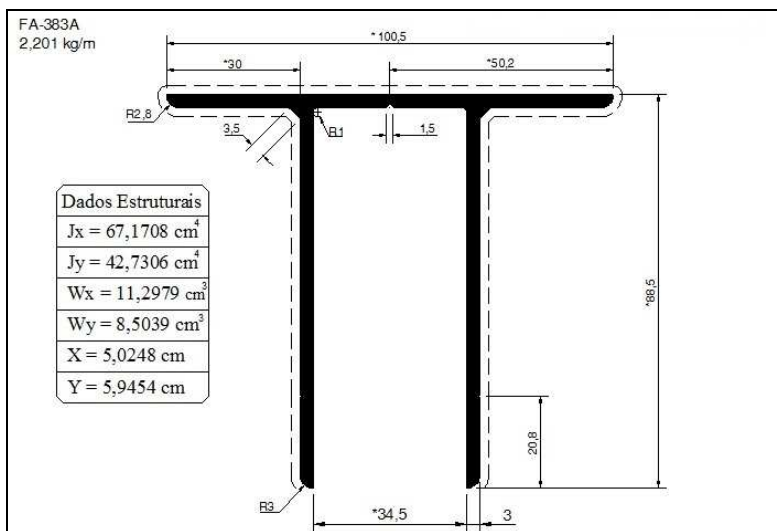


Figura 66 – Ancoragem. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

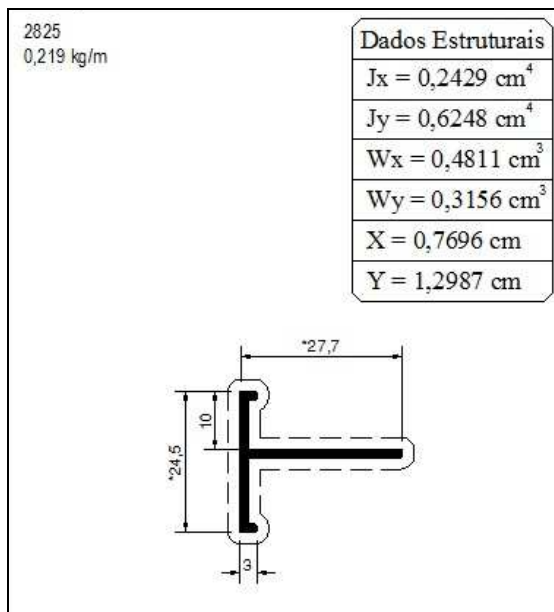


Figura 67 – Perfil T de abas desiguais. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

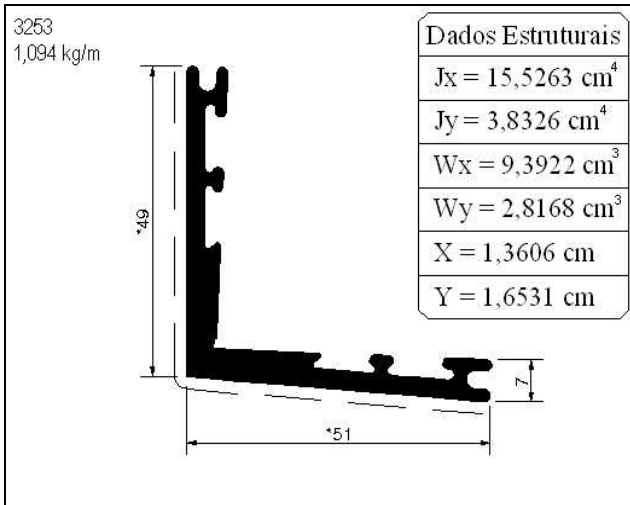


Figura 68 – Macho de conexão. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

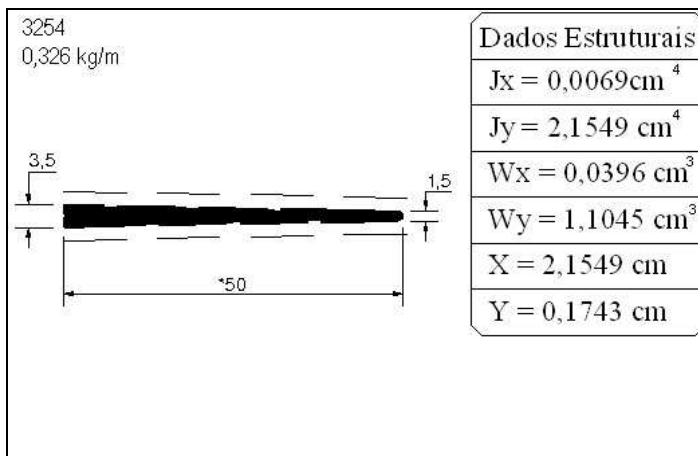


Figura 69 – Cunha de conexão. Cotas em mm.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.



#### 4.1.2 Processo de instalação da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura

Para execução de uma fachada ventilada, primeiramente deve-se verificar a compatibilidade do projeto arquitetônico com o sistema construtivo da fachada ventilada, a verificação do carregamento devido ao vento em função das dimensões da edificação, localização e topografia do terreno.

Para montagem da fachada ventilada, a primeira etapa consiste na instalação das ancoragens, responsáveis pela ligação do sistema construtivo da fachada ventilada à estrutura base do edifício. Nas figuras 70 e 71 encontram-se exemplos de fixação das ancoragens nos eixos horizontal e vertical.

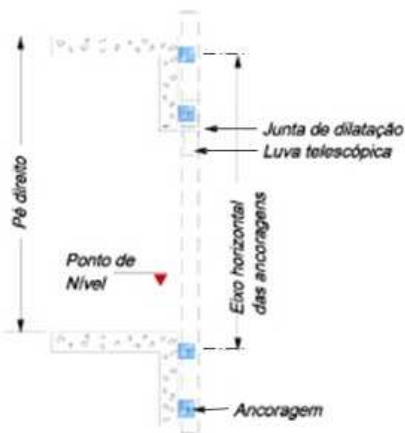


Figura 70 – Eixo horizontal das ancoragens.

Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

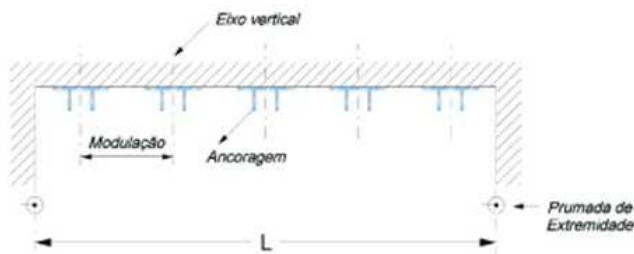


Figura 71 – Eixo vertical das ancoragens.

Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Através de chumbadores expansivos as ancoragens são fixadas em áreas de concreto e por meio de parafusos prisioneiros sustentam os perfis colunas que formam a subestrutura auxiliar de alumínio da fachada. Apresentam função estrutural, pois todas as cargas atuantes na fachada são descarregadas nas ancoragens. As ancoragens também são responsáveis pelo alinhamento dos perfis colunas. Na figura 72 encontra-se um exemplo de instalação da ancoragem.

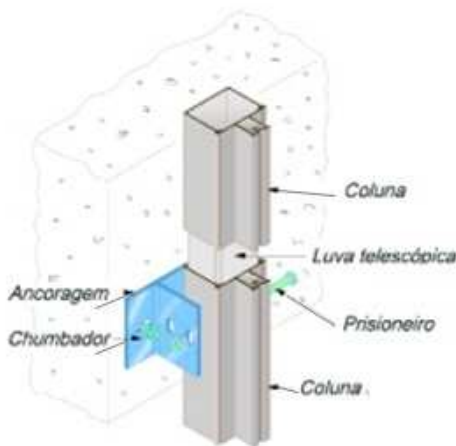


Figura 72 – Instalação da ancoragem.

Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Para fixação das ancoragens são realizados furos nas áreas concretadas e inseridos os chumbadores. Os chumbadores de fixação mecânica são ligados à base através de um tensionamento passivo, provocado pela expansão do sistema de fixação. Na figura 73 explica-se a instalação do chumbador.

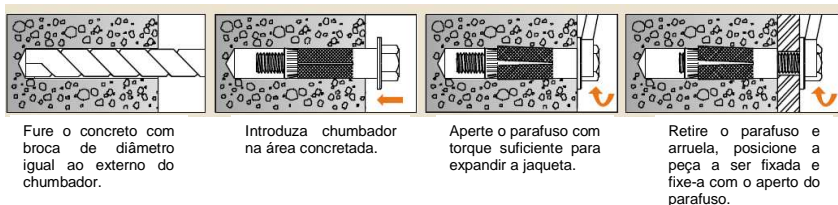


Figura 73 – Instalação do chumbador.

Fonte: Adaptado de catálogo técnico Walsywa (2010).

A ancoragem e o chumbador devem estar ligados ortogonalmente com prumo e nível. Não se recomenda fixar ancoragens em alvenaria. Os chumbadores devem apresentar um diâmetro mínimo de 1/4" (6,4mm) e aprofundar pelo menos 50mm no concreto. As ancoragens são compostas por perfis extrudados de alumínio com furos oblongos na face anexa do concreto e também nas abas que aprisionam a coluna, assim é possível realizar algum ajuste, caso necessário, tanto transversalmente como longitudinalmente, conforme ilustra a figura 74.

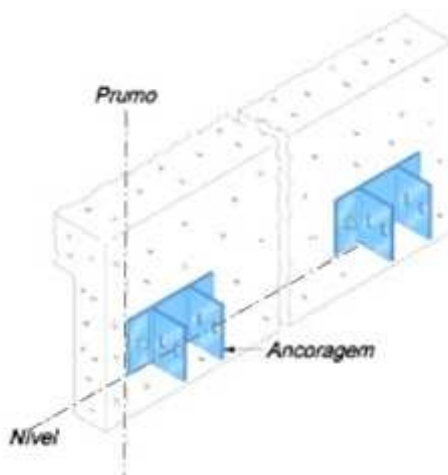


Figura 74 – Ancoragens com nível e prumo.  
Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Após a instalação das ancoragens, realiza-se a fixação das colunas e travessas. É de fundamental importância determinar o comportamento estrutural dos perfis. Por exemplo, a coluna sendo posicionada verticalmente entre os apoios absorve além de seu peso próprio, peso do revestimento e carregamentos devido ao vento. Na figura 75 encontra-se um exemplo de carregamentos em fachadas.

Deve existir o alinhamento entre as ancoragens e a coluna. As ancoragens são utilizadas para sustentação das colunas. O correto alinhamento das colunas resultará também em uma maior precisão de instalação das travessas.

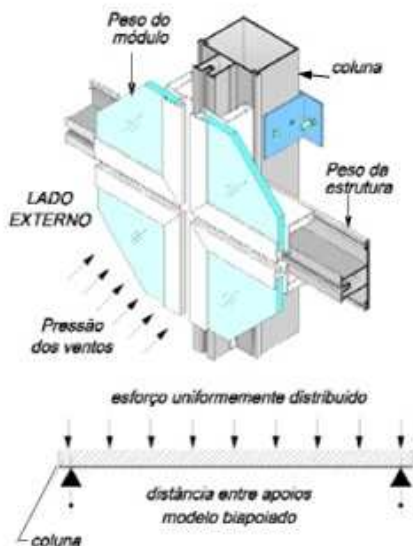


Figura 75 – Modelo de carregamento em fachadas.  
 Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

As colunas devem possuir furos para passagem do parafuso prisioneiro, luvas telescópicas e fixador de travessa. A fixação da coluna ocorre na sua parte inferior pela ancoragem. A parte superior da coluna é somente ligada à coluna subsequente por meio de luva telescópica. Assim, todas as colunas são interligadas pela luva telescópica. Na figura 76 ilustra-se um detalhe dos componentes da coluna.

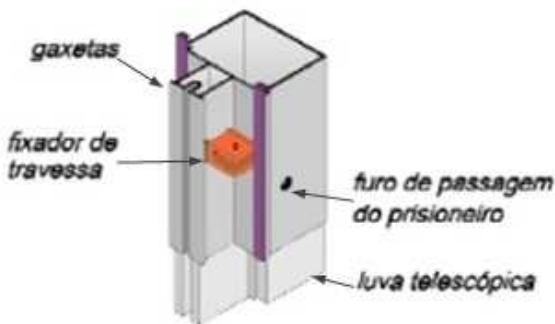


Figura 76 – Componentes da coluna.  
 Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Na figura 77 verifica-se um exemplo de montagem de colunas.

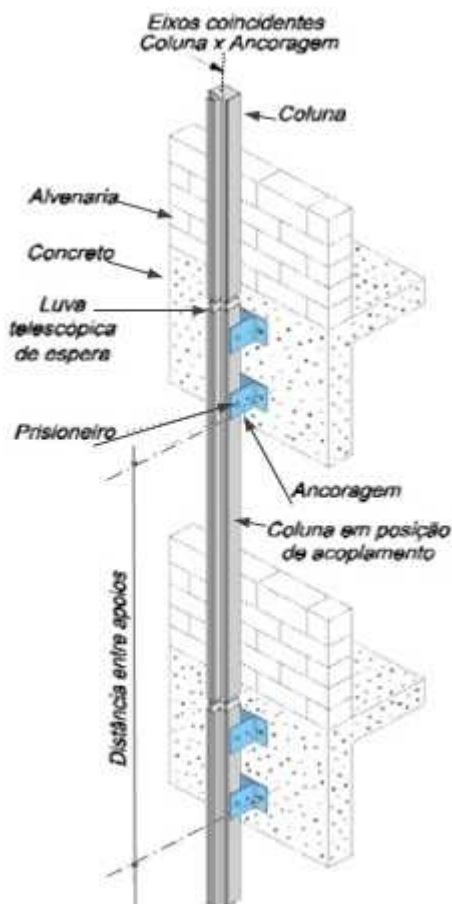


Figura 77 – Exemplo de montagem de colunas.  
 Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Existe uma junta de dilatação linear de espaçamento mínimo de 5mm, então promove-se um afastamento entre as colunas e deve-se realizar o fechamento da junta com silicone de vedação. As colunas possuem altura máxima de 6m, então a cada 6m encontra-se uma junta de dilatação. Na figura 78 encontra-se o sistema de encaixe das colunas por meio das luvas telescópicas.

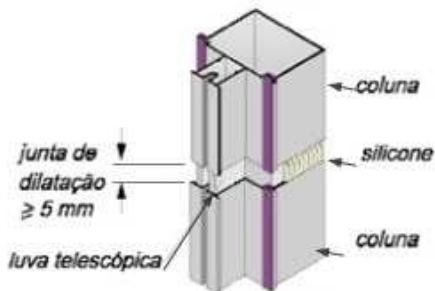


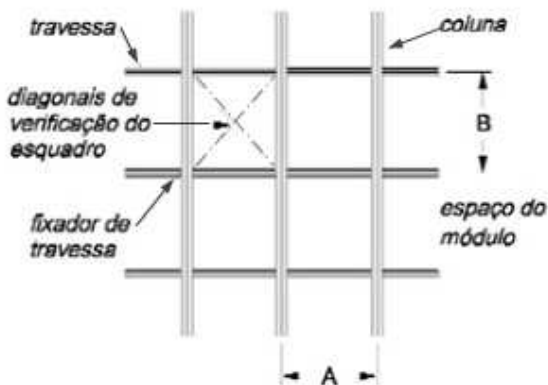
Figura 78 – Junta telescópica.

Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Após a instalação das colunas realiza-se a fixação das travessas. As travessas são instaladas nas colunas através de fixadores posicionados previamente nas colunas. As travessas recebem vedação com silicone nas áreas de encaixe.

É importantíssimo obter o alinhamento entre as colunas e travessas. A travessa apresenta uma usinagem (de drenagem) para permitir a saída de água que por acaso entre nos perfis.

Com a montagem das colunas e travessas define-se o plano ortogonal para posteriormente ser realizado o encaixe das folhas. Na figura 79 verifica-se o plano formado pelas colunas e travessas. A fachada ventilada em estudo é definida pelo sistema Stick.



*A B = Paginação da Fachada*

Figura 79 – Montagem colunas e travessas.

Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Para montagem dos quadros compostos pela folha, porcelanato de fina espessura e selante estrutural, primeiramente realiza-se o fechamento da folha por meio do sistema de macho e cunha (o desenho deste sistema pode ser verificado por meio das figuras 68 e 69).

Na sequência aplica-se o espaçador (fita de polietileno expandido com faces adesivas) que tem função de manter o porcelanato de fina espessura na posição ideal para receber o selante estrutural. Esse é inserido no espaço restante entre a placa de porcelanato de fina espessura e a folha.

Após aplicação do selante estrutural é necessário aguardar a cura do mesmo, para posteriormente ser enviado à obra e então ser fixado nas colunas e travessas.

Toda a aplicação de selante estrutural deve ser realizada em um local limpo, isento de poeiras, graxas, óleos, etc. para garantir a correta adesão entre as partes. Na obra, antes de realizar a instalação das folhas, também deve-se verificar a limpeza das colunas, travessas, fixadores, presilhas, etc.

Na etapa seguinte os quadros são levados para a obra e nesta fase as colunas e travessas já estão instaladas, assim realiza-se a fixação dos quadros através de presilhas e parafusos.

Nas figuras 80, 81 e 82 encontra-se o sistema de formação de quadro por meio da folha, porcelanato de fina espessura e selante estrutural. Verifica-se também a fixação através de presilhas.

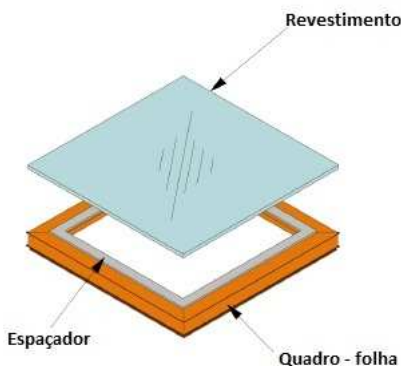


Figura 80 – Montagem quadro.

Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

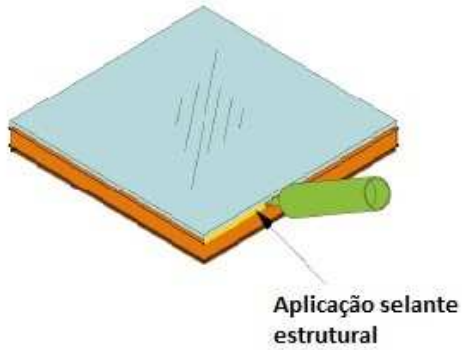


Figura 81 – Aplicação selante estrutural.  
 Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

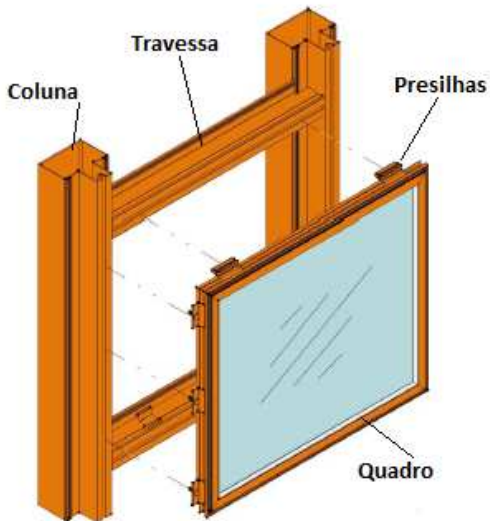


Figura 82 – Sistema de fixação – presilhas.  
 Fonte: Adaptado de Tecnologia & Vidro (2000).

Na figura 83 encontra-se um modelo do sistema de montagem da fachada ventilada em estudo no formato de perspectiva.



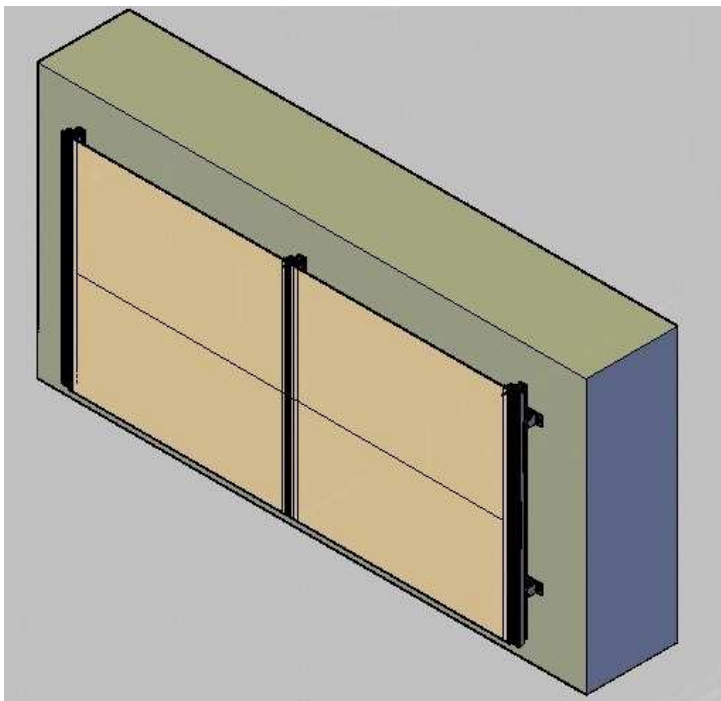


Figura 83 – Perspectiva fachada ventilada.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Na figura 84 encontram-se os perfis, componentes e acessórios para montagem da fachada ventilada, como por exemplo, porcelanato de fina espessura, coluna, folha, ancoragem, chumbador, prisioneiro, espaçador, selante estrutural e presilha.

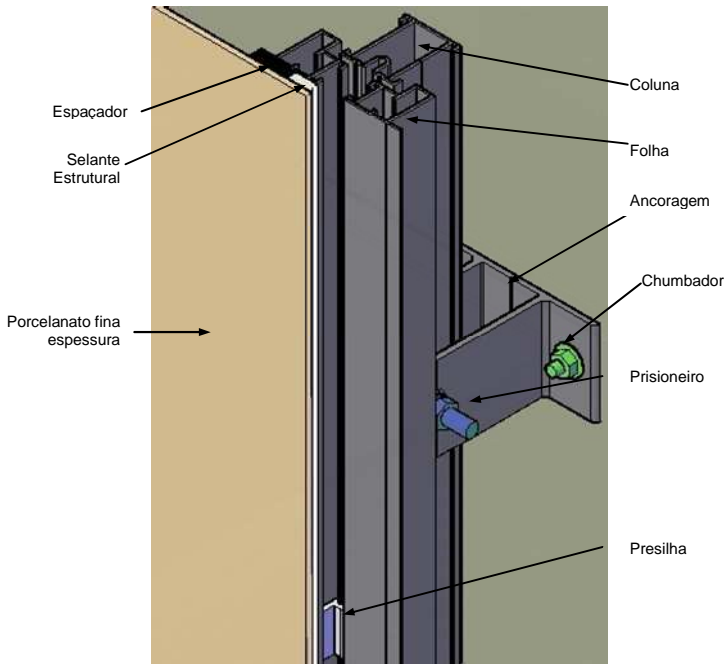


Figura 84 – Componentes fachada ventilada.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Na figura 85 ilustra-se o detalhe entre as juntas intermediárias da fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura.

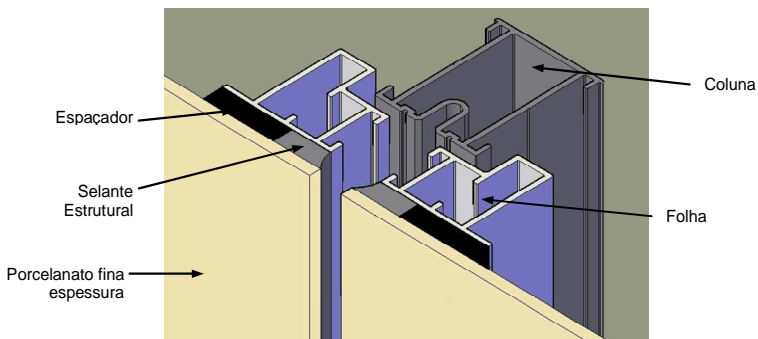


Figura 85 – Detalhe juntas intermediárias.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

## 4.2 CARREGAMENTOS DEVIDO AO VENTO – NBR 6123 (1988)

Como é necessário conhecer detalhadamente os parâmetros para o cálculo dos ventos, a seguir estão descritas as orientações da NBR 6123 (1988).

Para o dimensionamento da fachada ventilada, verificou-se o carregamento que é causado pela ação do vento, de acordo com a NBR 6123 (1988) em que, na determinação das forças estáticas são considerados:

- Velocidade básica do vento ( $V_o$ );
- Velocidade característica do vento ( $V_k$ );
- Pressão dinâmica ( $q$ );
- Coeficiente de pressão.

### 4.2.1 Velocidade básica do vento

É a máxima velocidade média medida em 3 segundos, que pode ser excedida em média uma vez a cada 50 anos, a 10 metros sobre o nível do terreno em um lugar aberto. Para a fachada ventilada em estudo considerou-se  $V_o = 50\text{m/s}$ , pois se considera esta velocidade como a mais crítica no Brasil. A figura 86 mostra um mapa com as velocidades básicas do vento, conforme as regiões do Brasil.

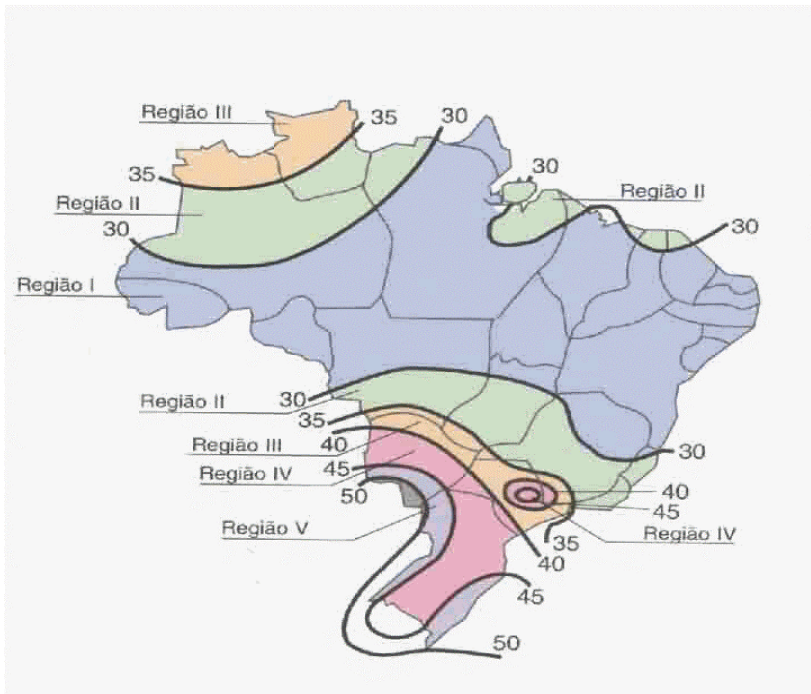


Figura 86 – Gráfico das isopletas da velocidade básica do vento; “vo” em m/s no Brasil.

Fonte: NBR 6123 (1988).

#### 4.2.2 Velocidade característica do vento

É a velocidade básica do vento multiplicada pelos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ .

##### a) Fator topográfico $S_1$

O fator topográfico  $S_1$  leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado do seguinte modo:

- terreno plano ou fracamente acidentado :  $S_1 = 1,0$ ;
- taludes e morros alongados nos quais pode ser admitido um fluxo de ar bidimensional soprando no sentido indicado na figura 87;

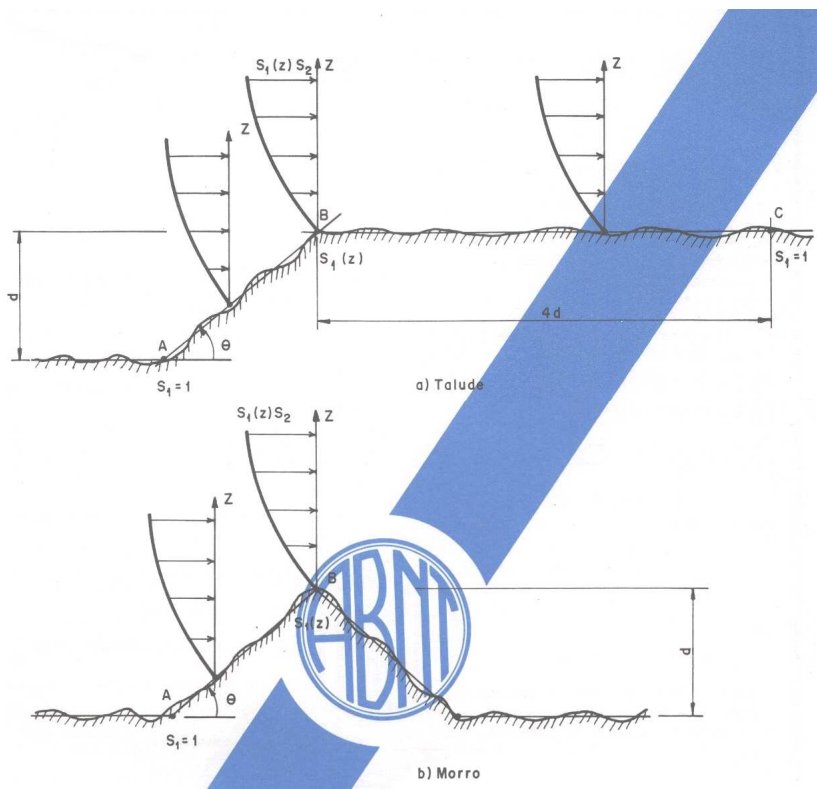


Figura 87 – Fator topográfico  $S_1(z)$ .  
 Fonte: NBR 6123 (1988).

- vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção:  $S_1 = 0,9$ ;
- No ponto A dos morros e nos pontos A e C dos taludes:  $S_1 = 1,0$ ;
- No ponto de B { $S_1$  é uma função  $S_1(z)$ }:

$$\theta \leq 3^\circ \Rightarrow S_1(z) = 1,0 \quad (1)$$

$$6^\circ \leq \theta \leq 17^\circ \Rightarrow S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \text{tg}(\theta - 3^\circ) \geq 1,0 \quad (2)$$

$$\theta \geq 45^\circ \Rightarrow S_1(z) = 1,0 + \left(2,5 - \frac{z}{d}\right) \cdot 0,31 \geq 1,0 \quad (3)$$

Interpolar linearmente para  $3^\circ < \theta < 6^\circ$  e  $17^\circ < \theta < 45^\circ$

Onde:

$z$  = altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado;

$d$  = diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro;

$\theta$  = inclinação média do talude ou encosta do morro.

## b) Fator $S_2$

O fator  $S_2$  considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação ou parte da edificação em consideração.

### • Rugosidade do terreno

Categoria I: Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5Km de extensão, medidas na direção e sentido do vento de incidência. Exemplo:

- mar calmo;
- lagos e rios;
- pântanos sem vegetação.

Categoria II: Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. Exemplos:

- zonas costeiras planas;
- pântanos com vegetação rala;
- campos de aviação;
- pradarias e charnecas;
- fazendas sem sebes ou muros.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 metro.

Categoria III: Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. Exemplos:

- granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos;
- fazendas com sebes e/ou muros;
- subúrbios a considerável distância do centro, com casa baixas e esparsas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 3,0 metros.

Categoria IV: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados em zona florestal, industrial ou urbanizada. Exemplos:

- zonas de parques e bosques com muitas árvores;
- cidades pequenas e seus arredores;
- subúrbios densamente construídos de grandes cidades;
- áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 10m.

Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.

Categoria V: Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. Exemplo:

- florestas com árvores altas de copas isoladas;
- centros de grandes cidades;
- complexos industriais bem desenvolvidos.

A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25m.

- Dimensões da edificação

A velocidade do vento varia continuamente e seu valor médio pode ser calculado sobre qualquer intervalo mais curto das medidas usuais (3s), corresponde a rajadas cujas dimensões envolvem convenientemente obstáculos de até 20m na direção do vento médio.

Quanto maior o intervalo de tempo usado no cálculo da velocidade média, tanto maior a distância abrangida pela rajada.

Para definição das partes da edificação a considerar na determinação das ações do vento é necessário considerar características

construtivas ou estruturais que originem pouca ou nenhuma continuidade estrutural ao longo da edificação, tais como:

- edificações com juntas que separem a estrutura em duas ou mais partes estruturalmente independentes;
- edificações com pouca rigidez na direção perpendicular à direção do vento e por isso com pouca capacidade de redistribuição de cargas.

Foram escolhidas as seguintes classes de edificações, partes de edificações e seus elementos, com intervalos de tempo para cálculo da velocidade média de, respectivamente, 3s, 5s e 10s:

Classe A: Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estrutura sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20m.

Classe B: Toda edificação ou parte de edificação para qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20m e 50m.

Classe C: Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 metros.

Conforme item 6.1.3 da NBR 6123 (1988), para o cálculo de elementos de vedação e suas fixações a peças estruturais, deve ser usado o fator  $S_2$ , correspondente à classe A, com o valor de  $C_e$  ou  $C_{pe}$  médio aplicável à zona que se situa o respectivo elemento.

- Altura do terreno

O fator  $S_2$  usado no cálculo da velocidade do vento em uma altura  $z$  acima do nível geral do terreno é obtido pela equação:

$$S_2 = b Fr(z/10)^p \quad (4)$$

Sendo que o fator de rajada  $F_r$  é sempre correspondente à categoria II. A expressão é aplicável  $z_g$ , que define o contorno superior da camada atmosférica.



Para estudo dos elementos de vedação é recomendado usar fator  $S_2$  correspondente ao topo da edificação. Esta recomendação é baseada no fato de que na fachada de barlavento e nas fachadas laterais o vento é defletido para baixo, com conseqüente aumento de pressão dinâmica na parte inferior da edificação. Pela mesma razão, o fator  $S_2$  é considerado constante até 10 metros de altura na categoria V.

Os parâmetros que permitem determinar  $S_2$  para as cinco categorias da NBR 6123 (1988) são apresentados na Tabela 5. Os valores de  $S_2$  para as diversas categorias de rugosidade do terreno e classes de dimensões de edificações definidas na NBR 6123 (1988) são dados na Tabela 6.

Tabela 5 – Parâmetros meteorológicos

Categoria	$z_g$ (m)	Parâmetro	Classes		
			A	B	C
I	250	b	1,10	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: NBR 6123 (1988).

Tabela 6 – Fator  $S_2$ .

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	0,95	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	1,30	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: NBR 6123 (1988).

### c) Fator estatístico $S_3$

São baseados em conceitos estatísticos e consideram o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação, tendo por base o período de recorrência de 50 anos para a determinação da velocidade básica  $V_o$ , e a probabilidade de 60% de que esta velocidade seja exercida neste período. Os valores mínimos do fator  $S_3$  são os indicados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ .

Grupo	Descrição	$S_3$
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 de forças de segurança, centrais de comunicação, etc.).	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator 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 construção.	0,83

Fonte: NBR 6123 (1988).

A velocidade característica do vento é dada por:

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (5)$$

Para cálculo da velocidade característica do vento  $V_k$ , conforme a equação citada acima são necessários os fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$  que consideram a topografia do terreno, dimensões da edificação e grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Mediante as condições atuais e mais comuns de edificações adotou-se os fatores,  $S_1 = 1,00$ ,  $S_2 = 1,05$  e  $S_3 = 0,88$

Logo, a velocidade característica do vento, conforme a equação (5) para a fachada ventilada em estudo é igual a:

$$V_k = 50(\text{m/s}) \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 0,88$$

$$V_k = 46,20 \text{ m/s}$$

#### 4.2.3 Pressão dinâmica na edificação (q)

A pressão dinâmica na edificação, segundo NBR 6123 (1988), é dada por:

$$q = 0,613 \cdot (V_k)^2 \quad (6)$$

sendo  $q$  em  $N/m^2$  e  $V_k$  em  $m/s$ . (Unidades SI).

A pressão dinâmica na edificação ou pressão de obstrução também pode ser calculada com o mesmo objetivo, segundo a equação da NBR 10821 (2000):

$$q = \frac{(V_k)^2}{1,6} \quad (7)$$

Logo, a pressão de obstrução na edificação para a fachada em estudo de acordo com a equação (7) é igual a:

$$q = \frac{(46,20 \text{ m/s})^2}{1,6}$$

$$q = 1.334,03 \text{ N/m}^2$$

A pressão de obstrução é também chamada de pressão de projeto ( $P_p$ ), pela NBR 10821 (2000).

#### 4.2.4 Coeficientes de pressão

Como a força do vento depende da diferença de pressão nas faces opostas da edificação em estudo, os coeficientes de pressão são dados para superfícies externas e superfícies internas. Para os fins da NBR 6123 (1988), entende-se por pressão efetiva em um ponto da superfície de uma edificação o valor definido por:

$$\Delta p = \Delta p_e - \Delta p_i \quad (8)$$

Onde:

$\Delta p_e$  = pressão efetiva externa

$\Delta p_i$  = pressão efetiva interna.

Portanto:

$$\Delta p = (C_{pe} - C_{pi})q \quad (9)$$

Onde:

$$C_{pe} = \Delta p/q \quad (10)$$

$$C_{pi} = \Delta p/q \quad (11)$$

$C_{pe}$  = coeficiente de pressão externa e  $C_{pi}$  = coeficiente de pressão interna.

Valores positivos dos coeficientes de pressão externa ou interna correspondem a sobrepressões e valores negativos correspondem a sucções.

Um valor positivo para  $\Delta p$  indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sobrepressão externa e um valor negativo para  $\Delta p$  indica uma pressão efetiva com o sentido de uma sucção externa.

Na figura 88 encontram-se os esquemas dos coeficientes de pressão nas fachadas da edificação.

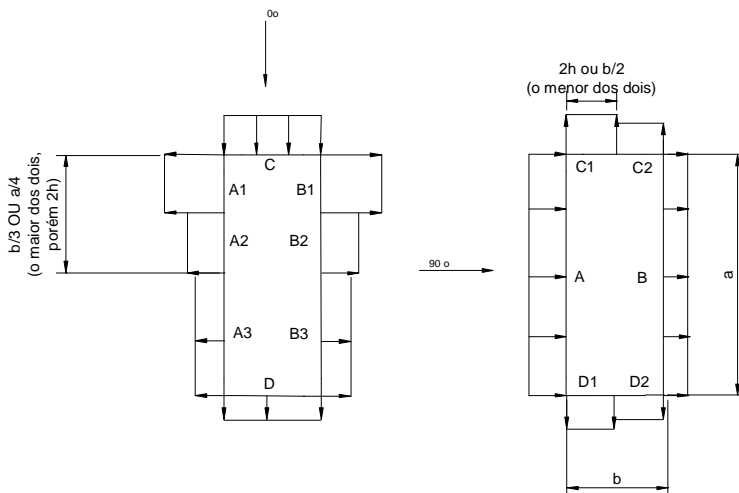


Figura 88 – Coeficientes de pressão.

Fonte: NBR 6123 (1988).

A NBR 6123 (1988) considera que:

a) Para  $a/b$  entre  $3/2$  e  $2$ , interpolar linearmente.

b) Para vento a  $0^\circ$ , nas partes  $A_3$  e  $B_3$  o coeficiente de forma  $C_e$  tem os seguintes valores:

- $a/b=1$ : mesmo valor nas partes  $A_2$  e  $B_2$ ;
- para  $a/b \geq 2$ :  $C_e = -0,2$ ;
- para  $1 < a/b < 2$ : interpolar linearmente.

c) Para cada uma das duas incidências do vento ( $0^\circ$  ou  $90^\circ$ ), o coeficiente de pressão médio externo  $C_{pe}$  médio é aplicado à parte barlavento das paredes paralelas ao vento, em uma distância igual a  $0,2b$  ou  $h$ , considerando o menor destes dois valores. Os coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular, podem ser verificados conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Coeficientes de pressão e de forma externos.

Altura Relativa		Valores de $C_e$ para								$C_{pe}$ médio
		$0^\circ$				$90^\circ$				
		$A_1$ e $B_1$	$A_2$ e $B_2$	C	D	A	B	$C_1$ e $D_1$	$C_2$ e $D_2$	
$\frac{h}{b} \leq 1$ $\frac{2}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq 3$ $\frac{2}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ $\frac{2}{b}$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
$1 < \frac{h}{b} \leq 3$ $\frac{2}{2}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq 3$ $\frac{2}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ $\frac{2}{b}$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
$\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$ $\frac{2}{b}$	$1 \leq \frac{a}{b} \leq 3$ $\frac{2}{2}$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
	$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$ $\frac{2}{b}$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

Fonte: NBR 6123 (1988).

As relações  $\frac{h}{b}$  e  $\frac{a}{b}$ , determinam a altura relativa para obtenção dos coeficientes de pressão.

O item 6.2.5 da NBR 6123 (1988) diz que para edificações com paredes internas permeáveis, a pressão interna pode ser considerada uniforme. Os valores para o coeficiente de pressão interna  $C_{pi}$  para

quatro faces igualmente permeáveis é igual a -0,3 ou 0 (considerar o valor mais nocivo).

De acordo com o item 6.2.6 da NBR 6123 (1988), para edificações efetivamente estanques e com janelas fixas que tenham uma probabilidade desprezível de serem rompidas por acidentes, considerar o mais nocivo dos seguintes valores para o coeficiente de pressão interna:  $C_{pi} = -0,2$  ou 0.

Para a fachada em estudo adotou-se  $(C_{pe} - C_{pi}) = 1,5$  pois utiliza-se este valor para as condições mais desfavoráveis, conforme a NBR 10821 (2000). Para as fachadas cortinas a NBR 10821 (2000) recomenda a determinação da pressão de ensaio (que seria a pressão positiva) e a pressão de sucção corresponde a 80% da pressão de ensaio.

Logo, a pressão efetiva ou também chamada de pressão de ensaio ( $P_e$ ) pela NBR 10821 (2000) para a fachada em estudo é igual a:

$$P_e = P_p \times (C_e - C_i) \quad (12)$$

$$P_e = 1,5 \times 1.334,03 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$P_e = 2.001,04 \text{ N/m}^2$$

A NBR 10821(2000) recomenda a utilização das pressões de ensaios em  $1.800,00\text{N/m}^2$  para dimensionamento de estruturas, para as fachadas cortinas. Como foram utilizados os coeficientes mais críticos para cargas de vento no Brasil, para efeito de cálculos do comportamento estrutural adotou-se o valor de pressão de ensaio de  $1.800,00\text{N/m}^2$ .

Como justificativa para utilização do valor de  $1.800,00\text{N/m}^2$ , além da orientação da NBR 10821 (2000), pode-se levar em consideração que a velocidade básica do vento de  $50\text{m/s}$  ocorre somente na região V (ver figura 86), principalmente nos extremos do estado do Rio Grande do Sul. A velocidade básica do vento de  $45\text{m/s}$  ocorre na região IV e é considerada a mais comum nos dimensionamentos, pois cobre praticamente todo o território brasileiro. Sendo assim, se considerarmos ( $V_o = 45\text{m/s}$ ) tem-se pela equação (5):

$$V_k = 45 \text{ (m/s)} \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 0,88$$

$$V_k = 41,58 \text{ m/s}$$

E a pressão de obstrução ou pressão de projeto ( $P_p$ ) seria dada pela equação (7):

$$q = \frac{(41,58 \text{ m/s})^2}{1,6}$$

$$q = 1.080,56 \text{ N/m}^2$$

Logo, a pressão efetiva ou também chamada de pressão de ensaio ( $P_e$ ) pela NBR 10821 (2000), adotando-se  $V_o = 45 \text{ m/s}$ , pela equação (12) é igual a:

$$P_e = 1,5 \times 1.080,56 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$P_e = 1.620,84 \text{ N/m}^2$$

Sendo assim, constata-se  $1.800,00 > 1.620,84 \text{ (N/m}^2\text{)}$ , então verifica-se que pode-se adotar o valor de  $1.800,00 \text{ N/m}^2$  para o dimensionamento da fachada em estudo.

