



ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL E URBANA

Amaury Antunes de Siqueira Júnior

TECNOLOGIA DE FACHADA-CORTINA COM PLACAS DE GRÊS PORCELANATO

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do Título de Mestre em Engenharia

Área de Concentração:

Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador:

Prof. Dr. Jonas Silvestre Medeiros

São Paulo
2003

FICHA CATALOGRÁFICA

Siqueira Junior, Amaury Antunes de
Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês
porcelanato / Amaury Antunes de Siqueira Junior. -- São Paulo,
2003. Edição Revisada.
199p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Revestimento de fachadas I.Universidade de São Paulo.
Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção
Civil II.t.

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com anuência de seu orientador.

São Paulo, 05 de março de 2003.

AMAURY ANTUNES DE SIQUEIRA JÚNIOR
Autor

PROF. DR. JONAS SILVESTRE MEDEIROS
Orientador

À Rosângela, Antonio, Natália e Livia e aos meus avós Braga, Quinzinho e Oscarlina (in memorian) e Ceminha.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Jonas Silvestre Medeiros, pela orientação e incentivo na elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Fernando Henrique Sabbatini, engenheiro e pesquisador de visão ímpar, pelo apoio e auxílio decisivo no direcionamento e conclusão deste trabalho.

À Profa. Dra. Mércia Maria S. Bottura de Barros, que mesmo com seu tempo constantemente escasso, muito colaborou com este trabalho, através de suas críticas pertinentes.

Ao Prof. Dr. Francisco Ferreira Cardoso, pela oportunidade e confiança e à Profa. Dra. Sílvia Maria de Souza Selmo, pela atenção e préstimos oferecidos.

Ao Prof. Dr. Silvio Burrattino Melhado, sempre disposto e aberto à colaboração.

Aos colegas da pós-graduação e professores do Departamento de Engenharia de Construção Civil, pela colaboração e auxílio constantes. Em especial aos engos. Maurício Marques Resende e Max Junginger, pelo espírito voluntarioso e disposta colaboração.

Aos funcionários do laboratório: Reginaldo, Renata, Sr. João e Dorval, que dedicam-se de coração ao auxílio de todos os pesquisadores usuários dos equipamentos e instalações que encontram-se sob suas responsabilidades.

Dedico especial agradecimento à Sra Fernanda Castanheira, diretora comercial da Alubond, aos engos. Fábio Spinela e Stefan Kichler Neto da GMM – Tecnologia em Fixação de Rochas, ao eng. Miguel A. Portela Moreno, da Método Engenharia e aos Srs. Veloso e Adriano Moredo da Rochas Moredo SA.

RESUMO

O trabalho apresenta o estado-da-arte das fachadas-cortina executadas com placas de grês porcelanato, discutindo os principais parâmetros para a elaboração de projetos e produção desta tipologia de revestimentos.

Acredita-se ser este um dos primeiros trabalhos acadêmicos elaborados no Brasil sobre o assunto, pretendendo-se contribuir quando da implantação desse sistema no país.

Procura-se estabelecer os principais conceitos e definições sobre as fachadas-cortina e fachadas ventiladas, objetivando fundamentar a utilização desses termos que vêm sendo empregados sem precisão pelo meio técnico brasileiro.

São abordadas as principais características e propriedades dos componentes, elementos construtivos e dispositivos empregados, como também os principais requisitos a serem considerados quando da elaboração do projeto.

São destacadas as vantagens relativas desta tecnologia construtiva quando comparada aos revestimentos tradicionais aderidos, ressaltando-se sua importância como alternativa e potencialidades quando comercializado como um *sistema de produção*.

ABSTRACT

This report approaches the state-of-art of the porcelain tiles curtain wall. Both design and installations methods are discussed, including main features and properties of the components, elements and devices necessary. Main requirements considered to the design process are also take into consideration.

It is believed that this study is one of the first academic studies developed in Brazil concerning this theme, and it is intended to contribute to the implementation of this system in the country.

It aims at establishing the main concepts and the definitions on the curtain walls and ventilated facades. The prime objective is to base the correct use of these terms, since they have been used without accuracy by the Brazilian technicians. main features and properties of the components, elements and devices necessary. Main requirements considered to the design process are also take into consideration.

Several advantages concerning this type of cladding are emphasized when compared with traditional coverings, standing out the importance of the method as an interesting technology alternative.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos e estrutura do trabalho	7

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS COM REVESTIMENTO NÃO ADERIDO	10
2.1 A fachada do edifício	15
2.2 Classificação das vedações verticais	15
2.4 Fachada-cortina	18

2.5 Classificação e caracterização das fachadas-cortina	21
2.5.1 Segundo o processo de fabricação e montagem	22
2.5.2 Segundo os dispositivos de fixação	23
2.5.4 Segundo o material empregado como revestimento	26
2.5.4.1 Fachada-cortina com placas de alumínio composto	26
2.5.4.1 Fachada ventilada com dupla pele-de-vidro (Double-skin wall)	27
2.5.4.3 Fachada-cortina com placas pétreas	30
2.5.4.4 Fachada-cortina com placas cerâmicas	33
2.6 Fachada-cortina com placas de grês porcelanato	35
2.7 Vantagens técnicas e comerciais	39
2.7.1 Situações de aplicação	41
2.7.2 Vantagens comerciais	43

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO	47
3.1 A base suporte de fixação	57
3.1.1 Parede de alvenaria	57
3.1.2 Movimentos estruturais	59
3.1.3 Expansão e contração térmica	62
3.2 Isolante térmico	63

3.3 A Câmara de ar (Cavity)	67
3.3.1 Fachada-cortina com a câmara de ar estanque	67
3.3.2 Fachada-cortina com a câmara de ar ventilada (fachada ventilada)	68
3.4 Segurança ao fogo	72
3.5 A escolha das placas de grês porcelanato	74
3.6 Paginação e coordenação modular	76
3.7 O projeto da fachada-cortina com placas de grês porcelanato	78
3.7.1 As juntas entre componentes	82
3.7.2 Tipos de juntas	82
3.7.2.1 Juntas abertas	82
3.7.2.2 Juntas fechadas	87
3.7.3 Dimensionamento da subestrutura de suporte	88
3.7.4 Detalhamento dos projetos gerais da subestrutura suporte	92
3.7.4.1 Sistemas com acoplamento visível	93
3.7.4.2 Sistemas com acoplamento oculto	95
3.7.4.3 Materiais comumente utilizados na subestrutura auxiliar	98
3.7.5 Dispositivos de fixação	105
3.7.5.1 Dispositivos de fixação por adesão química	105
3.7.5.2 Dispositivos de fixação mecânica	107
3.7.6 Interação entre a esquadria, o revestimento e a base	108

CAPÍTULO 4

MONTAGEM E CONTROLE	113
4.1 Elaboração do reprojeto	114
4.2 Instalações e equipamentos necessários	118
4.3 Transporte, manuseio, armazenagem e distribuição das peças	122
4.4 Dimensionamento da equipe de produção	124
4.5 Condições para o início da montagem	126
4.6 Montagem	127
4.6.1 Desenho da trama estrutural	128
4.6.2 Instalação das ancoragens	130
4.6.3 Instalação do isolante térmico	132
4.6.4 Instalação dos perfis	133
4.6.5 Preparo das placas e instalação das fixações	134
4.6.6 Instalação das placas cerâmicas	136
4.7 Controle	138
4.7.1 Controle de Qualidade de Execução	139
4.7.3 Controle de Qualidade de Aceitação	142

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS	144
ANEXO A – Dimensionamento da subestrutura auxiliar	149
ANEXO B – Escolha dos chumbadores	164
ANEXO C – Cálculo do efeito chaminé e dimensionamento da câmara de ar (<i>cavity</i>)	174
ANEXO D - Ensaios	178
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	189

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1-(a)-Fachada-cortina revestida com placas cerâmicas assentadas em painéis compósitos de 120 x 120 cm.	5
Figura 1-2- (a) fachada-cortina com subestrutura auxiliar mista (madeira e alumínio) revestida com placas sintéticas de resina poliéster reforçadas com fibra de vidro, com acabamento em grãos de pedra projetados	6
Figura 2-1- Casa Postal Econômica de Viena (1904-1912) – Projeto de Otto Wagner (PATÓN, 1995).	11
Figura 2-2-Seção transversal de uma “cavity wall” em alvenaria.	12
Figura 2-3- Esquema de equalização de pressões do vento, devido ao efeito da rain-screen wall (ROSSEAU, 1990)	14
Figura 2-4-Comparação entre o modelo teórico (A) e o que ocorre na prática (B) (ROUSSEAU, 1990).	15
Figura 2-5-Fachada-cortina montada na obra (CEUSA; LEME, 2002)	22
Figura 2-6-Fachada cortina pré-fabricada (TECTÓNICA, 1997)	23
Figura 2-7-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato com acoplamento visível (MARAZZI, 1997)	24
Figura 2-8-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato com acoplamento oculto (MARAZZI, 1997)	24

Figura 2-9-Detalhe da fixação de placas pétreas com o uso de ancoragens pontuais ou diretas encaixadas em perfurações executadas nas bordas laterais das placas (TECTÓNICA, 1997).	25
Figura 2-10-Placas pétreas fixadas com o auxílio de uma subestrutura auxiliar (TECTÓNICA, 1997)	25
Figura 2-11- Aspecto das camadas da placa de Alumínio Composto (BOND DO BRASIL, 2000)	27
Figura 2-12-Edifício Plaza Centenário- São Paulo	27
Figura 2-13-Edifício Sanomatalo com fachada com dupla-pele-de-vidro - Helsinque (UUTTU, 2001)	28
Figura 2-14-Cortina externa com vidro simples e fachada principal com vidro duplo separadas pela câmara de ar (cavity), (UUTTU, 2001)	29
Figura 2-15-Fachada-cortina com a utilização de revestimento em litocerâmica (SHILDAN USA INC , 2002)	34
Figura 2-16-Sistema de acoplamento visível (MIRAGE ENGINEERING, s.d.)	37
Figura 2-17-Sistema de fixação não visível (MIRAGE ENGINEERING, s.d.)	38
Figura 2-18-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato em edifício de múltiplos pavimentos (MARAZZI, 1997)	41
Figura 2-19-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato empregada como sistema integrado com placas de gesso acartonado (MÄNTYLÄ, 2002)	42
Figura 3-1-Corte transversal indicando os componentes da fachada ventilada com placas de grês porcelanato. (GRANITI FIANDRE, s.d.)	48

Figura 3-2-Fluxograma para a elaboração de projeto de FCGP	54
Figura 3-3-Deformações a que o revestimento não aderido está sujeito, (ALLEN, 1990)	60
Figura 3-4-Distorções dos painéis de fachada-cortina (ALLEN, 1990).	63
Figura 3-5-A implantação do isolante térmico do lado quente da parede facilita a condensação (a), enquanto que, a implantação do isolante do lado frio dificulta a condensação no interior da parede (b)	66
Figura 3-6- Isolamento térmico (manta de fibra de vidro) em fachada ventilada (MARAZZI, 1997)	67
Figura 3-7- Eficiência da câmara de ar em função da espessura. (CROSET, 1970)	68
Figura 3-8-Esquema de funcionamento da câmara de ar (CSTB, 2000)	69
Figura 3-9-Componente que permite a entrada do ar na câmara ventilada (MARAZZI, 1997)	70
Figura 3-10-Seção transversal de uma fachada ventilada mostrando a abertura que permite a saída do ar do interior da câmara ventilada (GRANITI FIANDRE, s.d.)	70
Figura 3-11-Vedação ventilada interrompida a cada pavimento. (CSTB, 2000)	73
Figura 3-12-Exemplo de modulação de placas de grês porcelanato utilizadas como revestimentos de fachada-cortina	78

Figura 3-13- Porcentagem de água que incide na parede do edifício no caso de juntas abertas (8mm) em placas de 600x600mm (MARAZZI, 1997).	84
Figura 3-14- (a) e (b) juntas com inclinação. Quando mal construídas podem levar a água para o interior do sistema.	85
Figura 3-15 - Penetração da água pelo efeito de "momento" (respingo) (UAF, 2000)	85
Figura 3-16- Penetração de água causadas por diferença de pressão devido a juntas estreitas (UAF, 2000)	86
Figura 3-17- Penetração de água devido à má impermeabilização da lâmina interna (UAF, 2000)	87
Figura 3-18- Gráfico das isopletras da velocidade básica do vento; "vo" em m/s no Brasil – NBR 10821	89
Figura 3-19- Fachada-cortina com placas de grês porcelanato (FCGP) com sistema de fixações das placas visíveis (GRANITI FIANDRE, s.d.)	95
Figura 3-20- (A) Seção do sistema (chumbador de expansão e gancho metálico)	96
Figura 3-21- Sistema de componentes com fixação oculta (FISCHER, 1999)	97
Figura 3-22- Detalhe dos componentes do sistema de fachada-cortina da Fischer	98
Figura 3-23- Corrosão por par galvânico	103
Figura 3-24- Possibilidades de fixação utilizando-se ancoragens químicas (HILTI, 2002)	106

Figura 3-25- Alguns tipos de chumbadores existentes no mercado	107
Figura 3-26-Detalhe dos componentes de arremate do vão para a implantação de caixilho	109
Figura 3-27-Implantação de caixilho no plano do revestimento (BUILDNET, 2002)	109
Figura 3-28-Fechamento do entorno da abertura com placas de grês porcelanato (MARAZZI, 1997)	111
Figura 3-29-Fechamento do vão executado com o mesmo material da esquadria. (MARAZZI, 1997)	112
Figura 4-1- Detalhe de ancoragem "U" (CEUSA; LEME, 2002)	117
Figura 4-2-Utilização de "calços" para acerto do prumo e planicidade das fachadas	117
Figura 4-3-Montagem de fachada-cortina com placas de grês porcelanato com a utilização de andaime fachadeiro (MARAZZI, 1997)	121
Figura 4-4-Balancim elétrico leve com movimento de translação horizontal	122
Figura 4-5 - Arames de prumo usados como referência para o posicionamento dos montantes	129
Figura 4-6- Marcação do posicionamento das ancoragens (CEUSA; LEME, 2002)	130
Figura 4-7-Fixação da ancoragem ao substrato (CEUSA; LEME, 2002)	131
Figura 4-8-Fixação do montante à ancoragem (CEUSA; LEME, 2002)	132
Figura 4-9- Instalação do isolante térmico (GRANITI FIANDRE, s.d.)	132