Conforme a NBR 10821 (2000) a pressão de sucção ( $P_s$ ) e pressão de estanqueidade à água são dadas pelas seguintes equações:

$$P_s = P_e \times 0,8 \quad (13)$$

$$P_{eq} = P_p \times 0,15 \quad (14)$$

Onde:

$P_s$  = pressão de sucção

$P_e$  = pressão de ensaio

$P_{eq}$  = pressão de estanqueidade à água

$P_p$  = pressão de projeto

Logo, para a fachada em estudo têm-se conforme as equações (13) e (14) respectivamente:

$$P_s = 1.800,00 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 0,8$$

$$P_s = 1.440,00 \text{ N/m}^2$$

$$P_{eq} = 1.334,03 \text{ (N/m}^2\text{)} \times 0,15$$

$$P_{eq} = 200,10 \text{ N/m}^2$$

A pressão de estanqueidade à água foi determinada apenas para conhecimento, uma vez que essa pressão é utilizada no caso de juntas



fechadas. Por princípio, a fachada ventilada em estudo apresenta juntas abertas.

Para projetos e obras especiais deve-se avaliar todas as características da edificação para verificação dos esforços devido ao vento e avaliação do dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio.

### 4.3 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Para determinação do comportamento estrutural da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura, primeiramente verificou-se os esforços devido ao vento e pressões de projeto, ensaio, sucção e estanqueidade à água conforme descrito no item 4.2.

O carregamento devido ao vento atua diretamente na análise estrutural do perfil coluna ou travessa, por isso todas as verificações devem ser calculadas para o correto dimensionamento dos perfis. A função estrutural do dimensionamento está relacionada principalmente aos perfis colunas ou travessas. As ancoragens também possuem importante função estrutural, pois realizarão a ligação dos perfis à estrutura base do edifício.

As placas do revestimento de fina espessura para a fachada em estudo apresentam as dimensões máximas de 3000x1000mm, sendo assim, os perfis foram dimensionados para paginação das placas tanto na vertical como horizontal.

#### 4.3.1 Dados necessários para análise estrutural

Para dimensionamento dos perfis colunas e travessas considerou-se que o carregamento da estrutura apresenta geometria trapezoidal, uma vez que os esforços não ficam concentrados em toda a área do perfil. Por exemplo, a carga de vento também é absorvida pela estrutura portante da edificação e no caso da fachada em estudo existem as ancoragens que apresentam função estrutural, e essas estão disponibilizadas em vários pontos da fachada. Por meio da orientação da NBR 10821 (2000) as empresas do segmento de produção de perfis extrudados para fachadas cortinas e esquadrias de alumínio têm determinado o comportamento estrutural dos perfis.

Nas figuras 89 e 90 verifica-se o carregamento trapezoidal para coluna e travessa, respectivamente.

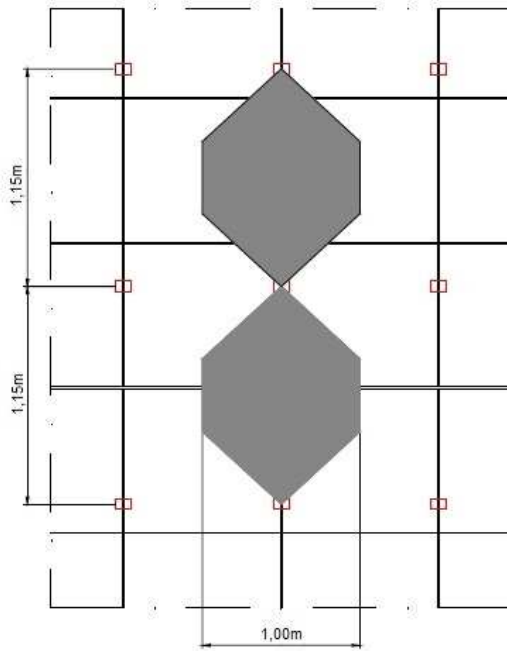


Figura 89 – Carregamento trapezoidal coluna.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

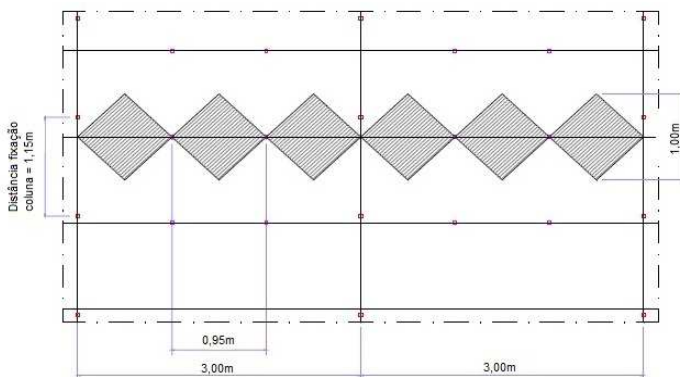


Figura 90 – Carregamento trapezoidal travessa.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

O perfil coluna ou travessa recebe cargas uniformemente distribuídas como um esquema biapoiado, conforme figura 91.

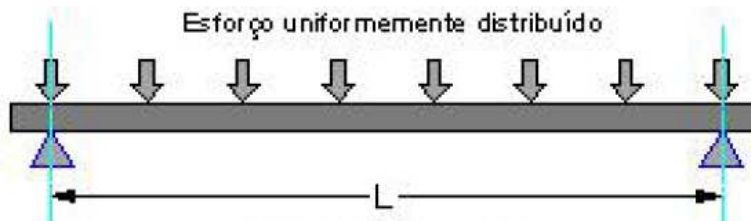


Figura 91– Esquema biapoiado.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Determinou-se por meio do comportamento estrutural que as colunas são fixadas através de ancoragem à estrutura base do edifício com intervalos de até 1,15m. Já as travessas devem ser fixadas por meio de ancoragem no máximo a cada 0,95m.

Para determinação dos esforços devido à flexão em uma coluna deve-se verificar o seu momento de inércia  $J_x$ , e para a sua capacidade de resistir a uma força e não sofrer uma deformação permanente deve-se verificar o momento resistente  $W_x$ . O momento de inércia e momento resistente estão diretamente relacionados à geometria dos perfis, e não ao tipo de material (por exemplo, alumínio, aço, etc.).

Para as travessas utilizam-se os valores referente ao momento de inércia  $J_y$  e momento resistente  $W_y$ , isso porque x e y são os eixos que indicam a direção das forças atuantes em relação à posição do perfil.

Para determinação do comportamento estrutural também é necessário conhecer o módulo de elasticidade e tensão admissível. Estes sim variam de acordo com o tipo, composição e liga do material.

São necessários os seguintes dados para a análise estrutural:

- Distância entre apoios:

Coluna –  $A = 1,00\text{m}$

Travessa –  $A = 1,00\text{m}$

- Distância eixo:

Eixo vertical: Coluna –  $L = 1,15\text{m}$

Eixo horizontal: Travessa –  $L = 0,95\text{m}$

- Área da seção de ensaio:  
Matematicamente, determina-se a área da seção conforme figura 92 e expressão abaixo:

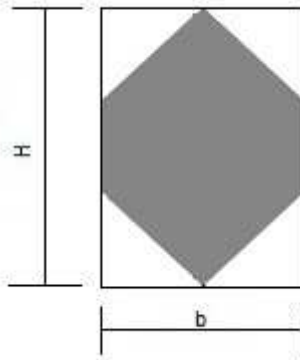


Figura 92 – Área da seção trapezoidal.  
Fonte: Do autor.

$$S_m = (H - b/2) \times b \quad (15)$$

Logo, a área da seção tipo envelope é igual a:

**Coluna:**

$$S_m = (1,15 \text{ m} - 1,00 \text{ m}/2) \times 1,00 \text{ (m)}$$

$$S_m = 0,65 \text{ m}^2$$

**Travessa:**

$$S_m = (0,95 \text{ m} - 1,00 \text{ m}/2) \times 1,00 \text{ (m)}$$

$$S_m = 0,45 \text{ m}^2$$

- Pressão de ensaio:

$$P_e = 1.800,00 \text{ N/m}^2$$

- Carga total incidente na seção:

Para verificação da carga total incidente na seção, realiza-se a multiplicação da pressão de ensaio pela área da seção, assim obtêm-se a carga total por módulo, conforme a seguir:

**Coluna:**

$$Q = 1.800,00 \text{ (N/m}^2\text{)} \cdot 0,65 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q = 1.170,00 \text{ N}$$

**Travessa:**

$$Q = 1.800,00 \text{ (N/m}^2\text{)} \cdot 0,45 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$Q = 810,00 \text{ N}$$

- Carga distribuída:

Para encontrar o valor da carga distribuída, realiza-se a divisão da carga total incidente na seção pelo comprimento “L” da seção, conforme a seguir:

**Coluna:**

$$q = \frac{1.170,00 \text{ (N)}}{1,15 \text{ (m)}}$$

$$q = 1.017,39 \text{ N/m}$$

**Travessa:**

$$q = \frac{810,00 \text{ (N)}}{0,95 \text{ (m)}}$$

$$q = 852,63 \text{ N/m}$$

- Módulo de elasticidade do alumínio:

$$E = 70 \times 10^9 \text{ N/m}^2 \text{ (70GPa)}$$

- Tensão admissível do alumínio liga 6060-T5

$$\sigma_{\text{adm}} = 75 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ (75MPa)}$$

- Coeficiente de dilatação térmica linear

$$\alpha = 24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

### 4.3.2 Cálculo da flecha máxima admissível

A NBR 10821 (2000) recomenda que a deflexão máxima instantânea não deve ser superior a  $L/175$  do vão, sendo  $L$  o comprimento livre do perfil em análise. Em nenhum caso pode ser superior a 2cm em qualquer um dos seus perfis.

Logo, determina-se a flecha máxima admissível conforme abaixo:

$$\delta_{adm} = \frac{L}{175} \leq 2 \text{ cm} \quad (16)$$

A flecha máxima para a coluna é dada por:

$$\delta_{adm} = \frac{115(\text{cm})}{175}$$

$$\delta_{adm} = 0,66 \text{ cm} \quad (0,0066 \text{ m})$$

A flecha máxima para a travessa é determinada conforme abaixo:

$$\delta_{adm} = \frac{95(\text{cm})}{175}$$

$$\delta_{adm} = 0,54 \text{ cm} \quad (0,0054 \text{ m})$$

### 4.3.3 Momento de inércia mínimo

Conforme Timoshenko (1973), o cálculo do deslocamento máximo para viga biapoiada com carga uniformemente distribuída é realizado de acordo com a equação abaixo, dada pela resistência dos materiais:

$$D_{m\acute{a}x} = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI} \quad (17)$$

Onde:

$D_{m\acute{a}x}$  = deslocamento máximo;

$q$  = carga distribuída;

$L$  = comprimento da viga;

$E$  = módulo de elasticidade;

$I$  = momento de inércia da seção.

Adaptando a equação tem-se:

$$J = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{E \delta_{adm}} \quad (18)$$

Onde:

$J$  = momento de inércia mínimo;

$\delta_{adm}$  = flecha máxima admissível;

$q$  = carga distribuída;

$L$  = comprimento do perfil;

$E$  = módulo de elasticidade.

Logo, para a coluna o momento de inércia mínimo  $J_x$  é dado por:

$$J_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{1.017,39(\text{N/m}) \cdot (1,15 \text{ m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \cdot 0,0066(\text{m})}$$

$$J_x = 5,0150 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Na travessa o momento de inércia mínimo  $J_y$  é calculado conforme abaixo:

$$J_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{852,63(\text{N/m}) \cdot (0,95 \text{ m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \cdot 0,0054(\text{m})}$$

$$J_y = 2,3922 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

#### 4.3.4 Momento resistente mínimo

Conforme Hibbeler (2000), a equação para determinação da tensão atuante de flexão é dada pela resistência dos materiais:

$$\sigma_f = \frac{M_{\max}}{I} \cdot y \quad (19)$$

Onde:

$\sigma_f$  = tensão normal máxima no elemento, ocorrente no ponto mais afastado do eixo neutro da área da seção transversal;

$M_{\text{máx}}$  = momento resultante, determinado pelo método das seções junto com as equações de equilíbrio. É calculado em relação ao eixo neutro da seção transversal;

$I$  = momento de inércia da área da seção transversal, calculado em relação ao eixo neutro;

$y$  = distância perpendicular entre o eixo neutro e o ponto mais afastado do eixo neutro onde atua a  $\sigma_f$  .

Para dedução da equação do momento resistente ( $W$ ), também pela resistência dos materiais têm-se:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{I} \left( \frac{d}{2} \right) \quad (20)$$

$$W = \frac{I}{\frac{d}{2}} \quad (21)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{W} \quad (22)$$

$$M = \frac{qL^2}{8} \quad (23)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{\frac{qL^2}{8}}{W} \quad (24)$$

$$W = \frac{qL^2}{8 \sigma_{\text{max}}} \quad (25)$$

Logo, o cálculo do momento resistente atuante para o perfil coluna da fachada em estudo é dado por:



$$W_f = \frac{1.017,39(\text{N/m}) \cdot (1,15 \text{ m})^2}{8.75 \times 10^6 (\text{N/m}^2)}$$

$$W_f = 2,2425 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

Na travessa, o momento resistente atuante é determinado conforme a seguir:

$$W_f = \frac{852,63(\text{N/m}) \cdot (0,95 \text{ m})^2}{8.75 \times 10^6 (\text{N/m}^2)}$$

$$W_f = 1,2825 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

#### 4.3.5 Cálculo da dilatação térmica linear

A variação de uma barra de comprimento “L” em função da temperatura pode ser expressa matematicamente conforme a seguir:

$$\Delta L = \alpha L_o \Delta T \quad (26)$$

Onde:

$\Delta L$  = variação de comprimento (dilatação);

$\alpha$  = coeficiente de dilatação térmica linear;

$L_o$  = comprimento inicial da barra;

$\Delta T$  = intervalo de variação de temperatura.

Logo, a variação de comprimento para o perfil coluna em estudo é dado por:

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (^\circ \text{C}^{-1}) \cdot 1,15 (\text{m}) \cdot (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (^\circ \text{C}^{-1}) \cdot 1,15 (\text{m}) \cdot (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 1,242 \times 10^{-3} \text{ m} \quad (0,1242 \text{ cm})$$

Para o perfil travessa a variação do comprimento pode ser definida conforme abaixo:

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (^\circ \text{C}^{-1}) \cdot 0,95 (\text{m}) \cdot (45^\circ - 0^\circ)$$

$$\Delta L = 24 \times 10^{-6} (^{\circ} \text{C}^{-1}) \cdot 0,95(\text{m}) \cdot (45^{\circ} - 0^{\circ})$$

$$\Delta L = 1,026 \times 10^{-3} \text{ m } (0,1026 \text{ cm})$$

Sendo assim, o perfil coluna de alumínio poderá atingir um comprimento final de 115,12 cm e o perfil travessa até 95,10cm.

#### 4.3.6 Análise estrutural dos perfis coluna e travessa

Após determinação das especificações mínimas para o comportamento estrutural da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura, verificou-se junto à empresa Belmetal a disponibilidade de perfis que pudessem compor a subestrutura auxiliar em alumínio.