Figura 4-10 -Fixação dos montantes às ancoragens móveis e posicionamento das guias (GRANITI FIANDRE, s.d.)	133
Figura 4-11- Posicionamento e fixação das guias sobre os montantes (GRANITI FIANDRE, s.d.)	134
Figura 4-12-(A) Execução de furo cilíndrico no tardo de placa	134
Figura 4-13-Equipamento para a execução de furos cilindro-cônicos em placas de grês porcelanato (FISCHER, 1999)	135
Figura 4-14-Instalação de ganchos no tardo de placa (GRANITI FIANDRE, s.d.)	136
Figura 4-15-Instalação de placa em revestimento com acoplamento visível (MARAZZI, 1997)	137
Figura 4-16- Fixação e ajuste do prumo da placa cerâmica	138
Figura A-1-Linha elástica de uma viga bi apoiada submetida a uma força P	152
Figura A-2- Seção de FCGP com acoplamento visível	154
Figura A-3-Seção transversal do perfil em relação ao plano do carregamento. A flambagem lateral ocorre apenas na condição (A)	156
Figura A-4- Curva de dimensionamento	156
Figura A-5- Seção de FCGP com acoplamento oculto	157
Figura A-6- Conexões rebitadas (A) Junta por superposição; (B) junta de topo	160
Figura A-7- Ruptura das partes conectadas	162
Figura A-8 - Número de planos de corte do rebite	163

Figura A-9 - Ruptura e esmagamento da placa	163
Figura B-1- Bucha de náilon de expansão (A) e chumbador mecânico (B) (TECTÓNICA, 1995)	165
Figura B-2- Causas das falhas de fixação (SENKIW e LANCELOT III, 1991).	171
Figura B-3- Tipos típicos de falha de chumbadores por expansão submetidos à tração (SENKIW e LANCELOT III, 1991).	171
Figura B-4- Penetração efetiva para chumbadores por expansão (BS 8298, 1994).	172
Figura D- 1 - Câmara para ensaio de fachadas-cortina pertencente à AFEAL.	180
Figura D- 2- Componente de Ensaio (Opção 1)	184
Figura D- 3- Componente de Ensaio (Opção 2)	185
Figura D- 4- Aparelho para impacto de corpos (ASTM E 1886-97)	188

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1-Sistema de produto e sistema de produção de fachada-cortina com placas de grês porcelanato, adaptado de Sabbatini (2002)	45
Tabela 3-1-Requisitos de desempenho de FCGP, adaptado de (SILVA, 1998)	50
Tabela 3-2-Grau de confiabilidade do substrato para seu emprego como base de ancoragens para revestimentos não aderidos (SORIANO, 1999)	59
Tabela 3-3-Fatores dos elementos do sistema que se deve ter em consideração (SORIANO, 1999)	91
Tabela 3-4-Composição química dos aços inoxidáveis austeníticos tipos ABNT 304 e ABNT 316, % máxima. (TEBECHERANI, 2002).	104
Tabela 3-5-Recomendações para a prevenção de corrosão por par galvânico (BS 8298, 1994)	104
Tabela 5-1Preço em US\$ (convertido a razão de US\$ 1.00 a R\$ 2,70) do m ² de sistemas de fachada comercializados em São Paulo / SP de acordo com levantamento realizado por Siqueira Jr (2001)	145
Tabela A-1- Fator topográfico de correção (NBR 6123, 1988)	151
Tabela A-2- Fator de correção: rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do terreno (NBR 6123, 1988)	151

Tabela A-3 - Propriedades mecânicas do alumínio série 6000 – Adaptado de (ALCOA s.d.)	159
Tabela A-4 - Designação de equivalência entre normas e ligas comerciais do alumínio série 6000. Adaptado de (ALCOA, s.d.)	160
Tabela B-1 - Espaçamentos entre chumbadores e distância das arestas recomendada – para fixações sujeitas a forças cortantes (SENKIW e LANCELOT, 1991).	166
Tabela B-2 - Espaçamentos entre chumbadores e distância das arestas recomendados – para fixações sujeitas a tração (P) (SENKIW and LANCELOT, 1991).	167
Tabela B-3 - Fatores de redução (SENKIW e LANCELOT, 1991)	168
Tabela B-4 - Propriedades mecânicas mínimas dos aços inoxidáveis austeníticos série 300 (BS 8298, 1994)	169
Tabela B-5 - Propriedades mecânicas dos aços dos chumbadores de aço inoxidável austenítico (BS 8298, 1994)	169
Tabela B-6 - Tensão de trabalho para chumbadores em perfuração desobstruída (BS 8298, 1994)	170

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A fachada é um dos elementos básicos para a valorização do edifício. Suas funções assumem um papel mais amplo pelo fato desta, juntamente com a cobertura, constituírem o invólucro da edificação e, portanto, serem as responsáveis pela manutenção das condições ambientais internas como: o conforto termo-acústico, a insolação e a manutenção dos níveis de segurança e privacidade dos usuários.

Estando exposta aos diversos agentes climáticos, a fachada é bastante solicitada por movimentos de contração e dilatação provenientes de ações higrotérmicas que atuam principalmente em seu revestimento.

Selmo (1989) explica que independentemente da natureza do material, os agentes atuantes sobre as superfícies externas dos edifícios são: forças e cargas de impacto; fogo; ar e gases; umidade; poeira; animais; plantas e microorganismos; temperatura ambiente; radiação; luz e vibrações. Essa autora ressalta que “os principais agentes de degradação dos revestimentos são aqueles relacionados com a agressividade do clima, devendo-se salientar que a degradação dos agentes climáticos combinados produz efeito muito maior do que se fossem considerados atuando isoladamente”. A autora cita uma pesquisa realizada pelo *“Technical Committee on Mortars*

and Renderings, 13-MR", da RILEM em 1972, que identificou entre outras vinte e quatro, as seguintes como sendo as principais causas que podem afetar o comportamento dos revestimentos externos:

- movimentações higroscópicas do revestimento;
- movimentações térmicas do revestimento;
- movimentações higroscópicas da base;
- movimentações térmicas da base;
- incidência de chuvas e ventos sobre as superfícies.

Selmo (1989) acrescenta ainda que as manifestações patológicas dos revestimentos são freqüentes e até mesmo de incidência crescente.

Em levantamento realizado para a elaboração de sua tese de doutorado, Campante (2001), por exemplo, constatou que apenas 17,6% dos edifícios construídos na Grande São Paulo tiveram suas fachadas revestidas com placas cerâmicas, porcentagem esta, que vem diminuindo em função dos crescentes problemas observados nesta tipologia de revestimento.

Esses fatos, aliados ao constante desenvolvimento tecnológico, fizeram com que o setor optasse pela adoção de novos métodos, processos e sistemas construtivos buscando a industrialização da construção de edifícios brasileiros.

Na última década, observou-se uma procura bastante intensa pela racionalização dos processos construtivos tradicionais, além da adoção de novas tecnologias, na maioria das vezes, trazidas pela indústria de componentes e incorporadas ao setor sem que se tenha o completo domínio tecnológico sobre o que se está produzindo.

Essa afirmação pode ser verificada pela maneira como as indústrias de componentes cerâmicos nacionais vêm procurando incorporar a tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato. Pelo fato de serem fabricantes de componentes e não estarem inseridas de maneira sistêmica no processo de produção de edifícios, essas empresas tratam o sistema

construtivo como “*hardware*”¹, algumas procurando a importação de “soluções prontas”, deixando em segundo plano as questões relativas a adaptação de tais sistemas (principalmente quanto à gestão), à realidade das obras brasileiras, por entenderem caber esta responsabilidade aos construtores, eximindo-se assim, de responsabilidades quanto a garantia de desempenho de seus produtos aplicados.

Outras indústrias de componentes cerâmicos, buscam o desenvolvimento interno de sistemas de fachadas-cortina sem a participação efetiva de profissionais especializados no desenvolvimento de tecnologia e gestão na produção de edifícios, fato este que vem acarretando em soluções construtivas mal resolvidas.

O cenário aqui exposto, mostra como continuam atuais as afirmações de Sabbatini (1989), quando argumenta que “a importação de tecnologias neste campo, implantadas sem prévia adequação às condições locais, bem como a utilização de processos construtivos criados do dia para a noite, desenvolvidos sem metodologias adequadas, sem estarem baseados em conhecimentos científico-tecnológicos, são procedimentos inconseqüentes e freqüentemente prejudiciais para a própria evolução do setor. São procedimentos que, pela experiência pregressa do país, não têm propiciado incrementos significativos na produtividade do setor, nem otimizado o uso dos recursos existentes, nem elevado o nível de produção. Não tem também propiciado ganhos em qualidade para a atividade da construção de edifícios e menos ainda contribuído para o país consolidar e dominar as atividades de geração tecnológica na área”.

¹ Neste trabalho entender-se-á por “*hardware*” aos componentes necessários para a produção do sistema e por “*software*” à gestão de produção. Mais adiante, no capítulo 2, estes termos serão trocados pelas definições adotadas por Sabbatini (1989), quando da elaboração de sua Tese, que define o “*hardware*” como *Sistema de Produto* e a junção do “*hardware*” com o “*software*” mais a garantia como *Sistema de Produção*.

Por outro lado observa-se atualmente uma tendência dos projetistas, no sentido de especificar novos materiais e tecnologias construtivas no que diz respeito às vedações e revestimentos de fachadas, procurando incorporar uma maior valorização estética ao empreendimento, incrementar a produtividade e reduzir a incidência de manifestações patológicas devido à sua forma de fixação, que reduz a complexidade decorrente da interação entre as diversas camadas do revestimento.

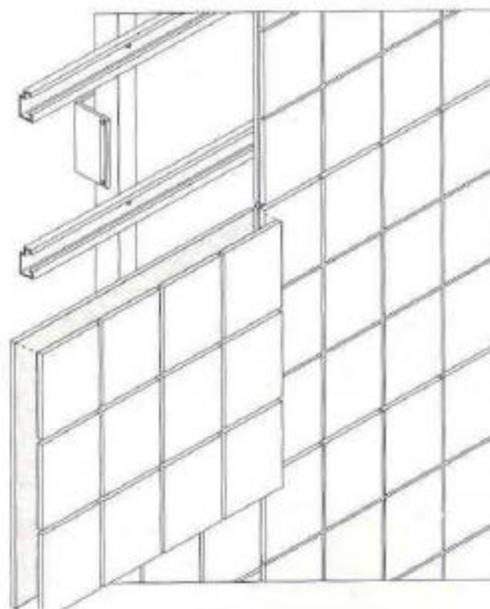
Embora ainda não ocorra assim no Brasil, há no exterior uma variedade surpreendente de tipologias de sistema de fachadas-cortina dificultando sua seleção adequada com base em aspectos subjetivos e pouco precisos.

Essa grande variedade de sistemas construtivos de fachadas-cortina existentes no mercado, acaba causando, por inúmeras vezes, uma indecisão por parte dos projetistas e construtores na avaliação do sistema ideal para uma determinada aplicação.

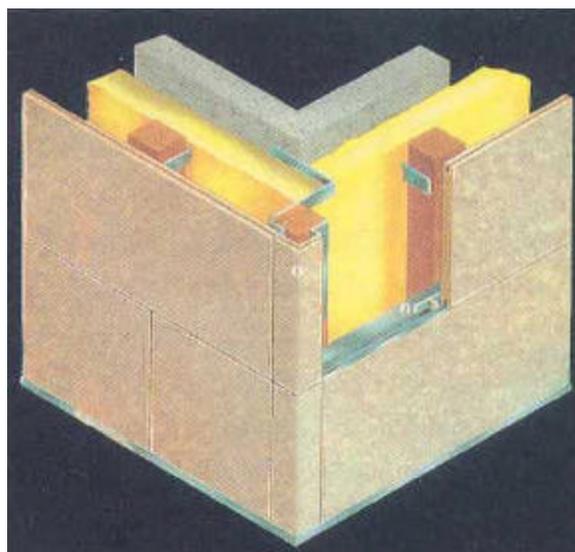
Para se fundamentar essa afirmação, basta uma consulta à revista espanhola *Tectónica*, que em sua segunda edição cataloga uma série de sistemas construtivos de fachadas-cortina, utilizando desde subestruturas auxiliares de madeira a subestruturas de aço inoxidável, revestidos com os mais diversos materiais. Alguns exemplos de fachadas-cortina catalogadas pela *Tectónica* podem ser observados na Figura 1-1 e na Figura 1-2.

Dentre outros, os principais fatores que devem ser levados em consideração quando da opção por um determinado sistema de fachada-cortina, são seus aspectos de comercialização, garantia de desempenho, flexibilização e durabilidade.

Sabbatini (2000) afirma que “uma escolha técnica de um subsistema construtivo, para um dado projeto, é um processo analítico, que deve ser conduzido por um método bem definido”.

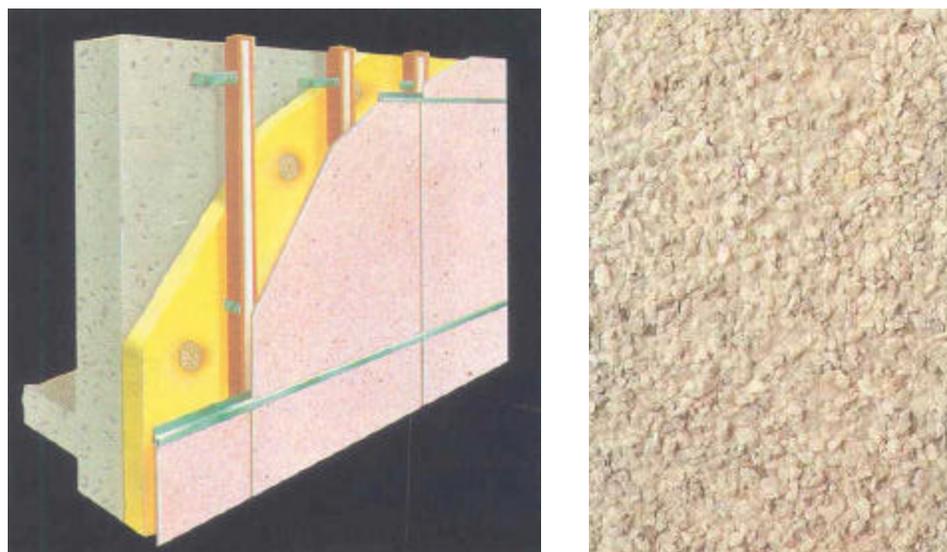


(a)

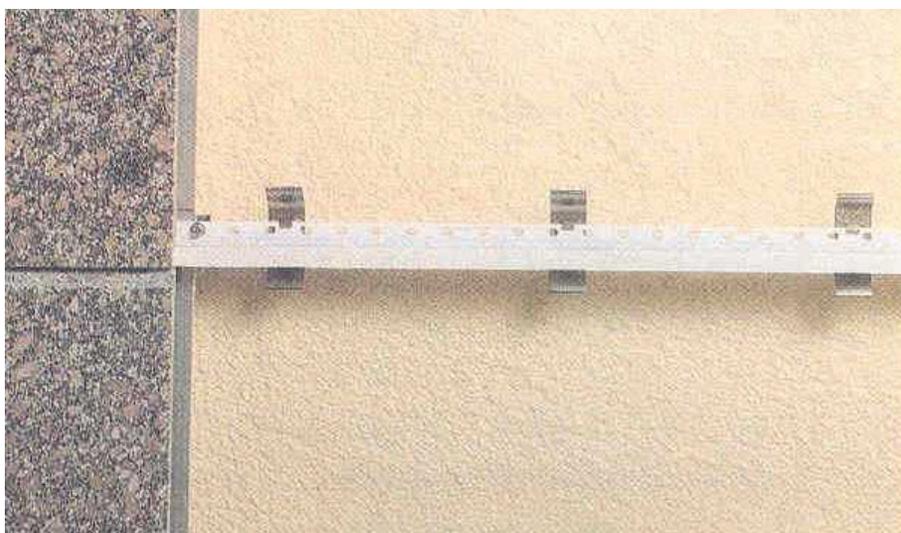


(b)

**Figura 1-1-(a)-Fachada-cortina revestida com placas cerâmicas assentadas em painéis compostos de 120 x 120 cm.
(b) Fachada-cortina com subestrutura auxiliar mista (madeira e alumínio) revestida com placas compostas por pó de mármore e resina poliéster.**



(a)



(b)

Figura 1-2- (a) fachada-cortina com subestrutura auxiliar mista (madeira e alumínio) revestida com placas sintéticas de resina poliéster reforçadas com fibra de vidro, com acabamento em grãos de pedra projetados (b) Fachada-cortina revestida com placas pétreas, com sistema de ancoragem baseado em perfis horizontais de alumínio fixados diretamente às ancoragens

Para esse autor, um método adequado para se estabelecer essa escolha, implica em:

- i- identificar todos os condicionantes a serem considerados, inclusive identificando o(s) condicionante(s) (por exemplo: custo inicial; prazo de execução; valorização estética, etc.);
- ii- identificar as tipologias de vedações potencialmente adequadas (utilizando como critério os condicionantes preponderantes);
- iii- ponderar cada um dos condicionantes, definindo pesos relativos para eles;
- iv- estabelecer as exigências, no projeto em questão, em relação aos condicionantes que foram identificados, definindo os limites e as restrições específicas;
- v- parametrizar cada uma das tipologias em relação aos condicionantes que foram identificados, definindo os limites e as restrições específicas;
- vi- parametrizar cada uma das tipologias em relação aos condicionantes, estabelecendo “conceitos” para elas, relativos ao atendimento das exigências;
- vii- e finalmente, estabelecer a vedação a ser utilizada no projeto considerando as análises feitas em iii, iv e v. Essa escolha deve ter um enfoque sistêmico e pode ser feita através de um ferramental apropriado.

Inserido neste contexto e acreditando na potencialidade do emprego destes sistemas no Brasil, o presente trabalho apresenta as principais diretrizes para o desenvolvimento do projeto e produção de fachadas-cortina com placas de grês porcelanato², procurando demonstrar que sua implantação deve ser acompanhada necessariamente da adequação necessária à realidade das obras brasileiras, devendo-se desenvolver uma metodologia de gestão e

² Para maior facilidade, tratar-se-á daqui em diante do termo “Fachada -cortina com Placas de Grês Porcelanato”, pela abreviatura de FCGP.

controle do processo de produção, definição dos aspectos de comercialização e garantia de desempenho.

1.2 OBJETIVOS E ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho tem por objetivo o estabelecimento do estado-da-arte do sistema de fachada-cortina executada com placas de grês porcelanato e sugerir uma conduta para a elaboração de projetos e os parâmetros para a produção deste revestimento.

Não serão abordados os conceitos relacionados a *projeto para produção* do sistema de fachada-cortina com placas de grês porcelanato **como um todo**, em virtude de entender-se este como um tema específico para a complementação deste trabalho devido à sua complexidade e extensão.

Para se estabelecer os conceitos de fachada-cortina e fachada ventilada; estudar-se-á de forma específica as propriedades das fachadas com revestimentos não aderidos, os fatores que influenciam em seu desempenho, o critério de estabilidade e os materiais empregados na produção do sistema. Faz-se ainda a proposição de uma metodologia para a implantação do processo de projeto e discute-se a gestão do processo de produção e critérios de procedimentos de controle que devem ser observados.

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos, incluindo-se esta introdução, contando ainda com quatro anexos.

O capítulo 2 caracteriza o subsistema fachada-cortina como um revestimento não aderido, abordando rapidamente os principais materiais de revestimento atualmente empregados nos diversos sistemas de fachadas com revestimentos não aderidos. É proposta uma definição para os sistemas de fachada-cortina e fachada ventilada para então discutir-se seu campo de aplicação e as vantagens potenciais técnico-comerciais que o sistema oferece.

O capítulo 3 enfoca as principais considerações de projeto que devem ser adotadas pelo projetista do edifício, para em seguida abordar o projeto da fachada-cortina com placas de grês porcelanato propriamente dito.

Os capítulos 4 e 5 tratam, respectivamente, da gestão do processo de produção da FCGP e das considerações finais.

Os anexos A, B, C e D tratam respectivamente do dimensionamento da subestrutura auxiliar da fachada-cortina; dos aspectos que se deve levar em consideração quando da escolha dos chumbadores; do cálculo do efeito chaminé e dimensionamento da câmara de ar (*cavity*) e dos ensaios a que deve ser submetido um sistema de Fachada-cortina com placas de grês porcelanato.

CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS COM REVESTIMENTO NÃO ADERIDO

A fachada com revestimento não aderido e juntas abertas pode ser entendida como a evolução da técnica construtiva introduzida por Otto Wagner, associada ao conceito de paredes duplas (*cavity wall*) e fachada-cortina com juntas abertas (*rain-screen wall*).

Há um século, Otto Wagner, professor da Academia de Bellas Artes de Viena, introduziu uma nova técnica construtiva, ao haver distinguido o conceito entre estrutura e envolvente, que nasceu da necessidade de conter gastos e tempo de execução de obra (PATÓN, 1995).

Wagner intuía, que seria possível utilizar-se placas de pequena espessura de materiais mais nobres para compor o revestimento externo do edifício. A fixação dessas placas se daria através da ancoragem com insertos de bronze (rosetas). Desta forma, ele pretendia diminuir a quantidade de pedra a ser aplicada à fachada para uma quinta ou sexta parte daquela que seria necessária para o uso no sistema tradicional; reduzindo ainda, a quantidade de elementos construtivos e possibilitando o emprego de materiais mais nobres através de meios mais econômicos.

Patón (1995) esclarece que em 1902, no projeto do *Kaiser Franz Josef Stadtmuseum*, aparecem pela primeira vez, placas de granito e mármore,

ancoradas com fixações metálicas. Tal conceito seria aplicado posteriormente na execução das fachadas da Igreja de São Leopoldo "am Steinhoff", construída entre 1905 e 1909, utilizando-se placas de mármore com 2 cm de espessura, fixadas em apenas um ponto através de ancoragens de cobre, e atadas por tiras horizontais da mesma pedra, com o dobro da espessura, fixadas em dois pontos.



Figura 2-1- Casa Postal Econômica de Viena (1904-1912) – Projeto de Otto Wagner (PATÓN, 1995).

Na verdade, pode-se considerar esta técnica como a predecessora das novas tecnologias de revestimentos não aderidos de fachadas que foram desenvolvidas através do século vinte.

De acordo com Eiras (1995), a primeira publicação sobre o *cavity wall* foi feita pelo *Builder Journal* em 1898. Este conceito foi introduzido às construções de alvenaria para o controle da temperatura e redução da umidade na superfície das paredes internas. Para controlar a entrada de água de chuva

por capilaridade, uma câmara de ar com espessura entre 50 e 75mm foi introduzida entre a parede interna e a externa da alvenaria. Assim, a água que penetrava pela parede externa passava a não ter um meio físico como passagem para chegar à parede interna. A água então, escorria pela superfície interna da camada exterior sendo coletada por drenos.

O conceito de *cavity wall* é baseado no controle de algumas das forças que atuam sobre o paramento externo das edificações, tais como: gravidade, tensão superficial e a capilaridade.

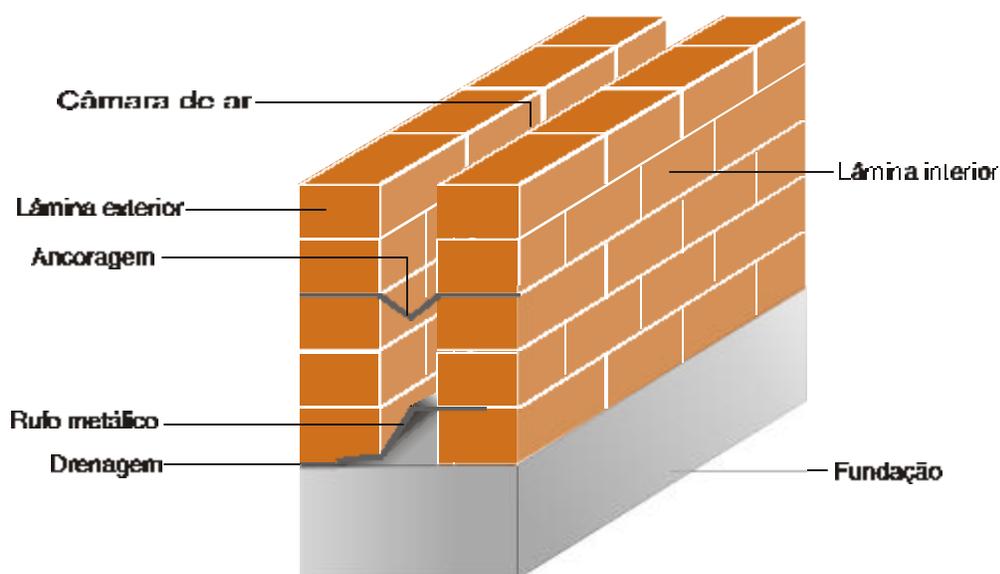


Figura 2-2-Seção transversal de uma "cavity wall" em alvenaria.

Nesta solução, a parede exterior é praticamente independente da interior, e a envolve totalmente, até a altura que seja admitida por sua capacidade estrutural ou resistente (efeito de flambagem). A união entre ambas as paredes é realizada pela implantação de componentes metálicos, que não impedem a movimentação diferencial entre elas, devido à diferença de temperatura e umidade a que estão submetidos os materiais constituintes da lâmina interior e da lâmina exterior.

Neste caso incluindo-se também, o comportamento dos próprios materiais constituintes, que fazem com que as diferentes camadas da vedação sofram

movimentações bastante distintas, estando o ponto de maior conflito no local onde as camadas interna e externa se encontram: o espaço entre as paredes.

As *cavity walls* apresentavam dificuldades para a implantação em edificações altas, visto que para garantir a estabilidade da envolvente, era necessário apoiá-la sobre a estrutura da edificação ou ancorá-la à lâmina interna.

“A primeira solução levava a estrutura à fachada, interrompendo a necessária separação entre os paramentos, provocando de imediato o aparecimento de manifestações indesejáveis como as pontes térmicas e a condensação assim que se aumentavam as condições de conforto no interior das edificações, restringindo também, os movimentos da envolvente aos limites dos movimentos da estrutura. A segunda solução, obriga a uma dependência dos dois paramentos quanto aos movimentos térmicos distintos que se manifestam com maior intensidade na câmara, onde os caixilhos e os insertos unem ambos os paramentos. Nesse caso, porém, esta situação podia ser contornada com a ventilação da câmara e a implantação de um isolante térmico no interior desta, conseguindo-se assim, que o calor do interior da câmara fosse removido por convecção, uma remoção mais rápida da água que por ventura adentrasse à câmara de ar interna, ao mesmo tempo em que se protegia o isolamento dos efeitos dos raios solares” (EIRAS, 1995).

A diferença básica entre a *cavity wall* e a *rain-screen wall* está na equalização das pressões na cavidade localizada entre lâmina interior e a lâmina exterior que é buscada pela segunda tipologia de construção.

O princípio vinculado a *rain-screen* é o controle de todas as forças geradas pela câmara de drenagem da parede, mais a diferença da pressão do ar que atua atrás do revestimento, quando solicitado pela ação do vento. Para Rousseau (1990), uma *rain-screen wall* deve ser projetada e construída

obedecendo à premissa básica que é o controle de todas as forças que podem ser induzidas à fachada pela chuva.