Para o perfil coluna definiu-se utilizar o perfil FA-378, conforme figura 93 e para o perfil travessa adotou-se o modelo FA-380, conforme figura 94.

Dados da configuração geométrica da coluna FA-378:

- $J_x = 5,6589 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
- $J_y = 2,5607 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
- $W_x = 2,9873 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- $W_y = 1,5680 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- Liga = 6060 T5

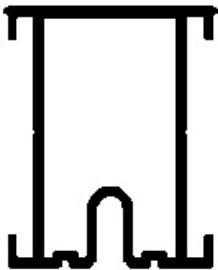


Figura 93 – Coluna – FA-378.

Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

Dados da configuração geométrica da travessa - FA 380:

- $J_x = 4,6071 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
- $J_y = 2,7819 \times 10^{-8} \text{ m}^4$
- $W_x = 2,7100 \times 10^{-6} \text{ m}^3$

- $W_y = 1,6364 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
- Liga = 6060 T5



Figura 94 – Travessa – FA-380.  
Fonte: Do autor<sup>1</sup>.

#### 4.3.7 Cálculo da flecha máxima nos perfis coluna e travessa

A flecha máxima atuante no perfil coluna é determinada por meio da equação (17), conforme segue:

$$\delta_f = \frac{5}{384} \cdot \frac{1.017,39(\text{N/m}) \cdot (1,15\text{m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \cdot 5,6589 \times 10^{-8} (\text{m}^4)}$$

$$\delta_f = 0,0058\text{m}$$

Logo:

$$\delta_f \leq \delta_{\text{adm}}$$

$$0,0058\text{m} < 0,0066\text{m}$$

Assim, o perfil especificado atende a norma NBR 10821(2000).

A flecha máxima atuante no perfil travessa é determinada também por meio da equação (17), conforme a seguir:

$$\delta_f = \frac{5}{384} \cdot \frac{852,63(\text{N/m}) \cdot (0,95\text{m})^4}{70 \times 10^9 (\text{N/m}^2) \cdot 2,7819 \times 10^{-8} (\text{m}^4)}$$

$$\delta_f = 0,0046\text{m}$$

Logo:

$$\delta_f \leq \delta_{adm}$$

$$0,0046\text{m} < 0,0054\text{m}$$

Assim, o perfil especificado atende a norma NBR 10821(2000).

#### 4.3.8 Tensão normal nos perfis coluna e travessa

A carga distribuída aplicada no perfil e coluna é igual a:  $q = 1.017,39\text{N/m}$ . O cálculo do momento fletor é dado pela equação (23), conforme a seguir:

$$M_f = \frac{1.017,39(\text{N/m}) \cdot (1,15\text{m})^2}{8}$$

$$M_f = 168,19\text{N.m}$$

A tensão normal no perfil pode ser determinada de acordo com a equação (22):

$$\sigma_f = \frac{168,19(\text{N.m})}{2,9873 \times 10^{-6} (\text{m}^3)}$$

$$\sigma_f = 56,30 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ (56,30MPa)}$$

Logo:

$$\sigma_f \leq \sigma_{adm}$$

$$56,30\text{MPa} < 75,00\text{MPa}$$

Assim, o perfil especificado atende a norma NBR 10821(2000).

A carga distribuída aplicada no perfil travessa é igual a:  $q = 852,63\text{N/m}$ . O cálculo do momento fletor é dado pela equação (23), conforme abaixo:

$$M_f = \frac{852,63(\text{N/m}) \cdot (0,95\text{m})^2}{8}$$

$$M_f = 96,19\text{N.m}$$

A tensão normal no perfil pode ser determinada de acordo com a equação (22):

$$\sigma_f = \frac{96,19(\text{N.m})}{1,6364 \times 10^{-6} (\text{m}^3)}$$

$$\sigma_f = 58,78 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ (58,78MPa)}$$

Logo:

$$\sigma_f \leq \sigma_{\text{adm}}$$

$$58,78 \text{MPa} < 75,00 \text{MPa}$$

Assim, o perfil especificado atende a norma NBR 10821(2000).

#### 4.3.9 Resistência à flexão da placa de porcelanato de fina espessura

O dimensionamento das placas de porcelanato de fina espessura foi realizado mediante cálculo da resistência à flexão. Segue informações do porcelanato de fina espessura:

- Resistência à flexão do porcelanato de fina espessura =  $50 \times 10^6 \text{N/m}^2$  (50MPa)
- Espessura = 3,5mm;
- Tamanho da placa = 3x1m;
- Peso = 8Kg/m<sup>2</sup>

Conforme a determinação das cargas de vento encontrou-se o seguinte valor para pressão efetiva:

- Carga de vento =  $1.800,00 \text{N/m}^2$  ou  $1,8 \text{kN/m}^2$
- Carga distribuída =  $1,8 \text{kN/m}^2 \times 3 \text{m}$  (largura de influência da placa) =  $5,4 \text{kN/m}$ .

A placa de porcelanato de fina espessura receberá a folha, formando um quadro. Para resistir aos esforços de flexão serão adicionados apoios intermediários no verso da placa. Estes apoios são compostos por perfil T de abas desiguais. Pela resistência dos materiais, a tensão atuante deverá ser menor ou igual à tensão resistente, logo

determinou-se que a distância entre os apoios deve ser de 0,75m, sendo explicado por meio de cálculos conforme a seguir.

O carregamento da placa de porcelanato de fina espessura é composto por carga distribuída devido à ação do vento e considera-se uma viga com cinco apoios.

Para cálculo do momento fletor máximo, utilizou-se o programa Ftool. Por meio desse programa é possível obter o diagrama de momento fletor de uma estrutura.

Na figura 95 verifica-se o carregamento com apoios a cada 0,75m e na figura 96 está ilustrado o diagrama de momento fletor.

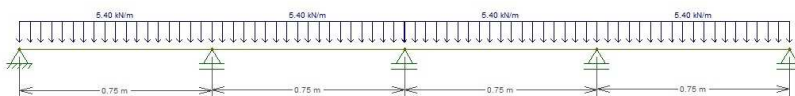


Figura 95 – Carga distribuída devido ao vento.

Fonte: Do autor.

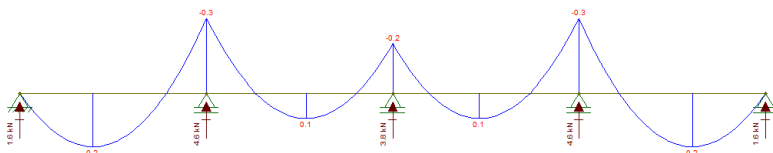


Figura 96 – Diagrama de momento fletor.

Fonte: Do autor.

No diagrama de momento fletor, verifica-se que o momento máximo é dado nos apoios centrais da placa de porcelanato de fina espessura, apresentando o valor de 0,30kN.m (300,00N.m).

Por meio do cálculo do momento de inércia é determinada a seção resistente da placa de porcelanato de fina espessura, assim é possível obter a tensão admissível de flexão. A seção resistente da placa de porcelanato de fina espessura está informada na figura 97.

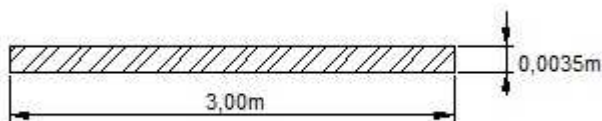


Figura 97 – Seção resistente da placa de porcelanato de fina espessura.

Fonte: Do autor.

A expressão a seguir determina o momento de inércia de uma seção retangular:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (27)$$

Onde:

I = momento de inércia;

b = base do retângulo;

h = altura do retângulo.

$$I = \frac{3,00(\text{m}) \cdot (0,0035\text{m})^3}{12}$$

$$I = 1,0718 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Conforme características técnicas do porcelanato de fina espessura (Laminam), informado na tabela 3 e também por ensaios de caracterização nos laboratórios da Eliane Revestimentos Cerâmicos (Anexo A), a resistência à flexão das placas do porcelanato de fina espessura é 50MPa, que definiu-se como tensão resistente.

Logo, para o carregamento devido à ação de vento tem-se a tensão de flexão atuante pela equação (19):

$$\sigma_f = \frac{300,00(\text{N.m})}{1,0718 \times 10^{-8} (\text{m}^4)} \cdot 0,00175(\text{m})$$

$$\sigma_f = 48,98 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \text{ (48,98MPa)}$$

Logo:

$$\sigma_f \leq \sigma_r$$

$$48,98 \text{ MPa} < 50,00 \text{ MPa}$$

Assim, o dimensionamento está de acordo, considerando os apoios a cada 0,75m.

#### 4.3.10 Dimensionamento do selante estrutural

Para o dimensionamento do selante estrutural, primeiramente realizou-se testes nos laboratórios da empresa 3M para verificação do comportamento quando submetido às cargas de tração e cisalhamento.

Foi definida a utilização do selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M. Esse selante estrutural é composto por um poliuretano monocomponente, a cura é realizada com uma alteração química iniciada com umidade na qual forma-se um produto elástico permanente. Adere em uma grande variedade de materiais como plásticos, metais, fibras de vidro, cerâmicas e madeiras. São formulados para apresentarem uma grande variedade de dureza, tempos em aberto e propriedades para várias aplicações distintas. A cura do selante é dada por 24 horas.

Nas figuras 98, 99, 100 e 101 verifica-se a preparação dos corpos de prova.



Figura 98 – Preparação amostras – 1.

Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Colaboração da equipe de desenvolvimento de negócios e equipe técnica da empresa 3M, para os testes referentes ao dimensionamento do selante estrutural.





Figura 99 – Preparação amostras – 2.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.



Figura 100 – Preparação amostras – 3.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.



Figura 101 – Preparação amostras – 4.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

Nas figuras 102, 103, 104, 105, 106 e 107 encontram-se as fotos referentes à execução dos testes.



Figura 102 – Equipamento.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.



Figura 103 – Teste tração - 1.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.



Figura 104 – Teste tração - 2.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.



Figura 105 – Teste tração - 3.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

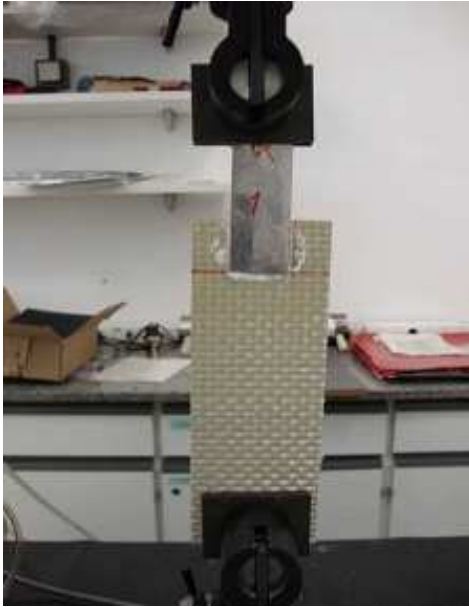


Figura 106 – Teste cisalhamento.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.



Figura 107 – Teste cisalhamento-amostra.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

Na tabela 9 encontram-se os resultados dos testes de tração e cisalhamento.

Tabela 9 – Resultados dos testes de tração e cisalhamento do selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M.

	Amostra	Tração - arrancamento		Cisalhamento	
		Carga máxima (N) 1.564,00mm <sup>2</sup>	Carga máxima (MPa)	Carga máxima (N) 645,16mm <sup>2</sup>	Carga máxima (MPa)
Selante 560 3M	1	697,94	0,45	632,94	0,98
	2	602,05	0,38	495,01	0,77
	3	635,51	0,41	827,19	1,28
	4	683,67	0,44	831,95	1,29
	5	694,45	0,45	856,31	1,33

Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

O selante estrutural do tipo 360 apresentou resistência mínima à tração de 0,38MPa e ao cisalhamento de 0,77MPa, assim ambas as resistências encontradas estão de acordo com as especificações para selantes. Na resistência à tração não houve descolamento do selante da chapa metálica e sim uma ruptura do revestimento, assim verifica-se que o selante apresenta compatibilidade com o verso da placa do porcelanato de fina espessura. Já na resistência ao cisalhamento foi possível determinar a tensão máxima, quando ocorreu o descolamento da chapa metálica. A diferença entre os valores de tração e cisalhamento está relacionada com a ruptura do revestimento (no ensaio de tração, pois o revestimento porcelanato rompeu antes do selante atingir uma tensão máxima) e do selante (quando foi possível determinar a sua tensão máxima admissível).

Com este resultado pode-se verificar que esse selante apresenta condições de trabalhar aderido no verso da placa de porcelanato de fina espessura.

Uma observação importante é que o porcelanato de fina espessura apresenta uma fibra de vidro no seu verso, e mediante a realização dos testes de tração e cisalhamento verificou-se que a fibra de vidro não descolou nem da placa de porcelanato nem do selante. Com isso pode-se observar que existe uma perfeita aderência entre a fibra de vidro e o verso da placa de porcelanato de fina espessura.

Os resultados de tração e cisalhamento podem ser verificados também conforme as figuras 108 e 109.

Na tração verificou-se uma extensão máxima de 1.1mm quando aplicado cargas de 700N e no cisalhamento verificou-se uma extensão máxima de 7.5mm com cargas de 85daN (ou 850N), isso mostra que o selante apresenta alongamento antes de ocorrer a ruptura.

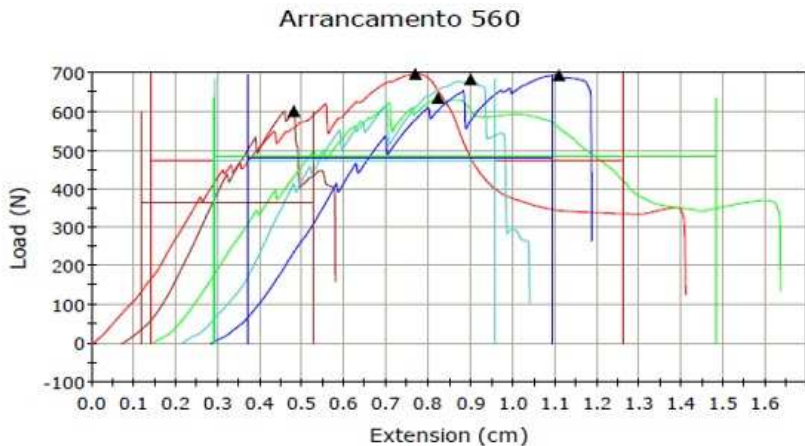


Figura 108 – Gráfico teste de tração.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

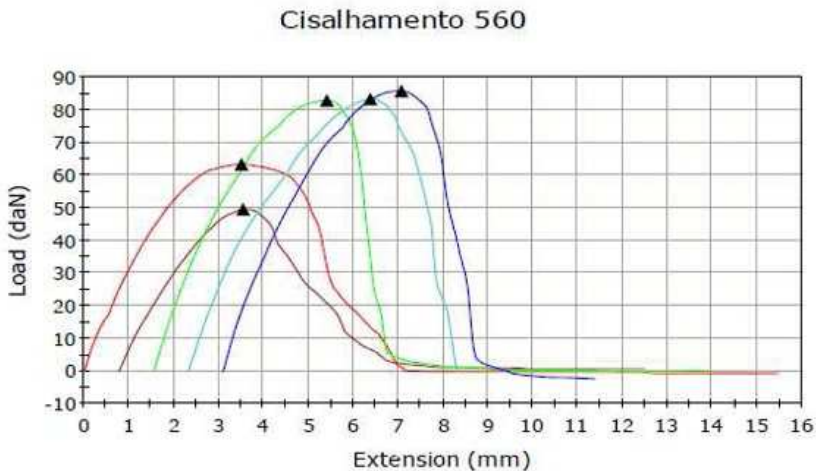


Figura 109 – Gráfico teste de cisalhamento.  
Fonte: Do autor<sup>2</sup>.