Rousseau explica que durante uma tempestade, a infiltração do ar através dos poros do revestimento, juntas e fissuras, é um grande veículo para a penetração da água. O princípio da *rain-screen* é conhecer este potencial deletério e conseguir o controle da diferença de pressão do ar atrás do revestimento externo da fachada, procurando anular a pressão que o vento exerce sobre o revestimento transferindo-se esta para o interior da câmara, conforme a Figura 2-3. Ainda segundo esse autor, “para se obter uma resposta rápida da câmara no sentido de se equalizar as pressões, o fluxo de ar na câmara deve ser mínimo”, fato que não ocorre numa fachada projetada como ventilada.

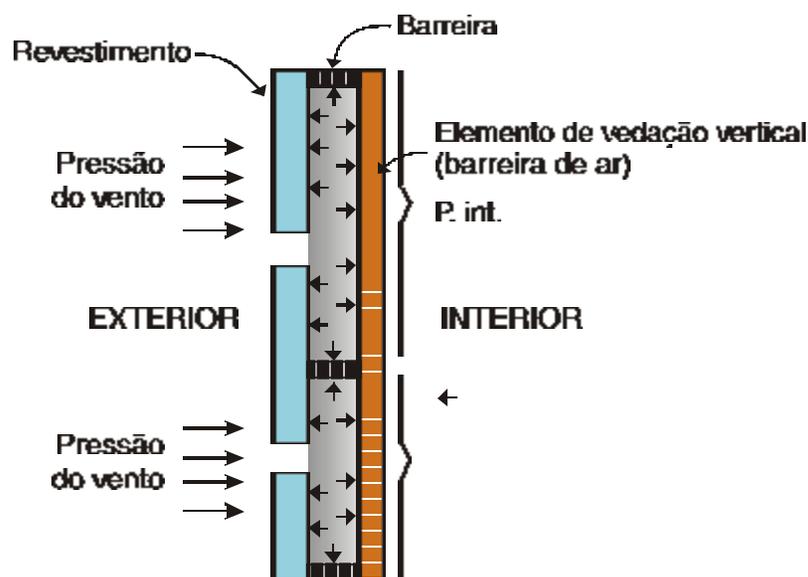


Figura 2-3- Esquema de equalização de pressões do vento, devido ao efeito da rain-screen wall (ROSSEAU, 1990)

Portanto, a averiguação deste fenômeno para o caso de fachadas ventiladas deve ser feita através da construção de modelos para serem ensaiados em câmaras especiais. A Figura 2-4 mostra o modelo teórico para o conceito de *rain-screen wall* e o que acontece na prática.

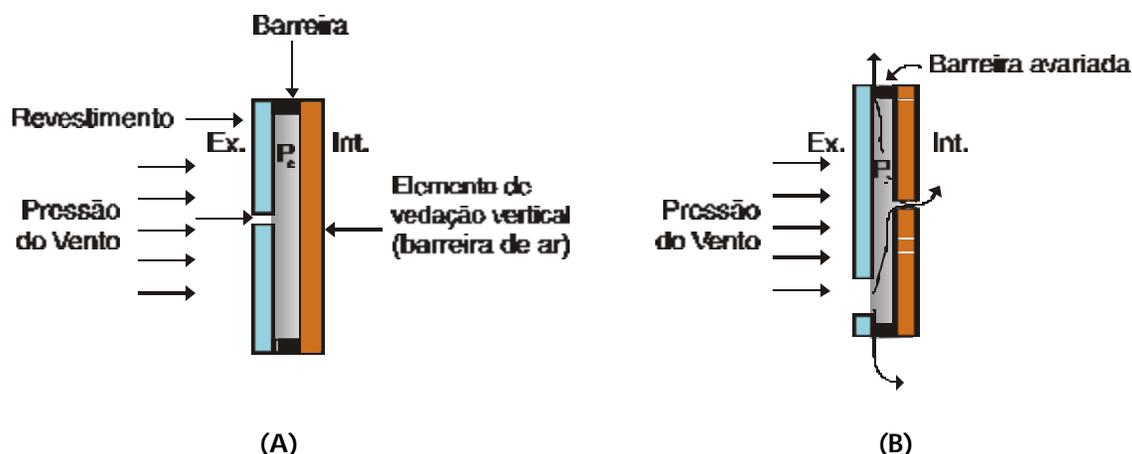


Figura 2-4-Comparação entre o modelo teórico (A) e o que ocorre na prática (B) (ROUSSEAU, 1990).

2.1 A FACHADA DO EDIFÍCIO

O envelope do edifício, composto pelo elemento de vedação vertical, pelas esquadrias e revestimentos, tem como função principal estabelecer uma barreira entre o espaço interior e o exterior, separando duas diferentes condições climáticas e higrotérmicas; e mais, define a paisagem arquitetônica e o cenário urbano. Por todas estas razões, pode-se dizer que “o invólucro das edificações é um espaço físico, mas também um espaço utilizado para a elaboração de projetos experimentais e para a realização de pesquisas formais” (FRANCO e MAGRINI, 1999).

2.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VEDAÇÕES VERTICAIS

No entender de Sabbatini e Franco (1997), a vedação é “o subsistema do edifício, constituído por elementos que definem, limitam e compartilham os ambientes internos, controlando a ação dos agentes atuantes”.

Os autores afirmam também que o invólucro das edificações deve apresentar os seguintes requisitos funcionais: resistência mecânica, estanqueidade à água, conforto acústico, desempenho estrutural, controle de iluminação, padrões estéticos, segurança ao fogo e durabilidade.

Estas podem ser classificadas de inúmeras maneiras, de acordo com os critérios que mais interessem para a sua caracterização.

Para a elaboração deste trabalho, interessa principalmente a classificação das vedações quanto a sua posição, quanto a técnica de execução, quanto a sua densidade e forma de fixação à base.

Segundo a sua posição no edifício a vedação vertical pode ser classificada em externa e interna. Define-se como externa, as vedações envoltórias, ou seja, aquelas que conformam as fachadas do edifício, cuja uma das faces encontra-se sempre em contato com o meio ambiente exterior. Já as internas são entendidas como aquelas que compartimentam os ambientes internos do edifício.

Quanto à técnica de execução, Sabbatini e Franco (1997) classificam as vedações verticais em: por conformação, por acoplamento úmido e por acoplamento a seco.

Entende-se como vedação por conformação aquelas executadas a partir da conformação a úmido no local de sua implantação, pela utilização de materiais plásticos obtidos pela adição de água.

As vedações por acoplamento úmido são aquelas pré-moldadas cuja solidarização final se dá com o auxílio de argamassa ou concreto.

As vedações obtidas por montagem executadas com o auxílio de dispositivos mecânicos (subestruturas, insertos metálicos, parafusos, rebites, entre outros), são classificadas como executadas por acoplamento a seco.

Quanto à estruturação, a vedação pode ser classificada em estruturada e não estruturada. Chama-se de estruturada a vedação que se auto-sustenta,

não tendo necessidade de utilizar uma subestrutura auxiliar complementar. Já a vedação não estruturada é entendida como aquela que necessita de uma subestrutura auxiliar reticular para dar suporte aos componentes da vedação.

A classificação segundo a densidade superficial, pode ser extraída da NBR 11685 (1990), que entende por leves, às vedações cuja densidade superficial é menor ou igual a 100 Kgf/m² e como pesadas, aquelas cuja densidade superficial é superior a este limite.

Segundo Sabbatini (2000), são exemplos de vedação em painéis pesados, as vedações modulares obtidas por acoplamento de placas pré-moldadas de grande massa, como por exemplo, os painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para fachada.

Como exemplo de vedações leves e estruturadas, pode-se citar as divisórias leves de gesso acartonado, além das vedações executadas com esquadrias e telhas, entre outras.

2.3 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Os revestimentos verticais aqui estudados (chamados de *cladding* em inglês) são parte integrante da vedação externa da edificação, podendo ser constituídos de quaisquer materiais duráveis, como os painéis de alumínio composto ou aço inoxidável, placas pétreas e cerâmicas e até alvenaria de tijolos – as chamadas *cavity wall*.

Estes revestimentos têm como principal função proteger as vedações e a estrutura contra a ação de agentes agressivos, evitando a degradação precoce das mesmas, aumentando sua durabilidade e reduzindo os custos de manutenção dos edifícios. Os revestimentos auxiliam ainda a vedação a cumprir suas funções, quais sejam: isolamento térmico e acústico, estanqueidade à água e aos gases, bem como na segurança ao fogo.

É também função dos revestimentos contribuir com a valorização estética da edificação, auxiliando, portanto, na determinação do padrão arquitetônico do edifício.

A classificação dos revestimentos utilizados nas fachadas dos edifícios pode ser feita de diversas maneiras. Entre outras, pode-se classificá-los de acordo com o processo construtivo ou pela forma como eles são fixados ao veda das fachadas.

Medeiros (1999) afirma serem os revestimentos tradicionalmente utilizados na indústria da construção civil brasileira, aqueles que trabalham completamente aderidos à base ou substrato e, por isso, denominados genericamente de aderidos, como os revestimentos de argamassa de cimento e cerâmicos, por exemplo.

Os revestimentos não aderidos, objetos deste trabalho, são aqueles fixados à base ou substrato com o auxílio de componentes mecânicos, sejam estes compostos por uma subestrutura auxiliar ou por insertos, parafusos, entre outros tipos de dispositivos.

2.4 FACHADA-CORTINA

Tanto no meio técnico brasileiro como entre as indústrias fabricantes de componentes e as empresas montadoras de fachadas não aderidas, existe uma falta de entendimento na utilização dos termos **“fachada-cortina e fachada ventilada”**.

Pelo fato de a normalização brasileira sobre fachada-cortina estar inserida na norma de janelas (NBR 10821 – Caixilho para edificação – janela), o meio técnico restringiu a utilização da expressão “fachada-cortina” para fachadas de vidro, ou pele-de-vidro, (em inglês, *glazed curtain-wall*), utilizando o termo fachada ventilada para as fachadas cujas juntas entre componentes são deixadas abertas e omitindo as demais tipologias de revestimentos não aderidos destas classificações, como é o caso das fachadas revestidas com

alumínio composto, placas pétreas, placas cerâmicas, entre outras. Procurar-se-á aqui, conceituar estes sistemas, com o intuito de se consolidar estas terminologias.

Encontramos em Hunt Jr (1958), o que o autor afirma ser a primeira definição para o termo, proposta pelo *Porcelain Enamel Institute*, segundo o qual fachada-cortina pode ser entendida como "*uma parede exterior não aderida e suportada pelo edifício em qualquer pavimento por uma armação estrutural*".

Allen (1990) afirma que o primeiro arranha-céu executado com estrutura de aço, o edifício *Home Insurance Building*, construído em Chicago no ano de 1883, introduziu o conceito de fachada-cortina, sendo neste caso um revestimento exterior, executado em alvenaria, apoiada na fundação do edifício. Ainda segundo Allen, o termo fachada-cortina (*curtain wall* em inglês) deriva do fato da envolvente ser esbelta e possuir um "caimento" semelhante a uma cortina que encobre a estrutura do edifício.

Para a ASTM E 631 (1993), fachada-cortina é entendida como sendo "*uma parede exterior não aderida, segura e suportada por membros estruturais do edifício*".

A fachada cortina propriamente dita é definida pela normalização brasileira através da TB 354 (1989) como: "*caixilhos interligados e estruturados com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura da fachada da edificação, sem interrupção por pelo menos dois pavimentos*".

Nota-se que, nenhuma literatura restringe a terminologia fachada-cortina à utilização de um determinado material como revestimento ou vedação, estando a terminologia associada única e exclusivamente ao seu posicionamento e sua vinculação em relação à envoltória ou à estrutura da edificação.

Portanto, no contexto do presente trabalho, adotar-se-á o termo *fachada-cortina* para designar:

um sistema formado por placas ou painéis fixados externamente à base suporte do edifício por uma subestrutura auxiliar constituindo-se no revestimento externo ou na vedação vertical exterior de uma edificação.

A câmara de ar da fachada-cortina (*cavity* em inglês), pode ser projetada de forma a ser estanque ou ventilada. Sendo a responsável pelo desempenho higrotérmico da vedação, promovendo a interrupção da capilaridade e formando um espaço livre para a drenagem por gravidade.

Quando projetada para ter sua cavidade permanentemente ventilada, a fachada cortina auxilia também na remoção da umidade devido ao constante fluxo de ar.

Quanto às definições estabelecidas para as fachadas ventiladas, em artigo publicado pela revista *Téchne*, Kiss (1999) afirma que, o **sistema de fachadas ventiladas** "*caracteriza-se pela existência de um espaço intersticial entre a camada de revestimento e a parede que é permanentemente ventilada no sentido vertical pelo chamado efeito chaminé (convecção)*". Kiss comenta que o conceito mais aceito atualmente foi o estabelecido em 1990 pela norma italiana³ que define fachada ventilada como 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*".

³ O autor não faz citação da fonte da norma italiana

O autor afirma ainda, que uma das primeiras definições de fachada ventilada pode ser encontrada no texto *Directives Communes pour l'Agrement des Façades Légères*, de 1968, do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), que a denomina como sendo a fachada que *"se comunica com o exterior através de orifícios que possibilitem uma ventilação permanente de baixo para cima"*.

Com base nas discussões apresentadas, pode-se afirmar que toda fachada ventilada é uma fachada-cortina (independentemente do material utilizado como revestimento), caracterizada pela presença de dispositivos que permitam a convecção do ar aquecido (pelo "efeito chaminé") para fora do sistema.

Neste trabalho, o termo fachada ventilada será usado para denominar:

uma fachada-cortina dimensionada de tal forma a permitir a remoção do ar aquecido no interior da câmara pelo chamado efeito chaminé.

Quanto ao conceito de juntas abertas entre os componentes do revestimento, este é advindo do *"rain-screen wall"*, já comentado, que procura a equalização das pressões externas ao revestimento e internas à câmara de ar, devida à ação do vento, muito utilizado nas fachadas-cortina com placas cerâmicas ou pétreas.

2.5 CLASSIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS FACHADAS-CORTINA

Para caracterizar bem as diversas tipologias de fachadas-cortina é importante procurar inicialmente classificá-las.

Portanto, buscar-se-á a seguir, classificar as fachadas-cortina segundo critérios que permitam estabelecer as características do objeto deste trabalho, ou seja, a fachada-cortina com placas de grês porcelanato.

2.5.1 Segundo o processo de fabricação e montagem

Allen (1990) classifica as fachadas-cortina segundo seu processo de produção em: montadas na obra e pré-fabricadas.

Para Allen fachadas-cortina montadas na obra são aquelas construídas no canteiro de obras que utilizam como suporte geralmente uma subestrutura auxiliar, uma parede, ou uma fixação leve de aço, conforme pode ser observado na Figura 2-5. O sistema em subestrutura de aço é o mais comumente utilizado; podendo ser estruturado em perfis verticais e guias horizontais.

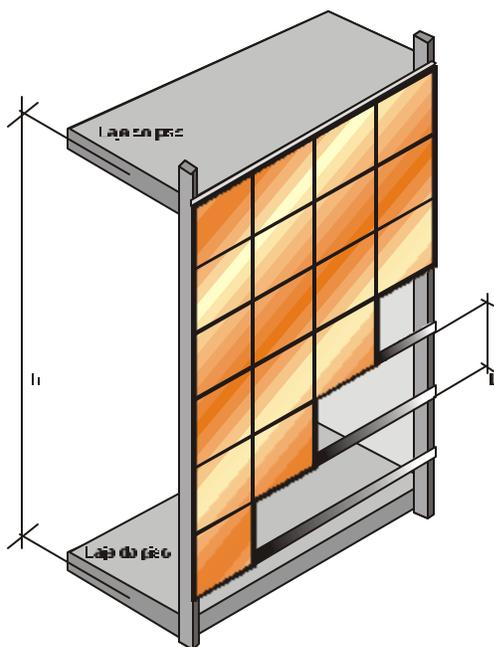


Figura 2-5-Fachada-cortina montada na obra (CEUSA; LEME, 2002)

Já as fachadas pré-fabricadas, observadas na Figura 2-6, também chamadas de fachadas modulares, são caracterizadas por Allen como aquelas construídas em fábricas e transportadas para o local de sua aplicação já prontas, onde são içadas com o auxílio de equipamentos especiais e presas à estrutura do edifício, inicialmente por meio de ancoragens rápidas, que

permitem posterior ajuste do prumo e planicidade dos painéis. Estes são então, fixados ao edifício por intermédio de solda ou parafusos.

As fachadas pré-fabricadas, podem ainda ser classificadas em grupos, de acordo com o processo de fabricação e o tempo necessário para sua instalação no edifício.



Figura 2-6-Fachada cortina pré-fabricada (TECTÓNICA, 1997)

2.5.2 Segundo os dispositivos de fixação

As fachadas-cortina podem ser classificadas quanto aos dispositivos utilizados para a fixação das placas de revestimento ou quanto aos dispositivos empregados para ancorar a fachada ao edifício.

Chama-se de fachada fixada por acoplamento visível, as fachadas em que os cliques utilizados para prender as placas de revestimento ficam expostos, conforme observa-se na Figura 2-7.

Na fachada com acoplamento oculto, os dispositivos de fixação das placas não ficam expostos no revestimento acabado, sendo inseridos geralmente no tardo da placa, conforme se observa na Figura 2-8, ou em sua borda, quando esta tiver espessura suficiente para tanto.

Quanto aos dispositivos utilizados para fixar a fachada ao edifício, pode-se classificá-la em fixada por ancoragens pontuais ou diretas, quando estas utilizam apenas insertos metálicos para ancorar as placas diretamente à base de fixação (Figura 2-9) ou fixada com o auxílio de uma subestrutura auxiliar, quando a fixação das placas ao edifício se dá com o auxílio de uma subestrutura auxiliar de suporte, conforme observa-se na Figura 2-10.

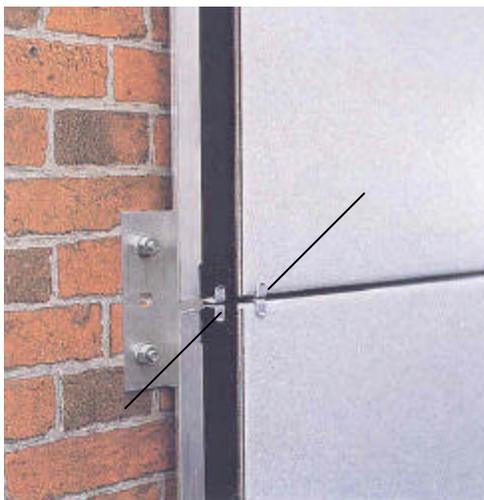


Figura 2-7-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato com acoplamento visível (MARAZZI, 1997)

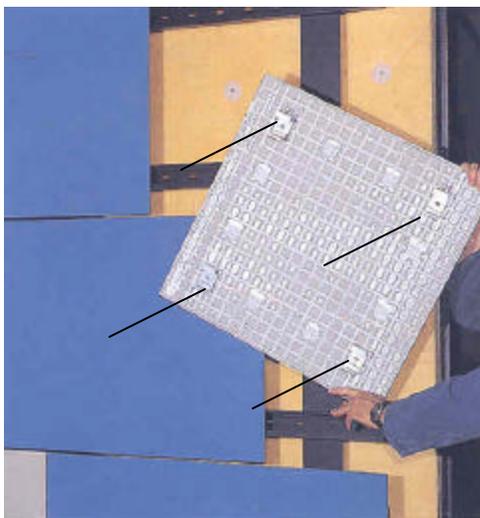


Figura 2-8-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato com acoplamento oculto (MARAZZI, 1997)

As subestruturas auxiliares são utilizadas geralmente nas fachadas-cortina em Alumínio Composto (ACM), nas fachadas de vidro e nas fachadas que utilizam como revestimento as placas cerâmicas.

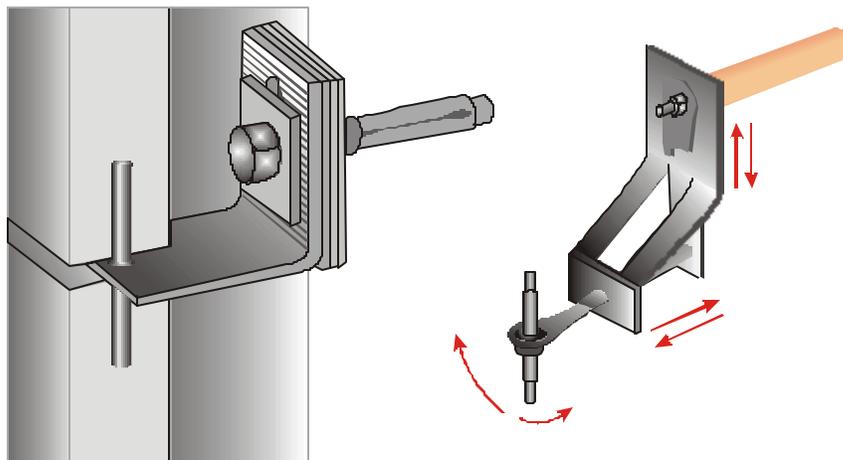


Figura 2-9-Detalhe da fixação de placas pétreas com o uso de ancoragens pontuais ou diretas encaixadas em perfurações executadas nas bordas laterais das placas (TECTÓNICA, 1997).



Figura 2-10-Placas pétreas fixadas com o auxílio de uma subestrutura auxiliar (TECTÓNICA, 1997)

2.5.4 Segundo o material empregado como revestimento

Outra forma de classificação das fachadas-cortina é segundo o material utilizado para compor o seu revestimento. Esta classificação é a que mais interessa em virtude do sistema que se propõe estudar. Este trabalho deve focar o sistema definido por Allen como fachadas *montadas na obra*, que dentro dessa classificação diferenciam-se uns dos outros, não apenas pelas diversas tipologias de subestruturas, mas principalmente pelo material constituinte de seu revestimento.

A seguir serão apresentados os sistemas atualmente mais utilizados na indústria da construção civil no exterior: revestimento com placas de alumínio composto; fachada com dupla-pele-de-vidro "*double-skin wall*"⁴ revestimento com placas pétreas e revestimento com placas cerâmicas.

2.5.4.1 Fachada-cortina com placas de alumínio composto

O *Aluminium Composite Material* (ACM) é obtido através da laminação do alumínio em duas chapas sob tensão controlada com um núcleo de polietileno de baixa densidade (BOND DO BRASIL, 2000).

A placa é coberta por uma camada de pintura aplicada por rolos eletrostáticos, podendo ser inseridas camadas com os mais variados acabamentos, indo desde o poliéster até o PDVF de elevada resistência que consiste em uma pintura de processo contínuo baseado em polivinilideno fluorado.

As placas de alumínio composto fabricadas no Brasil podem ser encontradas com espessuras de 3, 4, 5, 6 e 8mm.

⁴ "*Double-skin wall*" : sistema de fachada de vidro amplamente utilizada em edifícios europeus, porém, no Brasil, não se tem notícia da sua utilização em obras executadas com fachada em pele-de-vidro.

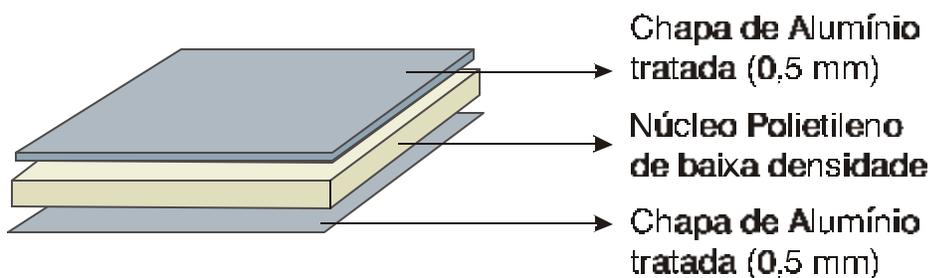


Figura 2-11- Aspecto das camadas da placa de Alumínio Composto (BOND DO BRASIL, 2000)



Figura 2-12-Edifício Plaza Centenário- São Paulo

2.5.4.2 Fachada ventilada com dupla pele-de-vidro (Double-skin wall)

Devido às suas inúmeras qualidades, como a transmissão de luz e transparência, o vidro é um material indispensável para a arquitetura moderna.

A crise energética da década de 70 obrigou a indústria da construção civil a desenvolver novos produtos mais eficientes energeticamente, como é o caso dos vidros fotossensíveis e fotocromáticos, e das novas películas refletivas ou seletivas (Low-e), entre outras. Várias dessas tecnologias ajudaram na

redução do consumo de energia em edifício com grandes áreas envidraçadas.



Figura 2-13-Edifício Sanomatalo com fachada com dupla-pele-de-vidro - Helsinque (UUTTU, 2001)

Uuttu (2001) comenta que é com este conceito que as fachadas de vidro inteligentes vêm sendo usadas com bastante frequência na Europa. As vantagens na utilização da fachada com dupla-pele-de-vidro são: o equilíbrio entre o desejo pela luz natural e a visão para o espaço exterior e as preocupações com o ganho ou perda de calor.

Uma fachada com dupla-pele-de-vidro é caracterizada pela existência de uma camada de vidro simples e uma camada de vidro duplo, separadas por uma câmara de ar.

Uma persiana pode ser instalada no interior da câmara com o intuito de se minimizar os ganhos de radiação solar. A instalação dos vidros pode ser realizada de várias formas, por exemplo: no *Commerzbank*, edifício comercial com sessenta pavimentos, localizado em Frankfurt, a camada externa é

formada por um pano de vidro fixo simples, enquanto que a interna é formada por um pano de vidros duplos operáveis.

Entre essas duas camadas de vidro há uma câmara de ar com 17,5cm com persianas; já o *Occidental Chemical Center*, edifício de escritórios com nove pavimentos, possui a camada externa composta por vidros verdes isolantes duplos e a camada interna formada por vidro simples, separadas por uma câmara de ar com 130cm de espessura, com persianas horizontais motorizadas.



Figura 2-14-Cortina externa com vidro simples e fachada principal com vidro duplo separadas pela câmara de ar (cavity), (UUTTU, 2001)

De acordo com Uuttu (2001), a "fachada com dupla-pele-de-vidro é essencialmente um par de peles de vidro separadas por um corredor (também chamado cavity, câmara ou espaço intermediário) com espessura variando de 20cm a alguns metros".

Para o *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment - CSTB* (2000), a *double-skin facade* "é formada por painéis de vidros (duplos ou simples) separados

por um espaço de ar ventilado, dotado de aberturas inferiores e superiores para a ventilação. A esta podem ser instaladas persianas internas, externas ou incorporadas”.

Uttu (2001) argumenta que “a pele de vidro pode cobrir toda a estrutura do edifício ou parte dela. A principal camada de vidro, usualmente isolante, pode ser parte de uma parede convencional ou de uma fachada-cortina. Estas superfícies formam um espaço de ar entre elas.

Ainda segundo Uttu (2001), a “*double-skin facade*” oferece várias vantagens indiretas. A câmara de ar é conectada com o ar exterior, assim, as janelas da fachada interior podem ser abertas, mesmo no caso de edifícios altos, sujeitos a grandes pressões do vento. Isso possibilita a ventilação natural, propiciando também, o resfriamento do edifício à noite. No inverno, a cavidade reduz a perda de calor e possibilita ganhos térmicos passivos devido à radiação solar.

Quando corretamente projetada, a fachada com vidros duplos, apresenta as seguintes características: isolamento térmico, proteção contra o superaquecimento, conforto térmico, visual e isolamento acústico. **Porém, o projeto correto requer conhecimentos arquitetônicos e construtivos de um grande número de elementos e fatores cujas interações são muito complexas** (FAIST, 1998, grifos do autor).

2.5.4.3 Fachada-cortina com placas pétreas

De todos os materiais de revestimento disponíveis, o menos industrializado, porém o mais utilizado, é a pedra. Quando há utilização deste material, fica explícito que eventuais reparos terão custos elevadíssimos. (SORIANO, 1999)

Com o intuito de distinguir os revestimentos de placas pétreas aderidas à fachada pela técnica tradicional dos revestimentos pétreos fixados à base através de insertos metálicos, Flain (1995), trata estes últimos de maneira simplificada como “revestimento modular racionalizado”.