Após realização dos testes de tração e cisalhamento realizou-se o dimensionamento do selante estrutural para determinação da largura da junta.

De acordo com as recomendações da NBR 15737 (2009) foi determinada a largura da junta do selante estrutural para a tecnologia de fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura, conforme explicado a seguir.

- Cálculo para cargas dinâmicas

A placa do porcelanato de fina espessura apresenta dimensões de 3000x1000mm. Para o estudo da largura da junta considerou-se uma pressão de vento máxima de 2,90kPa (região V, conforme a NBR 6123 (1988)).

A tensão admissível do selante estrutural do tipo 560 (marca 3M) é igual a 110kpa.

Logo:

$$\text{Largura selante (mm)} = \frac{0,5 \times \text{menor lado (mm)} \times \text{pressão de vento (kPa)}}{\text{resistência do selante (kpa)}} \quad (28)$$

$$\text{Largura selante (mm)} = \frac{0,5 \times 1000 \text{ (mm)} \times 2,90 \text{ (kPa)}}{110 \text{ (kpa)}}$$

$$\text{Largura selante (mm)} = 13 \text{ mm}$$

- Cálculo para cargas estáticas

O peso da placa de porcelanato de fina espessura (3000mmx1000mm) é igual a 24Kg. A tensão admissível do selante estrutural tipo 560 (marca 3M) é de  $2,26 \times 10^{-4}$  Kg/mm<sup>2</sup>.

Logo:

$$\text{Largura selante (mm)} = \frac{\text{Peso do painel (Kg)}}{\text{resistência do selante (Kg/mm}^2\text{)} \times \text{perímetro do revestimento (mm)}} \quad (29)$$

$$\text{Largura selante (mm)} = \frac{24 \text{ (Kg)}}{2,26 \times 10^{-4} \text{ (Kg/mm}^2\text{)} \times (8000 \text{ mm)}}$$

$$\text{Largura selante (mm)} = 13 \text{ mm}$$

Conforme o dimensionamento tanto para o carregamento devido ao vento como para o peso do painel encontrou uma largura de 13mm. O painel é composto pelo porcelanato de fina espessura e folha de alumínio e esses são unidos por meio do selante estrutural. O painel ainda receberá a cada 75cm um reforço do verso da placa de porcelanato de fina espessura mediante os perfis T. Esse reforço também contribuirá para a resistência de colagem.

Geralmente no dimensionamento de selantes estruturais a largura é múltipla da altura, assim nesse caso determinou-se uma junta de 4x12mm, ou seja, 4mm de altura e 12mm de largura.

Assim, pode-se definir a dimensão do selante estrutural em 4x12mm, apresentando compatibilidade de aderência entre o porcelanato de fina espessura (com fibra de vidro no seu verso) e também em relação aos perfis de alumínio.

#### 4.4 COMPARAÇÃO CUSTOS E PRODUTIVIDADE DAS FACHADAS CORTINAS E FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA

Para o presente estudo realizou-se uma pesquisa de mercado buscando verificar os custos e produtividade das fachadas cortinas de vidro e ACM (alumínio composto), uma vez que a técnica de execução utilizando uma subestrutura formada por perfis metálicos é similar à tecnologia de execução da fachada ventilada para o porcelanato de fina espessura. Na tabela 10 encontram-se os valores da pesquisa.

Tabela 10 – Comparativo de custos e produtividade fachadas.

Tipo	Custos (RS/m <sup>2</sup> )				Produtividade m <sup>2</sup> /mês
	Subestrutura auxiliar em alumínio	Mão-de-obra	Revestimento	Total	
ACM (alumínio composto)	44,00	130,00	85,00	259,00	350,00
Vidro - Glazing	230,00	382,00	150,00	762,00	400,00
Porcelanato fina espessura	130,00	250,00	150,00	530,00	350,00
Observação: Valores de produtividade (m <sup>2</sup> /mês) considerando 1 equipe (4 pessoas).					

Fonte: Do autor.



Na fachada ventilada com porcelanato de fina espessura devido às juntas serem abertas, recomenda-se realizar a impermeabilização da alvenaria. A impermeabilização representa um custo de 5,00R\$/m<sup>2</sup>, resultando em um custo total de 535,00R\$/m<sup>2</sup>.

Na tabela 11 pode-se verificar o comparativo de pesos dos sistemas construtivos das fachadas cortinas e fachada de porcelanato de fina espessura.

Tabela 11 – Peso dos sistemas construtivos.

<b>Tipo</b>	<b>Peso Revestimento Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Peso Subestrutura auxiliar em alumínio Kg/m<sup>2</sup></b>	<b>Peso Total Kg/m<sup>2</sup></b>
ACM (alumínio composto)	4,00	4,00	8,00
Vidro - Glazing	20,00	8,50	28,50
Porcelanato fina espessura	8,00	4,00	12,00

Fonte: Do autor.

De forma geral, pode-se afirmar que existem diferenças nos custos e na mão-de-obra devido principalmente ao dimensionamento da subestrutura auxiliar em alumínio, em função das características dos revestimentos.

A fachada cortina de vidro, por exemplo, pela sua complexidade estrutural, como fechar todo o vão do pé-direito, demanda uma estrutura de alumínio mais robusta, assim como componentes especiais. O peso aproximado da subestrutura auxiliar em alumínio para as fachadas cortinas de vidro é 8,5 Kg/m<sup>2</sup>. Por exemplo, uma fachada composta por vidro laminado de 8mm, representa aproximadamente um peso total de 28,5Kg/m<sup>2</sup>, pois somente a placa de vidro apresenta 20Kg/m<sup>2</sup>. Os acessórios de uma fachada de cortina de vidro representam 45% do custo do material.

As fachadas de ACM, compostas por revestimento com placas de alumínio composto apresentam peso total aproximado de 8Kg/m<sup>2</sup>, ou seja, as placas de ACM (alumínio composto) representam 4Kg/m<sup>2</sup> e a subestrutura auxiliar em alumínio pesa 4Kg/m<sup>2</sup>. A subestrutura auxiliar em alumínio compreende perfis com usinagens, as quais facilitam o processo de montagem, pois os quadros são simplesmente encaixados nos perfis estruturais. No caso do ACM (alumínio composto), por exemplo, não existe a aplicação de um selante estrutural para fixação

dos quadros. Por ser um revestimento leve, não exige uma subestrutura auxiliar em alumínio reforçada.

O porcelanato de fina espessura apresenta peso de  $8\text{Kg/m}^2$  e a subestrutura auxiliar em alumínio pesa  $4\text{Kg/m}^2$ , ou seja, total de  $12\text{Kg/m}^2$ . Por ser considerado um material leve, também não exige elevados dimensionamentos da subestrutura auxiliar em alumínio. Para o processo de montagem, o sistema de fixação dos quadros é realizado por presilhas, as quais facilitam o processo de instalação e também caso seja necessário trocar uma placa, essa pode ser substituída individualmente.

Para fixação do vidro ou porcelanato de fina espessura na folha, para a formação dos quadros, são utilizados selantes estruturais, os quais apresentam um maior custo de mão-de-obra quando comparado com o ACM (alumínio composto).

Conclui-se que a fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura apresenta um custo bem competitivo no mercado das fachadas.

A produtividade para os três tipos de revestimentos apresentam valores semelhantes, em média de  $350,00$  a  $400,00\text{m}^2/\text{mês}$ , conforme informado na tabela 10. A produtividade de montagem das fachadas cortinas de vidro apresenta valores um pouco superiores ao ACM (alumínio composto) e ao porcelanato de fina espessura, devido à disponibilidade de formatos superiores de vidro.

Para o presente trabalho, o ideal são placas de grandes formatos, assim se consegue obter uma maior produtividade e redução de custos, pois quanto maior a placa, menor é a quantidade de perfis de alumínio.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

### 5.1 CONCLUSÕES - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE FIXAÇÃO DE FACHADA VENTILADA COM PORCELANATO DE FINA ESPESSURA

O dimensionamento da fachada ventilada estudada foi caracterizado por uma subestrutura auxiliar em alumínio, revestimento porcelanato de fina espessura e selante estrutural, sendo que todas as verificações ficaram de acordo com o estabelecido pela norma técnica NBR 10821 (2001) - norma nacional de caixilho para edificações e utilizada para o dimensionamento de fachadas cortinas. Seguiram-se também as orientações de empresas internacionais que já trabalham com essa tecnologia há algum tempo.

Desenvolveram-se fornecedores nacionais para a especificação da subestrutura auxiliar em alumínio e selante estrutural (empresas Belmetal e 3M, respectivamente). A Belmetal contribuiu com informações técnicas para especificação e detalhamento do sistema construtivo. Já a 3M realizou os testes de tração e cisalhamento em laboratórios próprios, em Sumaré-SP.

A Eliane Revestimentos Cerâmicos comercializa o porcelanato de fina espessura. Todos os materiais especificados no presente trabalho apresentam comercialização no mercado brasileiro.

Foram determinados os carregamentos devido ao vento pela NBR 6123 (1998). Primeiramente adotou-se uma velocidade básica do vento em 50m/s. Assim, encontrou-se uma pressão de ensaio de 2.001,04N/m<sup>2</sup>. Seguiu-se também a recomendação da NBR 10821 (2000), que recomenda pressões de ensaio de 1.800N/m<sup>2</sup> para fachadas cortinas. Assim, para a fachada estudada, considerou-se esse valor para o dimensionamento do sistema construtivo. Realizou-se ainda uma verificação considerando a velocidade básica do vento igual a 45m/s, uma vez que essa velocidade cobre praticamente todo o território brasileiro e encontrou-se uma pressão de ensaio de 1.620,84N/m<sup>2</sup>. Assim, conclui-se que a pressão de ensaio utilizada neste trabalho está de acordo com as especificações.

Foi determinado também o comportamento estrutural dos perfis coluna e travessa. Verificou-se a flecha máxima admissível, momento de inércia mínimo, momento resistente mínimo e dilatação térmica linear. Avaliaram-se os dados estruturais desses perfis, verificando o

atendimento às especificações, mediante avaliação dos resultados de flecha máxima admissível e tensão normal.

A NBR 10821 (2000) recomenda que a flecha máxima admissível seja menor ou igual a 2cm. Para a fachada em estudo, a flecha máxima admissível é 0,66cm para coluna e 0,54cm para travessa. Na verificação das flechas máximas atuantes encontraram-se os valores de 0,58cm e 0,46cm para coluna e travessa, respectivamente.

A partir do resultado de flecha máxima admissível determinou-se os valores de momento de inércia mínimo para a coluna e travessa e os resultados foram de  $5,0150 \times 10^{-8} \text{m}^4$  e  $2,3922 \times 10^{-8} \text{m}^4$ , respectivamente. O dimensionamento atendeu a especificação, uma vez que os momentos de inércia determinados pela configuração geométrica dos perfis é igual a  $5,6589 \times 10^{-8} \text{m}^4$  (coluna) e  $2,7819 \times 10^{-8} \text{m}^4$  (travessa).

Verificou-se também o momento resistente mínimo. Para a coluna encontrou-se o valor de  $2,2425 \times 10^{-8} \text{m}^3$  e para a travessa  $1,2825 \times 10^{-8} \text{m}^3$ . O dimensionamento também está de acordo, pois os momentos resistentes conforme a configuração geométrica dos perfis especificados correspondem a  $2,9873 \times 10^{-8} \text{m}^3$  (coluna) e  $1,6364 \times 10^{-8} \text{m}^3$  (travessa).

Na análise do comportamento da dilatação térmica linear, a coluna poderá sofrer uma variação de 0,1242cm e a travessa de 0,1026cm.

A tensão admissível do alumínio na liga 6060 T5 é igual a 75MPa, sendo assim, o dimensionamento da coluna e travessa também está de acordo uma vez que a tensão normal na coluna foi de 56,30MPa e na travessa 58,78MPa.

Foi dimensionado um perfil reforço, chamado perfil T, para ser aderido no verso da placa do porcelanato de fina espessura, para resistência aos esforços devido à flexão. O dimensionamento dos apoios a cada 0,75m atendeu a especificação, pois foi verificado a tensão atuante em relação a tensão resistente da placa de porcelanato de fina espessura ( $48,98 \text{MPa} < 50,00 \text{MPa}$ ).

O selante estrutural também apresentou compatibilidade e resistência à tração e cisalhamento para aplicação tanto na subestrutura auxiliar em alumínio como no verso da placa de porcelanato de fina espessura.

O selante estrutural do tipo 360 apresentou resistência mínima à tração de 0,38MPa e ao cisalhamento de 0,77MPa, assim ambas as resistências encontradas estão de acordo com as especificações para selantes. Na tração verificou-se uma extensão máxima de 1.1mm

quando aplicado cargas de 700N e no cisalhamento verificou-se uma extensão máxima de 7.5mm com cargas 850N, isso significa que o selante apresenta alongamento antes de ocorrer a ruptura. Determinou-se também a largura do selante, uma junta de 4x12mm, ou seja, 4mm de altura e 12mm de largura.

Foram comparados os custos e produtividades das fachadas cortinas de vidro e ACM (alumínio composto). A fachada ventilada com porcelanato de fina espessura apresenta um custo muito competitivo, pois foi estimado o valor de 535,00R\$/m<sup>2</sup>. As fachadas cortinas de vidro custam em média 762,00R\$/m<sup>2</sup>. Já as fachadas de ACM (alumínio composto), apresentam menor custo (259,00R\$/m<sup>2</sup>), pois não é utilizado selante estrutural, assim existe uma redução de custos de material e mão-de-obra. A produtividade das fachadas comparadas é similar (em média 350,00m<sup>2</sup>/mês), apenas um destaque levemente superior para o vidro (400,00m<sup>2</sup>/mês), devido esse revestimento apresentar maiores formatos disponíveis.

## 5.2 DISCUSSÕES

O desenvolvimento de novas técnicas de aplicação e a possibilidade de novos materiais adequados para uso de revestimentos de fachadas estão apresentando um crescimento significativo na construção civil.