A autora justifica o uso desta expressão, argumentando que a racionalização do processo se dá devido à forma de sua execução, que separa as várias etapas de construção (regularização da base da fixação das placas com insertos metálicos), e ao fato dos dispositivos metálicos serem construídos fora do canteiro, além da quantidade e fixação destes serem previamente definidas em projeto.

Atendo-se à fixação das placas, Soriano (1999), afirma serem inúmeras as reclamações judiciais decorrentes de patologias neste tipo de fachada, em especial pelo fato dos arquitetos optarem pela utilização de ancoragens ocultas, abandonando a ancoragem passante (que atravessa a placa de pedra) sem avaliarem convenientemente o resultado desta opção.

Na indústria da construção civil brasileira, verifica-se a fixação dos revestimentos em placas pétreas quase que exclusivamente por ancoragens pontuais ou diretas encaixadas através de perfurações executadas nas bordas laterais das placas, conforme ilustrado na Figura 2-9, que eliminam quase que por completo a subestrutura auxiliar de suporte, mantendo-se esta apenas onde não há a presença do elemento de vedação vertical externo.

Tal condição diminui em muito o custo do sistema de revestimentos não aderidos; porém, aumenta significativamente a quantidade de fixações ancoradas diretamente ao elemento de vedação (parede), contribuindo conseqüentemente, para a possibilidade da ocorrência de colapso nas fixações, provocando a necessidade de um controle muito mais rigoroso quanto à resistência ao arrancamento dessas peças, além de provocar diminuição significativa da produtividade e facilitar a adoção de improvisações.

Soriano (1999) comenta que a norma UNE 41957-1 preocupa-se de modo especial com o sistema de fixação de placas pétreas através da execução de encaixes nas laterais da peça; técnica esta, utilizada com maior freqüência que qualquer outra quando da execução desse sistema.

A norma procura prevenir o risco de congelamento e descongelamento da água depositada nestas fendas, nos climas frios que provocam o surgimento de tensões pontuais no contato entre aço e pedra, impondo a necessidade da utilização de uma “luva” de náilon ou material de características similares que evitem o contato direto entre estes materiais.

Para Avellaneda (1995), boa parte dos materiais pétreos utilizados na execução de fachadas sofre um comportamento característico frente às precipitações, absorvendo rapidamente a água por capilaridade e eliminando-a, ao contrário, de maneira muito lenta através da evaporação.

A retenção da água nos poros da pedra pode afetar sua durabilidade de duas maneiras: as baixas temperaturas provocam o congelamento da água acumulada nos capilares, provocando a ruptura dos mesmos e acarretando a desagregação da pedra; além disso, a água dissolve as substâncias constituintes da pedra, transformando-as em sais que quando carreados para a superfície, cristalizam-se, dando origem às manchas por eflorescência.

A BS 8298 (1994) deixa claro que a possibilidade de mudanças na textura e cor das pedras expostas às condições atmosféricas deve ser considerada na etapa de projeto ou na etapa da seleção do material para o revestimento. As possíveis mudanças na coloração dos materiais utilizados para as juntas também devem ser consideradas.

Ainda segundo a BS 8298 (1994), este fator é influenciado pela aparência e localização do edifício, pelo projeto do revestimento da fachada, particularmente em relação ao escoamento de águas pluviais, pelo grau de poluição atmosférica e pelas ações devidas ao efeito de congelamento.

Já a NBR 13707 (1996) ressalta que além dos aspectos estéticos, os projetistas devem considerar:

- as características petrográficas que eventualmente possam influir na durabilidade da rocha, tais como estado microfissural, presença de materiais deletérios e alterados;

-
- as propriedades mecânicas e físicas da rocha;
 - a porosidade e a absorção de água;
 - a viabilidade de a rocha ser submetida aos processos de beneficiamento necessários à obtenção dos aspectos desejados (superfície polida, serrada, apicoada, flameada, etc.);
 - as alterações na aparência a que as placas estarão sujeitas.

Segundo Soriano, a UNE 41957-1, recomenda que os orifícios nos cantos das placas pétreas sejam executados em marmorarias e nunca em obra, evitando-se assim, sérios problemas relacionados à excentricidade e ao diâmetro excessivo dos furos que pode prejudicar a resistência da parede da placa. O autor deixa claro ainda, que esta norma proíbe o uso deste tipo de fixação em placas com espessura inferior a 30mm.

2.5.4.4 Fachada-cortina com placas cerâmicas

As placas cerâmicas de grandes dimensões têm se tornado bastante competitivas quando comparadas aos demais materiais utilizados para a execução de fachadas não aderidas. As dimensões mais utilizadas para esta tipologia de fachada variam de 300 x 600mm a 600 x 1200mm, sendo estas fixadas ao edifício através da utilização de subestruturas auxiliares.

As características mais importantes das placas cerâmicas utilizadas como revestimento nesta tipologia de fachada são a baixa absorção de água e a alta resistência mecânica.

São inúmeros os tipos de subestrutura e materiais cerâmicos atualmente empregados para a execução de fachadas não aderidas com placas cerâmicas, porém, Mäntylä (2001) afirma ser mais recomendado a utilização do material porcelânico do grupo Bla, da NBR 13817 (1997), com absorção de água $\leq 0,5\%$, que será caracterizado no seguimento 3.5 deste trabalho.

Para esse autor esse sistema tem um excelente desempenho frente às ações do vento por diversas razões:

- primeiramente por possuir elevada resistência ao arrancamento dos fixadores e ao impacto; porém, se um objeto atingir o revestimento com força suficiente para provocar a ruptura de um de seus componentes, uma tela de fibra de vidro aderida ao tardoiz da placa impede sua queda, evitando acidentes ou a ocorrência de maiores danos à fachada;
- a superfície lisa do revestimento oferece pequena resistência ao vento; diferentes sistemas de fixação podem ser projetados especificamente quando da utilização do sistema em locais com alta velocidade do vento.
- o sistema é relativamente leve, pesando cerca de 30 Kgf/m², incluindo-se aqui as placas, a subestrutura auxiliar e todos os demais acessórios, o que permite sua aplicação em estruturas mais leves, além de facilitar sua instalação, que não requer a utilização de equipamentos especiais para o transporte vertical das placas.

A Figura 2-15 ilustra a utilização de placas litocerâmicas com 200 mm de altura como revestimento não aderido suportado por uma subestrutura auxiliar.



Figura 2-15-Fachada-cortina com a utilização de revestimento em litocerâmica (SHILDAN USA INC , 2002)

2.6 FACHADA-CORTINA COM PLACAS DE GRÊS PORCELANATO

A produção do grês porcelanato teve início nos anos 80, após o desenvolvimento do processo de queima rápida (monoqueima ou biqueima) ocorrida nos anos 70 e 80, que causou uma profunda mudança no setor da indústria cerâmica (MENEGAZZO, 2000).

As características atribuídas a este material permitiram a Menegazzo afirmar que “o desenvolvimento do grês porcelanato possibilitou a extensão do uso de materiais cerâmicos para locais de domínio de pedras naturais as quais possuem uma resistência à abrasão mais elevada do que os produtos cerâmicos esmaltados”. Ainda segundo essa autora “dentre as principais características apresentadas por este produto pode se destacar: alta resistência à abrasão, baixo valor de absorção de água, alta resistência mecânica, alta resistência ao ataque químico (ácidos e álcalis), alta dureza, resistência ao congelamento, uniformidade de cores, facilidade de manutenção (...)”.

De fato, o avanço desta tecnologia possibilitou a introdução de um novo produto no mercado da indústria da construção civil, com características totalmente distintas daquelas apresentadas pelas placas cerâmicas até então utilizadas pelo setor, advinda da possibilidade de produção de peças cerâmicas com excelente precisão dimensional, com espessura entre 8 e 12mm, e dimensões de até 1200 x 1200 mm, muito superiores àquelas que poderiam ser aplicadas em fachadas pelo processo tradicional.

A utilização de placas de grês porcelanato como componente de revestimento de fachadas-cortina, deu-se inicialmente nos principais países europeus produtores de placas cerâmicas, num esforço para a introdução deste componente em substituição às placas pétreas utilizadas até então.

Assim, o grês porcelanato tornou-se o principal concorrente das placas pétreas para a execução de fachadas-cortina nos países do oeste europeu, apresentando as seguintes vantagens:

- menor absorção de água;
- menor peso;
- material homogêneo (as placas pétreas devem ser escolhidas e separadas na jazida devido a apresentarem grande variedade de tonalidade e aspecto);
- menor potencial de manchamento (devido à alta absorção de água e conseqüente lixiviação de sais solúveis para a superfície, as placas pétreas apresentam manchamento quando expostas as intempéries);
- menor controle na recepção e na escolha para a aplicação;
- maior perspectiva de durabilidade.

Além dessas vantagens, as placas cerâmicas possibilitam composição com os demais revestimentos como é o caso das placas pétreas, das placas de alumínio composto e dos vidros, entre outros.

Pode-se citar como grandes produtoras européias desse sistema de fachadas-cortina a Marazzi, a Granite Fiandre, a Fischer e a Cerâmica Rocca.

As variações existentes nos sistemas comercializados pelas diferentes empresas estão principalmente, na forma de como se dá a manutenção da fachada (troca de placa em caso de quebra) e no custo final do sistema. Essas variantes encontram-se caracterizadas principalmente pela conformação dos perfis e no projeto dos dispositivos de fixação das placas, sendo, porém, todas elas derivadas do mesmo princípio tecnológico.

Estes sistemas utilizam-se de subestruturas de perfis de alumínio, fixadas à parede de vedação e aos elementos estruturais por ancoragens reguláveis, além de dispositivos para promover o acoplamento das placas cerâmicas à subestrutura auxiliar, podendo o sistema se distinguir em duas variantes principais pela forma de fixação: com acoplamento visível e com acoplamento oculto.

i- Sistemas com acoplamento visível

Caracterizam-se pela alta produtividade na montagem, além de apresentarem uma solução mais versátil, flexível e econômica pelo fato das placas não necessitarem de nenhum manuseio prévio, pela facilidade de encaixe das placas e por dispensarem o uso de perfis (guias) horizontais, já que os cliques de fixação são inseridos nos montantes.

Uma analogia pode aqui ser feita objetivando-se uma denominação para os cliques de fixação tomando por base a nomenclatura adotada pela NBR 13707 (1996) e pela BS 8298 (1994) que classificam os dispositivos para a fixação de placas pétreas. Estas normas tratam por *retentores* os dispositivos de fixação ou cliques (superiores) cuja função é impedir o tombamento das placas, devido as ações perpendiculares a estas; e por *sustentadores*, os dispositivos de fixação (inferiores) responsáveis pela sustentação do peso próprio das placas e outras ações verticais.

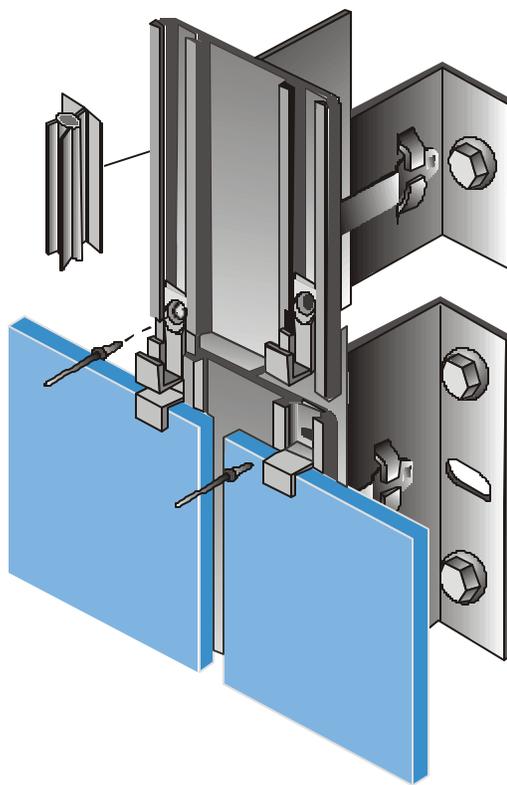


Figura 2-16-Sistema de acoplamento visível (MIRAGE ENGINEERING, s.d.)

ii- Sistemas com acoplamento oculto

A subestrutura necessária para esta forma de fixação é diferente da fixação por acoplamento visível, sendo composta por ganchos de ancoragem fixados ao tardo da placa cerâmica e subestrutura formada por perfis verticais (montantes) e horizontais (guias). Os ganchos são fixados por intermédio dos 4 (quatro) parafusos (roscados às ancoragens inseridas no tardo da placa), mediante porcas de aço inoxidável que se "auto travam". Sua função é permitir o acoplamento entre a placa e a subestrutura.

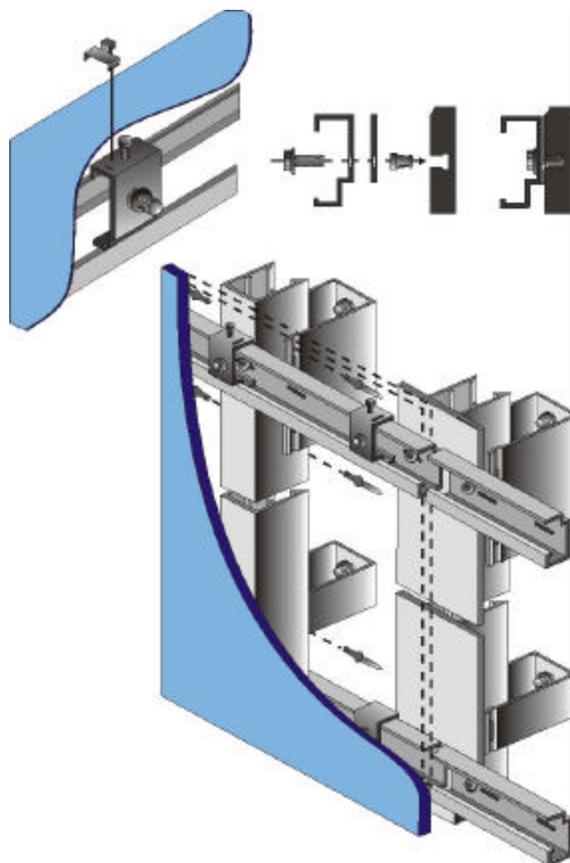


Figura 2-17-Sistema de fixação não visível (MIRAGE ENGINEERING, s.d.)

Esses sistemas de revestimento comercializados na Europa possuem uma solução integrada com os diversos dispositivos que compõem a vedação vertical, tais como: o encontro com as esquadrias, os acabamentos e arremates, entre outros.

2.7 VANTAGENS TÉCNICAS E COMERCIAIS

Pelo fato de serem constituídas por diversas camadas de materiais heterogêneos e, portanto, com diferentes coeficientes de dilatação térmica, quando solicitadas por movimentações intrínsecas ou extrínsecas, as diversas camadas que compõem o revestimento tradicional de uma fachada, comportam-se de maneiras distintas, provocando o surgimento de tensões de cisalhamento na interface destas, que podem comprometer o seu desempenho, acarretando sua deterioração. Estes, perdendo suas funções, comprometem a valorização e a habitabilidade do edifício.

A difícil equalização dessas interações aliada à falta de treinamento da mão-de-obra vem contribuindo para o aumento das manifestações patológicas em fachadas com revestimentos aderidos, como é o caso das fachadas com revestimentos argamassados e principalmente os revestimentos com placas cerâmicas.

A possibilidade de se promover a separação entre o revestimento e o substrato de fixação com a introdução de uma câmara de ar entre ambas as lâminas, propicia aos revestimentos não aderidos uma série de vantagens potenciais quando comparados aos tradicionalmente aplicados:

- quando a câmara for projetada como ventilada, as correntes convectivas de ar atuam como isolantes térmicas entre o exterior e as paredes do edifício, eliminando assim as pontes térmicas;
- diminuição no consumo de energia para o condicionamento do ar no interior do edifício;
- diminuição dos efeitos da dilatação térmica da estrutura do edifício;
- melhoria potencial dos problemas de condensação;
- melhoria no isolamento acústico;
- diminuição sensível de problemas de infiltração de água;

- facilidade de manutenção;
- menor dependência da habilidade do operário (sistema de montagem industrializado);
- alta produtividade potencial;
- redução nas etapas de controle de recebimento de materiais e produção.

Por outro lado, todavia, algumas limitações importantes podem ser enumeradas. Elas são muito dependentes do grau de racionalização que se incorpora ao sistema e podem torna-lo mais ou menos competitivo, tanto do ponto de vista técnico, como econômico, destacando-se:

- ausência de normas de desempenho e de requisitos de desempenho que agreguem valor comercial ao produto;
- necessidade de mão-de-obra qualificada e treinamento;
- dependência de mudanças organizacionais nos processos de gestão do empreendimento e da produção;
- pouca diversidade de complementos e acessórios adequados ao mercado brasileiro;
- exigência de projeto específico detalhado e que defina o processo de montagem;
- custos elevados quando comparada com os revestimentos aplicados da maneira tradicional.

A escolha dos diversos sistemas construtivos a serem aplicados em determinado empreendimento deve levar em consideração aspectos técnicos, mercadológicos e de custo.

Para se fazer uma escolha deve-se compreender as características principais, as exigências de cada tecnologia inovadora, além das suas deficiências e limitações.

2.7.1 Situações de aplicação

Os sistemas de fachadas-cortina com placas de grês porcelanato comercializados nos países europeus são utilizados na maioria das vezes como revestimento de vedações de edifícios já existentes com a finalidade de se promover "*retrofit*". Isso, segundo Sabbatini (2002a)⁵, deriva do fato das obras de construção civil no continente europeu estarem em grande parte voltadas para a reforma e modernização das edificações antigas.

Em virtude desses sistemas terem por característica a flexibilidade, sua aplicação pode se dar tanto em edificações térreas quanto em edifícios de múltiplos pavimentos, conforme ilustrado na Figura 2-18.



Figura 2-18-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato em edifício de múltiplos pavimentos (MARAZZI, 1997)

Essa solução construtiva pode ser empregada como revestimento de paredes ou como sistema integrado de vedações verticais estruturadas, aplicadas em conjunto com placas de cimento reforçado com fibra de vidro (GRFC),

⁵ Comentários feitos pelo Prof. Dr. Fernando Henrique Sabbatini quando do exame de qualificação deste autor.

chapas de fibro cimento, painéis "black board", entre outros. A Figura 2-19 ilustra tal descrição. Neste caso, a fachada-cortina se assemelha a uma divisória leve por montagem a seco composta por estrutura reticular e fechamento em placas, tendo ainda como característica a modulação flexível, ou seja, a possibilidade de se adaptar a projetos não racionais.



Figura 2-19-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato empregada como sistema integrado com placas de gesso acartonado (MÄNTYLÄ, 2002)⁶

A solução construtiva para a situação de aplicação como sistema integrado, utilizando-se de fachada-cortina pré-moldada ou modular, quando bem resolvida do ponto de vista de sua integração com os demais componentes, principalmente no que diz respeito a interface com caixilhos, pode trazer inúmeras vantagens estratégicas quando aplicadas em substituição às vedações verticais externas tradicionais, em virtude de:

- proporcionar a redução no prazo de construção;

⁶ Fotos e textos enviados pelo pesquisador Anti Mäntylä a este autor por correio eletrônico (e-mail)

- possibilitar a alteração da seqüência executiva;
- possibilitar a alteração no fluxo de caixa;
- possibilitar a compra de solução construtiva.

2.7.2 Vantagens comerciais

Pode-se afirmar que as fachadas constituem-se hoje na parte mais crítica da execução de edifícios em nosso país. Por ser produzida ainda, de maneira tradicional, incorpora inúmeros riscos no surgimento de problemas patológicos e econômicos. Tais problemas têm levado a fachada a se transformar, muitas vezes, em um fator de desgaste da imagem institucional do construtor, aspecto fundamental para sua subsistência num mercado cada vez mais competitivo.

Os custos de manutenção também passaram a representar valores muito importantes dentro dos orçamentos das empresas. Sabe-se que algumas construtoras da cidade de São Paulo realizam despesas superiores a R\$ 1.000.000,00 (um milhão de reais) por ano, individualmente, para corrigir problemas de fachadas revestidas de forma tradicional. A fachada também representa, na seqüência de etapas de execução do edifício tradicional, a etapa de maior complexidade e maior definidor do caminho crítico dos serviços.

Devido a estas razões, o construtor brasileiro a exemplo dos construtores dos países mais desenvolvidos, tem procurado alternativas que minimizem os riscos envolvidos na produção de fachadas. O mercado mostra-se ávido pela implantação de novas tecnologias que ofereçam conforto, durabilidade e principalmente a segurança que as fachadas produzidas pelo processo tradicional não conseguem oferecer. As grandes construtoras nacionais procuram por soluções e parecem estar dispostas a pagar por alternativas que justifiquem os benefícios.

Esta situação induz as empresas construtoras a uma nova vocação traduzida por Sabbatini (2002) como a de “*empresas integradoras de sistemas complexos*”, como ocorre hoje com as produtoras de bens de grande complexidade tecnológica, como é o caso das indústrias automobilísticas e aeronáuticas.

Para que isso ocorra, é necessário que haja no mercado a venda de produtos aplicados com garantia de desempenho, ou seja, como *sistemas de produção*.

Sabbatini (1998) afirma que a exigência de *sistemas de produção* específicos é fundamentada na impossibilidade de uma única organização deter e utilizar de maneira eficaz todo o conhecimento tecnológico necessário para a produção das diversas partes do edifício.

Essa postura, exige por parte dos agentes envolvidos nos diversos processos de produção dos edifícios, uma mudança organizacional com o intuito de se obter uma “gestão do processo de produção com alto nível organizacional para se obter os resultados esperados”.

É fundamental que sistemas construtivos, como é o caso da fachada-cortina com placas de grês porcelanato sejam comercializadas desta forma. Para tanto, faz-se necessário que a empresa fornecedora de FCGP disponha de projeto, planejamento, execução e sistema de gestão adequados.

Isso impõe que alguns dos demais subsistemas e a organização do processo sejam coerentes e integradas com essa solução construtiva, em contrapartida ao que ocorre na grande maioria dos sistemas construtivos comercializados atualmente, definidos por Sabbatini (2002) como *sistemas de produto*.

Para esse autor, o *sistema de produto* é entendido como “um conjunto de componentes, que se completam e que suprem completamente as necessidades de construção de uma parte do edifício”. Deve-se enfatizar

que nesse conceito não está implícita a garantia de desempenho do produto aplicado, já que as responsabilidades se diluem entre fornecedor e produtor.

Com o intuito de melhor se exemplificar a questão, apresenta-se a Tabela 2-1, adaptada de Sabbatini (2002).

Tabela 2-1-Sistema de produto e sistema de produção de fachada-cortina com placas de grês porcelanato, adaptado de Sabbatini (2002)

Componente	Placa de grês porcelanato
Sistema de produto	Placa e todos os complementos necessários para a produção
Sistema de produção potencial	Conjunto de componentes e metodologia de projeto e produção
Sistema de produção parcial	Idem + serviços de assessoria em: projeto, execução (treinamento e acompanhamento), uso e manutenção
Sistema construtivo e sistema de produção real	Inclui: projeto, execução, manutenção e responsabilidade

É importante também, visando as alternativas de comercialização de *sistemas de produção* de FCGP, desenvolvê-lo como sistema construtivo aberto, já que os sistemas fechados apresentam inúmeras restrições à sua aplicação.

Chamam-se fechados, os sistemas construtivos que são desenvolvidos a partir de um projeto arquitetônico único, que lhe serve de modelo. Os sistemas fechados não permitem variações na disposição e nas dimensões de seus componentes e elementos.

Segundo Dorfman (2002), "o fracasso da aplicação destes princípios à indústria da construção deveu-se a motivos diversos. Um dos mais apontados foi a sua rigidez, incompatível com a estrutura pulverizada e heterogênea do mercado de edificações. Ou seja, fracassaram os sistemas construtivos

baseados nestes princípios por sua pouca adaptabilidade a condições variáveis de produção e de comercialização por sua pouca flexibilidade” .

Já os sistemas flexíveis ou abertos, são aqueles desenvolvidos a partir de um elenco de elementos e componentes da construção que podem ser combinados em diferentes soluções arquitetônicas em que se variam a quantidade, dimensões e disposição dos diversos subsistemas com os quais este possui uma interface.

Para Dorfman (2002) , “o argumento de venda comum aos subsistemas abertos é sua capacidade de adaptar-se às mais variadas condições de instalação e uso, permitindo modificações de “*layouts*”, reposições e melhoramentos sem que, para isso, sejam necessárias intervenções profundas nas estruturas dos edifícios que os abrigam”.

É portanto, condição necessária para a viabilização técnico-construtiva e econômica do conceito do sistema de FCGP, que este seja combinável, intercambiável e complementar, e que este esteja embasado na coordenação modular.

CAPÍTULO 3

CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO

A fachada-cortina com placas de grês porcelanato usualmente empregada nos países do oeste europeu é composta basicamente pelo substrato de fixação, por uma camada de material isolante térmico, pela câmara de ar ventilada, pelos dispositivos de fixação (subestrutura auxiliar), pelas placas de grês porcelanato e pelas juntas entre as placas, além dos demais componentes necessários para o seu funcionamento, como observados na Figura 3-1.

A elaboração do projeto da FCGP pode ser dividida em duas fases distintas. A primeira diz respeito a escolha dos materiais e ao estudo da viabilidade para a execução da fachada, análise dos custos do sistema (paramento e estrutura) em função das necessidades técnicas e estéticas, definições das linhas gerais e detalhes construtivos da obra, como também das especificações técnicas a serem atendidas pelo fornecedor da FCGP.

Qualquer sistema de produção, por mais flexível que seja, deve basear-se em determinados padrões básicos preestabelecidos. O sistema de FCGP não é uma exceção.

Apesar de sempre haver a possibilidade de adaptações deve-se deixar claro que na grande maioria das vezes sua adoção resulta em custos adicionais para a implantação do sistema.

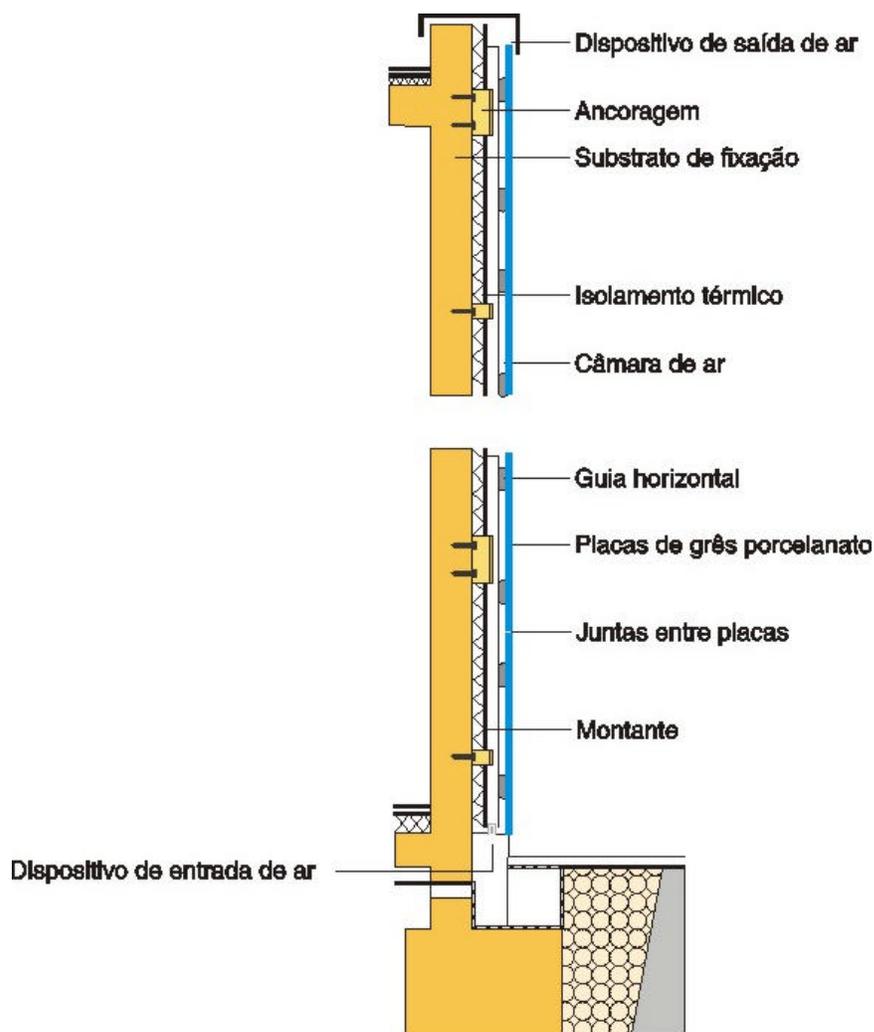


Figura 3-1-Corte transversal indicando os componentes da fachada ventilada com placas de grês porcelanato. (GRANITI FIANDRE, s.d.)