Existe uma grande semelhança no método construtivo da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura e as fachadas cortinas de vidro. A fachada em estudo pode ser considerada uma fachada com sistema construtivo Stick. As colunas e travessas formam uma grelha e na sequência os quadros de porcelanato de fina espessura são fixados à estrutura por meio de presilhas. O porcelanato de fina espessura é fixado previamente na folha através do selante estrutural, formando os quadros.

Caso exista necessidade de trocar alguma placa do porcelanato de fina espessura, essa pode ser substituída individualmente. O processo de troca é muito fácil, pois somente removem-se as presilhas, parafuso de fixação e retira-se o quadro.

A fachada ventilada com porcelanato de fina espessura apresenta um sistema construtivo leve, uma vez que pesa somente 12Kg/m<sup>2</sup>.

Um destaque inovador para a fachada ventilada com o porcelanato de fina espessura é a presença da câmara de ar ventilada.

Atualmente tanto as fachadas cortinas de vidro como as fachadas de pedras naturais ou porcelanatos (fixadas pontualmente por “inserts”

metálicos), geralmente não utilizam a vantagem do sistema de ventilação, ou seja, a câmara de ar não é ventilada e as juntas entre as placas são fechadas com silicones ou poliuretanos.

Na fachada em estudo as aberturas inferiores e superiores da câmara de ar e também as juntas entre as placas permanecem abertas, sendo assim, a ventilação na câmara de ar ocorre por meio do efeito chaminé. Nos dias de chuva a água escorre pelo verso da placa de porcelanato de fina espessura e a subestrutura auxiliar em alumínio apresenta uma usinagem para permitir a saída da água que por acaso entre nos perfis.

O tema estudado tem uma excelente perspectiva de crescimento, pois é uma tendência mundial a utilização de sistemas industrializados nas construções civis. Futuramente existirão várias obras com o sistema de fachadas ventiladas, pois proporcionam um melhor desempenho em relação aos sistemas tradicionais. Com isso, a valorização do revestimento e a oportunidade de lançar novos projetos e produtos estarão surgindo no mercado, bem como o desenvolvimento de construções mais adequadas para ambientes específicos.

A tecnologia de fachada ventilada estudada foi apresentada em escritórios de arquitetura potenciais na cidade de São Paulo. O retorno foi muito positivo por apresentar um sistema inovador, tanto do ponto de vista do porcelanato de fina espessura como pelo sistema construtivo proposto. Já existem alguns apontamentos para possíveis especificações.

O objetivo deste trabalho também é aplicá-lo dentro da indústria brasileira de revestimentos cerâmicos, pois existe grande interesse da empresa Eliane Revestimentos Cerâmicos em comercializar a fachada ventilada com porcelanato de fina espessura.

### 5.3 RECOMENDAÇÕES

Para certificação da tecnologia de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura, além de todos os dimensionamentos apresentados neste trabalho, recomenda-se que sejam realizados ensaios laboratoriais em um protótipo com tamanho real para verificação do comportamento funcional do sistema.

A sugestão é realizar um protótipo de dois metros de largura por seis metros de altura, ou seja, quatro placas de porcelanato de fina espessura instaladas na subestrutura auxiliar em alumínio e submeter aos ensaios de carga distribuída, carga concentrada e impacto de corpo mole.

Realizou-se uma visita técnica no laboratório ITEC (Instituto Tecnológico da Construção Civil) em São Paulo-SP e verificou-se a possibilidade de realização dos testes. Esse laboratório apresenta uma câmara, chamada câmara vermelha com dimensões de 7800mm de altura e 3800mm de largura. Assim, seria prevista uma base portante nessa câmara para instalação do protótipo. Existem ventiladores que simulam as cargas de vento até 4000Pa. Podem ser realizados também no ITEC os ensaios referentes à carga concentrada e impacto de corpo mole.

Para a comercialização da fachada ventilada com porcelanato de fina espessura recomenda-se selecionar empresas de instalação que já trabalham com fachadas cortinas de vidro. Deve-se realizar treinamento para qualificação da mão-de-obra e certificar as empresas que poderão realizar a instalação do sistema completo.

Para trabalhos futuros recomenda-se estudar o comportamento térmico da tecnologia de fachada ventilada e dimensionamento de isolante térmico para ser inserido na câmara de ar, com objetivo de melhoria da eficiência energética do sistema.





## REFERÊNCIAS

ADAMS, Jennifer. New tiles lines open doors in exterior architecture. **Tile Magazine**. USA, v.4, n.3, p. 30-36, par/may.2007.

ALCALAGRES. **Ventilated Facades**. Spain. Disponível em <http://www.alcalagres.es>. Acesso em 08 de novembro de 2008.

ALVARENGA, Rita de Cássia S.S.; GONÇALVES, Marcio de Oliveira; SILVA, Reginaldo Carneiro da. Alvenaria Racionalizada. **Téchné**. São Paulo, n.112, p. 76-80, jul. 2006. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/112/artigo31744-1.asp>. Acesso em: 31 de outubro de 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-897**. Standard Test Method for Tensile Properties of Adhesive Bonds. Conshohocken-PA, 2008.

**ANCORA** chumbadores Ltda. Disponível em: <http://www.ancora.com.br>. Acesso em: 18 de outubro de 2008.

**ANFACER** - Associação nacional de fabricantes de cerâmica para revestimento. Disponível em: <http://www.anfacer.org.br>. Acesso em: 10 de agosto de 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10821**: Caixilhos para edificação. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 6485**: Caixilhos para edificação - janela, fachada-cortina e porta externa - verificação da penetração de ar. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6486:** Caixilhos para edificação - janela, fachada-cortina e porta externa - verificação da penetração à água. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 6487:** Caixilhos para edificação - janela, fachada-cortina e porta externa - verificação do comportamento quando submetidos a cargas uniformemente distribuídas. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 6120 (NB 5):** Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1978.

\_\_\_\_\_. **NBR 14827:** Chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria - Determinação de resistência à tração e ao cisalhamento, Rio de Janeiro, 2002.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575.** Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575.** Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 15575.** Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_. **NBR 9817:** Execução de piso com revestimento cerâmico. Rio de Janeiro, 1987.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **15737**: Perfis de alumínio e suas ligas com acabamento superficial - Colagem de vidros com selante estrutural. Rio de Janeiro, 2009.

\_\_\_\_\_. **NBR 13817**: Placas cerâmicas para revestimento – classificação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 13818**: Placas cerâmicas para revestimento – especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 15463**: Placas cerâmicas para revestimento - porcelanato. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 13816**: Placas cerâmicas para revestimento – terminologia. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 13707**: Projeto de revestimento de fachadas de edificações com placas de rocha fixadas por “inserts” metálicos: procedimento 02:002.45-002. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 7199**: Projeto, execução e aplicações dos vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 13755**: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante. – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 13754**: Revestimento de paredes internas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante. – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13753**: Revestimento de piso interno ou externo com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante – Procedimento. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. **Fundamentos e Aplicações do Alumínio**. São Paulo, ABAL, 2007. 68p.

\_\_\_\_\_. **Guia Técnico do Alumínio: Extrusão**. São Paulo, ABAL, 2008. 248p.

BARROS, Mercia M.B. de. O processo de produção das alvenarias racionalizadas. In: Seminário tecnologia e gestão de na produção de edifícios vedações verticais, 1998, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de engenharia de construção civil, 1998. p. 21 – 48.

BARTH, Fernando. **Desempenho de Fachadas em Edifícios Habitacionais**. (Apresentação Power Point referente à disciplina de inovações tecnológicas nos sistemas de vedações verticais). Florianópolis, 2008.

\_\_\_\_\_. The hygro-thermal performance of ventilated facade in a hot humid climate. In: International Conference on Passive and Low Energy Architecture, 18º, 2001. **Artigo técnico**. Brasil – Florianópolis, SC, 2001, p. 103-108.

BARTH, Fernando; GRILO, Ana Carolina. Análise higr-térmica de fachadas ventiladas nas condições de inverno. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 10º, 2002. **Artigo técnico**. Brasil – Foz do Iguaçu, PR, 2002, p. 203-212.

BARTH, Fernando; LEHMKUHL, Fábio. A. Caracterização da aplicação de placas de porcelanato nas fachadas de edifícios. In: ENTAC, 8º, 2000, Salvador. **Artigo técnico**. Brasil – Salvador, BA, 2000. v. 2, p. 1237-1243.

BARTH, F. ; MENDES, R.J.K. Análise do desempenho térmico de fachadas ventiladas com tijolos cerâmicos segundo o projeto de norma brasileira - desempenho térmico de edificações In: . Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2º Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5º, 1999, Fortaleza. **Artigo técnico**. Brasil – Fortaleza, CE, 1999.

BARTH, F.; VEFAGO, Luiz H. M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Florianópolis, SC: Letras Contemporâneas, 2007, 259p.

**BELMETAL**. Catálogo Linha Offset: sistema modular de fachadas. São Paulo. Disponível em <http://www.belmetal.com.br>. Acesso em 01 de agosto de 2010.

BONDIELLI, Guido Giacomo. Ventilated Facade. **Materia Magazine of Architecture**. Italy, n. 31, p. 76-83, may/aug.2000.

BRUZZICHELLI, Chiari di, P.A. **Speciale Rivestimento Esterno – Facciate di ceramica**. Tile Magazine. Italy, n.5, 1998, p. 126-36.

CAIXILHARIA básica para vidraceiros. **Tecnologia & Vidro**. São Paulo, 3-7 ed. Cap. II – VI, abr./fev./2000.

CAMPOS, Karina Felisbino. **Dimensionamento de uma fachada ventilada utilizando sistema de fixação por “inserts” metálicos e revestimento em gres porcelanato**. 2005, 111f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), Criciúma, SC.

CASTOLDI, C. La parete ventilata. **Ceramic Informazione**. Italy, Speciale Cersaie, 1998, p. 23-27.

CRASTA, Gian Paolo. 3mm: taking up the challenge. **Ceramic World Review**. Italy, n.73, 2007, p.150-159.

\_\_\_\_\_. The sustainable lightness of ceramic tiles. **Ceramic World Review**. Italy, n.86, 2010, p.56-49.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG **DIN 18516-1** - Cladding for external walls, ventilated at rear - Part 1: Requirements, principles of testing. Germany, 1999.

\_\_\_\_\_. **DIN 18516-3** - Cladding for external walls, ventilated at rear - Part 3: Natural stone: requirements, design. Germany, 1999.

\_\_\_\_\_. **DIN 18516-5** - Cladding for external walls, ventilated at rear - Part 5: Manufactured stone; requirements, design. Germany, 1999.

ELIANE REVESTIMENTOS CERAMICOS. **Seminário de capacitação Eliane**. Cocal do Sul, SC [2007?].

FACHADAS DEL NORTE S.L. **Strow sistemas**. Spain. [2008?]

FERNÁNDEZ, José A.S; MINGUILLÓN, Rufino J.H. Design and construction of lightweight facade panelling with ceramic tiles. Qualicer, 2000, Castellón. **Artigo técnico**. Spain - Castellón, 2000, p. 157-177.

FIGUEROLA, Valentina. Porcelanato, gres, azulejo. **Téchne**. São Paulo, v. 13, n.96, p.47, mar. 2005.

FRANCO, Luiz Sérgio. O projeto das vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção. In: Seminário tecnologia e gestão na produção de edifícios vedações verticais, 1998, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de engenharia de construção civil, 1998. p.221-236.

FURIOZZI, Biagio e DALLAI, Giovanni. **IL Deca Logo Granitogres (Argomenti D'Architettura)**. Italy, 1992, 103p.

GOLDBERG, Ricardo P. **Revestimentos exteriores com aderência directa de azulejos cerâmicos, piedra y ladrillos Caravista**. Italy: Vilmy Montanari, 1998, 200p.

GOZZI, Andrea et al. Technological behavior of low-thickness ceramic tiles. **Ceramic World Review**. Italy, n.85, 2009, p.78-82.

GRANITI FIANDRE. **Engineering book**. Italy, 2004.

\_\_\_\_\_. Italy. **Ventilated Facades**. Disponível em:  
<http://www.Granitifianadre.com>. Acesso em: 08 de novembro de 2008.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos materiais**. 3.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000, 701p.

IMOLA Engineering. **Catalogue Facing Systems**. Italy. [2008?]

IMOLA Tecnica. **Ventilated Walls**. Italy. Disponível em:  
<http://www.imolatecnica.it>. Acesso em 06 de novembro de 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13006**. Ceramic tiles - Definitions, classification, characteristics and marking. Geneva, 1998.

KALESINTERFLEX. **Technical catalogue**. Turkey. [2008?].

KISS, Paulo. Pulmões prediais. **Téchne**. São Paulo, v.8, n.39, p. 36-38, mar/abr. 1999.

KLEIN, D. L; KLEIN, G.M.B. Análise e projeto de estruturas de alumínio para suporte de placas cerâmicas em fachadas ventiladas. In: Jornadas sud-americanas de ingeniería estructural, XXXI, 2004, Mendoza. **Artigo técnico**. Mendoza: Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Cuyo, 2004.

\_\_\_\_\_. Sistema de fachada ventilada empregando placas cerâmicas retificadas de grês polido. In: Seminário das patologias das construções – novos materiais e tecnologias emergentes, 2º, 2004, Porto Alegre. **Artigo técnico**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

KLEIN, D. L; ROCHA, M.M; SOUZA, A.M.L. Estudo experimental dos danos produzidos pelo impacto de granizo em painéis cerâmicos. In: Congresso jornadas sul – americanas de engenharia estrutural, 2002, Brasília. **Artigo técnico**. Brasil – Brasília – DF, 2002.

LAMINAM. **Catalogue**. Italy. [2008?]

\_\_\_\_\_. Italy. **3m x 1m x 3mm the surface for ideas**. Disponível em: <http://www.laminam.it>. Acesso em: 16 de outubro de 2008.

\_\_\_\_\_. **Manual Sistema Laminam Esterna**. Italy. [2010?].



LEAL, Ubiratan. Fachada stick x unitizada. **Construção Mercado**. São Paulo. v.58, n.46, p.22-23, mai.2005

LOW Thickness Ceramic Tiles. **Tile International**. Itália, p. 66-77, fev. 2010.

MARAZZI TECNICA. **Technical manual in Ventilated Walls**. Italy. [2008?].

\_\_\_\_\_. **Ventilated Walls**. Italy. Disponível em <http://www.marazzi.it>. Acesso em: 01 de novembro de 2008.

MARTHA, Luiz Fernando. **FTOOL: Um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas**. Versão educacional 2.11, ago.2002.

MARTINELLI, P.A. La progettazione, la posa e i sistemi di facciata per i grandi formati di gres porcellanato. **Ceramic Informazione**. Italy, Speciale Cersaie, 1998, p. 37-41.

MEDEIROS, Jonas. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999. 458 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MIRAGE ENGINEERING. **Technical manual**. Italy. [2008?].

MOURA, Eride. Fachadas Respirantes. **Téchné**. São Paulo, n.144, p.1-2 mar.2009. Disponível em <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/144/artigo128934-1.asp>. Acesso em 09 de agosto de 2010.

MÜLLER, Alexandre. **Desenvolvimento de um protótipo e análise de comportamento térmico de fachada ventilada com placas cerâmicas de gres porcelanato**. 2003. 158f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis.

NAKAMURA, Juliana. Envelope Transparente. **aU Arquitetura e Construção**. São Paulo, n.166, jan.2008. Disponível em <http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/166/artigo70733-1.asp>. Acesso em 26 de outubro de 2009.

\_\_\_\_\_. Projeto de fachadas. **Téchne**. São Paulo, v.12, n.92, p. 44-49, nov. 2004.

PARKIN, Stephen. Development of a contemporary classification for ventilated double-skin facades. In: Conference on Passive and Low Energy Architecture, 20<sup>o</sup>, 2003. Santiago do Chile. **Artigo técnico**. Chile – Santiago, 2003.

PIAZZA, Fabio. Norms for ventilated facades. **Materia Magazine of Architecture**. Italy, n. 31, p. 84-93, may/aug.2000.

REIG, Lúcia. Technical – economic study of facade materials and systems. Qualicer, 2006. **Artigo técnico**. Spain - Castellón, 2006.

ROCA Tile. **Ventilated Façades**. Spain. Disponível em [http://www.rocatile.com/architectural\\_products/index.html](http://www.rocatile.com/architectural_products/index.html). Acesso em 06 de novembro de 2008.

ROSSO, Silvana. Cortina de vidro. **Téchne**. São Paulo, n.122, p.42-50, mai.2007.

SACMI. **Catalogue Spider Clip System**. Italy. [2007?].

SANTOS, Luiz Carlos. Fachadas de alumínio: como alcançar um desempenho eficiente em alumínio. **Contramarco & Companhia**. São Paulo, n.55, p.28-37, set/out. 2005.

SENAI. **Fixação de mármore e granitos com “inserts” metálicos**. Porto Alegre, 1999.

SICOF. **Catalogue Spider Clip System**. Italy.[2007?].

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury Antunes de. **A Qualidade na execução de projetos de fachadas ventiladas**. 2003. Pesquisa – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: [http://amaurysiqueira.pcc.usp.br/Pesquisas\\_versao\\_atual.htm](http://amaurysiqueira.pcc.usp.br/Pesquisas_versao_atual.htm). Acesso em: 18 de outubro de 2008.

\_\_\_\_\_. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de gres porcelanato**. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SPIRITO, Parifur. II gres porcellanato come elemento di rivestimento di pareti ventilate. **Ceramic Informazione**. Italy, Speciale Cersaie, 1998, p. 31-33.

SYSTEM LAMINA. **Catalogue technical**. Italy. [2010?].

TERREAL Terracotta. **Technical catalogue**. France. [2008?].

TILE OF SPAIN. Efficient Exteriors from Tile of Spain: Ventilated Façades are Eco-friendly. **Tile Magazine**. USA, v.2, n.3, p. 52-55, may/jun.2005.

TILE OF SPAIN. Ventilated ceramic tile facades. **Cerapaña**. Spain, n.16, 2007, p. 03-09.

TIMOSHENKO, Stephen P. **Resistência dos materiais**. 3.ed, v.1. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico S.A, 1973, 451p.

VIDROS têm papel especial em fachadas. **O Vidroplano**. São Paulo, n. 143, p.32-38, mai. 2007.

WALSYWA. **Catálogo técnico de fixação mecânica**. Disponível em [http://www.walsywa.com.br/site/catalogos/fixacao\\_mecanica.pdf](http://www.walsywa.com.br/site/catalogos/fixacao_mecanica.pdf). Acesso em 27 de agosto de 2010.

## **ANEXOS**



# ANEXO A – Laudo técnico porcelanato de fina espessura por Eliane Revestimentos Cerâmicos.

Certificado Técnico		eliane																																
<b>Produto:</b> Laminam <b>Referência:</b> Laminam 300x100 <b>Usor:</b> LD <b>Totalidade:</b> V1 <b>Classe:</b> 6Kgm <sup>2</sup>		<b>Data:</b> Outubro/2009 <b>Classificação:</b> B1a <b>Tamanho de fabricação:</b> 1000x3000mm <b>Espessura:</b> 3,50mm <b>Edição:</b> 0007/01																																
<b>2. Características Dimensionais</b>																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Características Dimensionais</th> <th>ISO 13006 NBR 15463</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Variações dimensionais em relação a W (%)</td> <td>+ - 0,6</td> </tr> <tr> <td>Variações dimensionais em relação a média (%)</td> <td>+ - 0,1</td> </tr> <tr> <td>Variação de espessura (%)</td> <td>+ - 5</td> </tr> <tr> <td>Reduções nos bordos (%)</td> <td>+ - 0,1</td> </tr> <tr> <td>Conspicuidade (%)</td> <td>+ - 0,2</td> </tr> <tr> <td>Curvatura Central (%)</td> <td>-0,08/-0,1</td> </tr> <tr> <td>Curvatura Lateral (%)</td> <td>-0,08/-0,1</td> </tr> <tr> <td>Empenamento (%)</td> <td>-0,08/-0,1</td> </tr> </tbody> </table>		Características Dimensionais	ISO 13006 NBR 15463	Variações dimensionais em relação a W (%)	+ - 0,6	Variações dimensionais em relação a média (%)	+ - 0,1	Variação de espessura (%)	+ - 5	Reduções nos bordos (%)	+ - 0,1	Conspicuidade (%)	+ - 0,2	Curvatura Central (%)	-0,08/-0,1	Curvatura Lateral (%)	-0,08/-0,1	Empenamento (%)	-0,08/-0,1													
Características Dimensionais	ISO 13006 NBR 15463																																	
Variações dimensionais em relação a W (%)	+ - 0,6																																	
Variações dimensionais em relação a média (%)	+ - 0,1																																	
Variação de espessura (%)	+ - 5																																	
Reduções nos bordos (%)	+ - 0,1																																	
Conspicuidade (%)	+ - 0,2																																	
Curvatura Central (%)	-0,08/-0,1																																	
Curvatura Lateral (%)	-0,08/-0,1																																	
Empenamento (%)	-0,08/-0,1																																	
<p>** Para produtos polidos e acinifados (matte), mesmo que o resultado de Coeficiente de Atrito Dinâmico seja maior ou igual a 0,40, não recomendamos estes produtos para locais onde se deseja resistência ao escorregamento. Em casos específicos como este recomendamos pisos com COF classe II.</p> <p>A área ou qualquer outro material abrasivo podem provocar riscos em qualquer tipo de revestimento (pedra, madeira, vinyl ou porcelanato polido). Por este motivo, recomendamos utilizar porcelanato natural ou acinifado para entrada de locais de alto tráfego e locais de circulação preferencial.</p>																																		
<b>1. Propriedades Físicas</b>																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Propriedade</th> <th rowspan="2">Unidade</th> <th colspan="2">Exigido</th> <th rowspan="2">Encontrado</th> </tr> <tr> <th>ISO 13006 NBR 15463</th> <th>&lt;= 0,1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Absorção de água</td> <td>%</td> <td>&lt;= 0,1</td> <td>&lt;= 0,1</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistência à Flexão</td> <td>Mpa</td> <td>&gt;= 45</td> <td>50</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Resistência à Abrasão Profunda</td> <td>mm<sup>3</sup></td> <td>&lt;= 140</td> <td>124</td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Coeficiente de Atrito Dinâmico**</td> <td>Classe I</td> <td>&lt;= 0,40</td> <td>Classe I</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Classe II</td> <td>&gt;= 0,40</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Propriedade	Unidade	Exigido		Encontrado	ISO 13006 NBR 15463	<= 0,1	Absorção de água	%	<= 0,1	<= 0,1		Resistência à Flexão	Mpa	>= 45	50		Resistência à Abrasão Profunda	mm <sup>3</sup>	<= 140	124		Coeficiente de Atrito Dinâmico**	Classe I	<= 0,40	Classe I		Classe II	>= 0,40		
Propriedade	Unidade	Exigido				Encontrado																												
		ISO 13006 NBR 15463	<= 0,1																															
Absorção de água	%	<= 0,1	<= 0,1																															
Resistência à Flexão	Mpa	>= 45	50																															
Resistência à Abrasão Profunda	mm <sup>3</sup>	<= 140	124																															
Coeficiente de Atrito Dinâmico**	Classe I	<= 0,40	Classe I																															
	Classe II	>= 0,40																																
<b>3. Propriedades Químicas</b>																																		
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Propriedade</th> <th>Unidade</th> <th>ISO 13006 NBR 15463</th> <th>Encontrado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">Resistência à manchas</td> <td>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + óleo leve</td> <td rowspan="3">&gt; = Classe 3</td> <td rowspan="3">Classe 5</td> </tr> <tr> <td>Óleo de Oliva</td> </tr> <tr> <td>Solução alcoólica de póco 13g/l</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">Resistência ao Ataque Químico</td> <td>Cimento de Amônia 100g/l</td> <td rowspan="4">A Declarar</td> <td rowspan="4">UI/B</td> </tr> <tr> <td>Hipoclorito de sódio 20mg/l</td> </tr> <tr> <td>Ácido Clorídrico 3%</td> </tr> <tr> <td>Ácido Cítrico 100g/l</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Hidróxido de Potássio</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Propriedade	Unidade	ISO 13006 NBR 15463	Encontrado	Resistência à manchas	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + óleo leve	> = Classe 3	Classe 5	Óleo de Oliva	Solução alcoólica de póco 13g/l	Resistência ao Ataque Químico	Cimento de Amônia 100g/l	A Declarar	UI/B	Hipoclorito de sódio 20mg/l	Ácido Clorídrico 3%	Ácido Cítrico 100g/l		Hidróxido de Potássio												
Propriedade	Unidade	ISO 13006 NBR 15463	Encontrado																															
Resistência à manchas	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + óleo leve	> = Classe 3	Classe 5																															
	Óleo de Oliva																																	
	Solução alcoólica de póco 13g/l																																	
Resistência ao Ataque Químico	Cimento de Amônia 100g/l	A Declarar	UI/B																															
	Hipoclorito de sódio 20mg/l																																	
	Ácido Clorídrico 3%																																	
	Ácido Cítrico 100g/l																																	
	Hidróxido de Potássio																																	

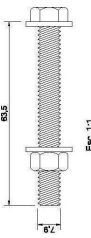
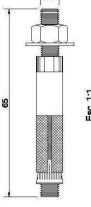
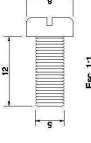

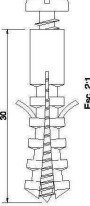

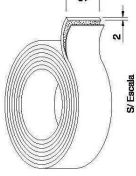
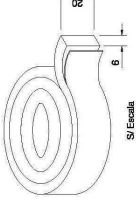
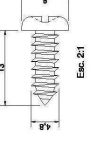
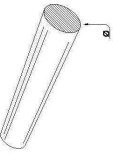












## ANEXO C – Mapa de acessórios da subestrutura auxiliar em alumínio.

<p><b>PHI. CSW 3/8" x 2 1/2"</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p><b>CBE-14065</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p><b>PAR-5013</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p><b>PAR-5013</b></p> <p>Parafuso Cabeça Cilíndrica M5 x 12 mm (Aço Inox)</p>  <p>Esc. 1:1</p>						
<p><b>BUC-S6</b></p>  <p>Esc. 2:1</p>	<p><b>AD-540S</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p><b>BMT-1YH3-3002-CZA</b></p>  <p>S/ Escala</p>	<p><b>BMT-ESP-2006-PEE</b></p>  <p>S/ Escala</p>						
<p><b>PAR-328</b></p>  <p>Esc. 2:1</p>	<p><b>Rebite de Repuxo em Alumínio</b></p> <table border="1" data-bbox="744 853 800 1021"> <thead> <tr> <th>Código</th> <th>Ø mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BMT-TPE-0008-CZA</td> <td>08</td> </tr> <tr> <td>BMT-TPE-0020-CZA</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Ø</p>	Código	Ø mm	BMT-TPE-0008-CZA	08	BMT-TPE-0020-CZA	20	<p>Fita VHB em Butil na Cor Cinza 30 x 2 mm Rolo de 20 mts</p> <p>NOTAS: 1 - TODAS AS MEDIDAS ESTÃO EM MILÍMETROS;</p>	<p>Calço em Polietileno cor preta pl Apoio do Vitrô</p>
Código	Ø mm								
BMT-TPE-0008-CZA	08								
BMT-TPE-0020-CZA	20								
<p><b>PAR-328</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p><b>Bucha-S6</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>								
<p><b>PAR-328</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p>Tanquel em Polietileno Expandido</p>								
<p><b>PAR-328</b></p>  <p>Esc. 1:1</p>	<p>Parafuso Cabeça Panela c/ Fenda Cruzada (Phillips) Auto Atarraxante - Aço Zincado</p>								



## ANEXO D – Propriedades técnicas do selante estrutural do tipo 560 da empresa 3M.

Propriedades	Série 500 – Produtos de Poliuretanos					
	525	535	540	550FC	551	560
Tempo de tack-free 23°C e 50% UR	90 – 150 minutos	60 – 90 minutos	60 – 90 minutos	50 – 90 minutos	2 – 3 horas	50 – 60 minutos
Velocidade de cura 23°C e 50% UR	3 mm por 24 h	3 mm por 24 h	3 mm por 24 h	4 mm por 24 h	4 mm por 24 h	4 mm por 24 h
Dureza Shore A (ASTM C661)	25	40	40	45	45	55
Tensão á Ruptura (ASTM D412)	400 psi (2,6MPa)	300 psi (2,1MPa)	300 psi (2,1MPa)	450 psi (3,1MPa)	450 psi (3,1MPa)	580 psi (4MPa)
Alongamento a ruptura (ASTM D412)	>600%	>600%	>600%	>600%	>600%	>300%
Módulo 100% (ASTM D412)	44psi (0,3MPa)	58 psi (0,4MPa)	58 psi (0,4MPa)	87 psi (0,6MPa)	87 psi (0,6MPa)	145 psi (1,0MPa)
Temperatura de Serviço	-30°C a 80°C	-40°C a 90°C	-40°C a 90°C	-40°C a 90°C	-40°C a 90°C	-40°C a 90°C
Densidade específica	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17	1,17
Consistência	Pasta média	Pasta média	Pasta média	Pasta média	Pasta média	Pasta média
Conteúdo de VOC	35,1 g/l	53,7 g/l	53,7 g/l	32,0 g/l	36,5 g/l	56,0 g/l

Deformação (ISO 7390)	Isenta
Temperatura de Aplicação	5°C a 35°C
Resistência á diluição em ácidos e base	Média
Resistência ao UV	Boa
Resistência á Água e a Névoa Salina	Excelente
Compatibilidade com tintas	Base de água: Sim Base Solvente: testar antes do uso
Cobertura aproximada (cartucho de 310 ml)	3mm de cordão = 38 metros lineares