É necessário, por conseguinte, que tanto os projetistas como os executores da obra possuam pleno conhecimento das características do sistema de forma a se conceber o edifício da maneira mais adequada para a sua implantação, buscando-se a compatibilização das interfaces, de forma a atender aos requisitos preestabelecidos para o edifício, sem que haja a necessidade de adaptações causadas por ações não planejadas, sejam elas oriundas da concepção dos projetos, de falha na execução ou controle dos subsistemas que possuem uma interface com a FCGP.

Devem ser considerados para tanto, os fatores construtivos que influenciarão no custo e no desempenho⁷ final do sistema, tais como: a base suporte de fixação, a necessidade de utilização de um material isolante térmico no interior da câmara, o tipo de câmara de ar a ser adotada (ventilada ou estanque), a qualidade da placa de grês porcelanato, a coordenação modular, a altura do pé-direito dos pavimentos, a altura total da edificação (número de pavimentos) e a interação do sistema com os demais componentes que fazem parte da fachada.

Quanto aos padrões construtivos, estes devem ser controlados e seus desvios devem estar dentro das tolerâncias estabelecidas pelo fornecedor do sistema, principalmente no que diz respeito à planicidade e prumo da estrutura do edifício.

Estas especificações preliminares não são definitivas, mas servem de ponto de partida para a definição do revestimento.

Pode-se ter como os principais requisitos de desempenho para uma FCGP, os sugeridos na Tabela 3-1.

A segunda fase do projeto é de responsabilidade exclusiva do fornecedor da FCGP e refere-se ao projeto para produção do sistema propriamente dito.

⁷ "Para a aplicação do conceito de desempenho há a necessidade da definição das condições qualitativas e quantitativas a serem atendidas. Assim os requisitos de desempenho referem-se às condições qualitativas; enquanto os critérios de desempenho são valores quantitativos, estabelecidos através de métodos adequados, empregados para a aferição do atendimento aos requisitos, por parte dos materiais e componentes, e pelos próprios ambientes construídos, para o atendimento das exigências dos usuários". (CTE , 1994).

Tabela 3-1-Requisitos de desempenho de FCGP, adaptado de (SILVA, 1998)

REQUISITOS DE DESEMPENHO NA FASE DE USO	
SEGURANÇA	<p>1.Segurança estrutural</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resistência mecânica a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas decorrentes do uso normal ou abuso no uso (ação imediata e fadiga provocada pelo vento, impactos, riscamento, cargas verticais e alterações climáticas); • Eficiência das ancoragens que ligam a subestrutura auxiliar à estrutura do edifício; • Eficiência do sistema de fixação das placas (que ligam as placas à subestrutura auxiliar); • Capacidade de absorver deformações (verificadas através do correto projeto de fixação das placas).
	<p>2.Segurança ao fogo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reação dos materiais ao fogo (combustibilidade e propagação de chama e liberação de gases e fumaça); • Resistência do sistema ao fogo (integridade, estanqueidade e isolamento).
HABILIDADE	<p>3.Estanqueidade à água</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pouca absorção de água; • Eficácia na drenagem de águas pluviais.
	<p>4.Conforto térmico e economia de energia</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estanqueidade ao ar; • Isolamento térmico no inverno e no verão.
	<p>5.Estética</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planeza dos componentes e do conjunto; • Condição superficial (cor, brilho, textura...); • Uniformidade de colocação.
	<p>6.Conforto acústico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isolamento e absorção sonora; • Não ser fonte de ruídos por ações das movimentações térmicas ou da vibração ou impactos provocados pelos agentes atmosféricos;
	<p>7.Conforto tátil</p>
DURABILIDADE	<p>8.Adaptação ao uso</p> <ul style="list-style-type: none"> • Integração das instalações; • Facilidade de montagem e estocagem
	<p>9.Durabilidade (manutenção do desempenho durante a vida útil)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conservação do aspecto (cor e brilho); • Conservação das propriedades mecânicas (resistência ao impacto). • Conservação das propriedades da subestrutura auxiliar.
	<p>10.Manutenção</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidade e frequência de limpeza e manutenção; • Custo global.

O desenvolvimento de um *sistema de produção* deve estar calcado no conceito de construtibilidade que é definida a partir das especificações contidas no projeto do produto, visando a adoção de soluções de projeto que simplifiquem e melhorem o processo executivo. Sabbatini (1989) atribui a adoção desse conceito à necessidade de se integrar projeto e produção, visando equacionar todas as etapas, os dados provenientes das operações construtivas, considerando que a solução ótima é a de maior construtibilidade.

Melhado e Fabrício (1998) afirmam que a busca por uma maior integração entre o projeto do produto e as necessidades de obra, tem levado os diversos agentes envolvidos na produção de edifícios a considerar a necessidade de se projetar os *processos de produção* dos diversos subsistemas que compõem o edifício.

A translação deste conceito advindo da indústria seriada deve levar em consideração a singularidade da construção de edifícios, já que nesta, ao contrário da indústria seriada, “a cada produto tem-se, quase sempre, um projeto de produto diferente(...)”.

Portanto, apesar da não repetitividade, muitos dos procedimentos de produção devem permanecer os mesmos na execução de várias obras de uma mesma empresa e com uma mesma tipologia de produto. (MELHADO e FABRÍCIO, 1998)

Para tanto, o processo de projeto de um *sistema de produção* deve considerar duas etapas distintas “para abarcar, por um lado, conteúdos e informações invariáveis (a menos de introduções planejadas de inovações nestes procedimentos) e, por outro, as informações que são próprias de cada obra”.

Assim, a necessidade de antecipação dos processos, levando o domínio desses para a engenharia, caracterizada por uma visão mais sistêmica do processo de produção, aponta para a necessidade da utilização de duas

ferramentas de projeto que Melhado e Fabrício tratam por *projeto de produção* e *projeto para produção*.

Entende-se por *projeto de produção* a elaboração das estratégias gerais da produção, das normas de procedimento da execução, das metas de produtividade em cada etapa padrão, e dos controles a serem observados para cada tipo de processo construtivo utilizado pela empresa.

Já o *projeto para produção* é voltado para a definição das etapas e métodos de execução, de forma a se ampliar o desempenho na produção dessas etapas.

Ressalta-se que a adoção de um processo padronizado e controlado facilita a identificação de problemas de qualidade e produtividade, permitindo que se proceda a uma intervenção na produção no momento em que se nota a distorção produtiva.

Deve-se deixar claro que devido à singularidade de cada empresa, o *projeto para produção* deve ser personalizado e adaptado aos seus moldes, envolvendo medidas de planejamento estratégico da produção, caracterizados pela gestão da mão-de-obra, investimento em equipamentos de produção, qualificação dos fornecedores e o estabelecimento de um relacionamento com os projetistas do edifício, de maneira que estes últimos levem em consideração as características de produção do sistema, que necessariamente devem ser tratadas por uma eficiente coordenação de projetos.

A coordenação de projetos é ferramenta essencial para a melhoria da construtibilidade, especialmente quando se utilizar um *sistema de produção* no processo construtivo de um determinado subsistema.

Para tanto é imprescindível que as características dimensionais e de desempenho do sistema sejam perfeitamente conhecidas pelos diversos agentes envolvidos no processo de projeto, identificando-se, por

sobreposição as interferências existentes entre as diversas disciplinas que possuem uma interface com a produção deste.

Novaes (1998) destaca a importância da coordenação de projetos de forma a “conciliar física, geométrica, tecnológica e produtivamente os componentes que interagem nos elementos construtivos horizontais e verticais das edificações, a compatibilização de projetos pode constituir-se em importante fator de melhoria da construtibilidade e da racionalização construtiva, tendo por função principal a integração das soluções adotadas nos projetos do produto e nos projetos para produção (...) assim como nas especificações técnicas para a execução de cada subsistema”.

Segundo o autor, a principal condição a ser imposta para a compatibilização de projetos diz respeito à necessidade da elaboração dos projetos que a intensidade da racionalização construtiva introduzida ao processo exigir, permitindo completar a caracterização tecnológica dos elementos construtivos. No entanto, o detalhamento dos projetos exige a sistematização de informações referentes às particularidades do empreendimento e do processo construtivo empregado.

Uma seqüência lógica que aborde as várias etapas relativas ao desenvolvimento do processo de projeto de uma FCGP pode ser representada pelo fluxograma mostrado na Figura 3-2. Nele estão distintas as etapas de projeto que cabem aos projetistas do edifício e ao *projeto de produção* da FCGP.

Quanto aos parâmetros técnicos que devem ser observados no processo do projeto de fachadas, Medeiros (1999) argumenta que há “um conjunto de aspectos a serem considerados quando se discute a qualidade das fachadas das edificações, de acordo com o *Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH, 1995) , a saber:

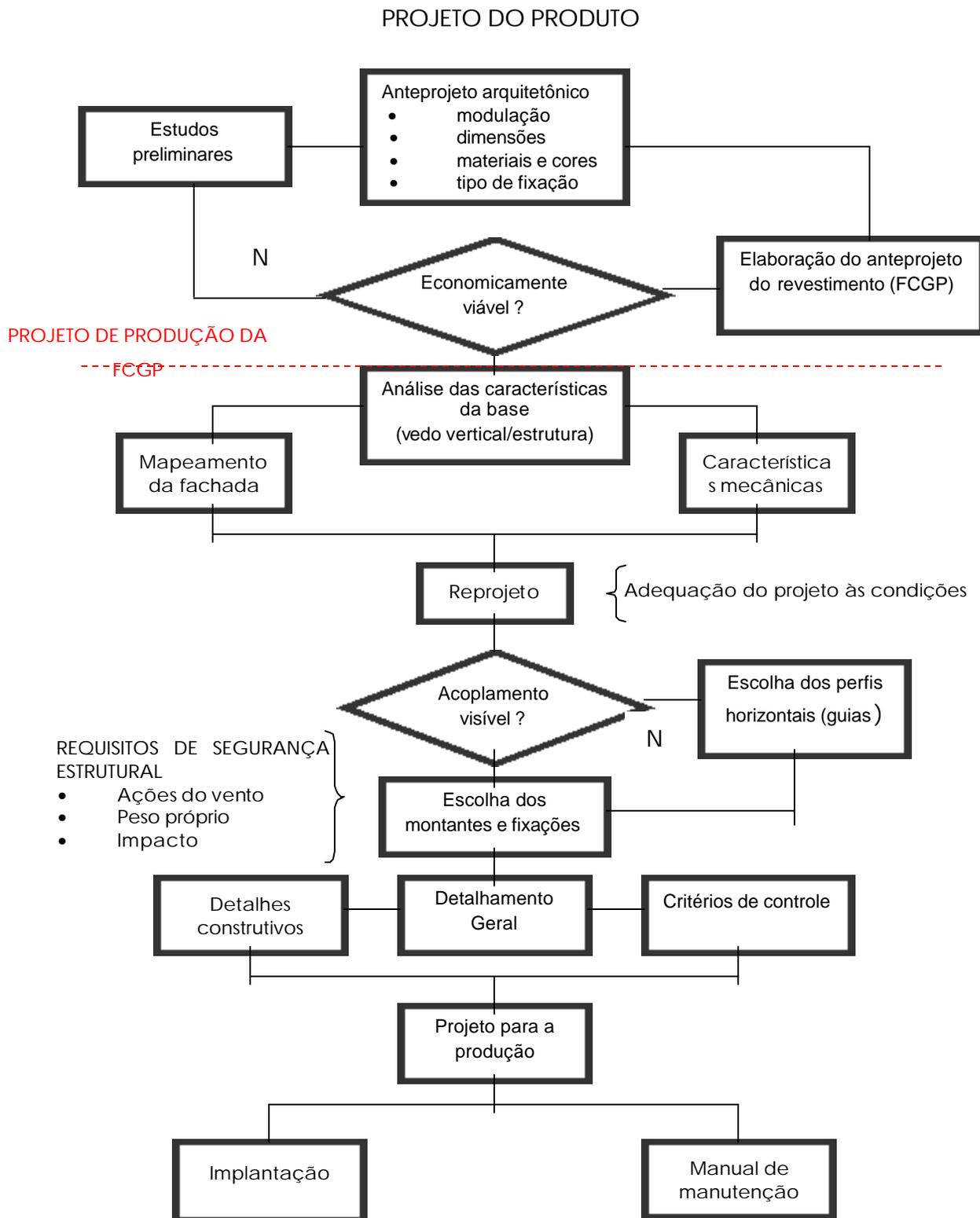


Figura 3-2-Fluxograma para a elaboração de projeto de FCGP

- a característica arquitetônica da fachada trata da composição formal e do arranjo de volumes e funcionalidade dos componentes; a fachada é considerada como um trabalho de arte que interage com o entorno do edifício. Estas características são geralmente controvertidas, devido à sua subjetividade;
- a qualidade do projeto da fachada é muitas vezes confundida com a qualidade estética da arquitetura, o projeto da fachada deve levar em conta um grau superior de preocupação com o sucesso do empreendimento, juntamente com os aspectos estruturais, funcionais (limpeza, recolocação, manutenção), construtivos e operacionais (proteção contra os raios solares, isolamento térmico e acústico, durabilidade, etc.);
- a qualidade dos materiais de fachada diz respeito à qualidade, principalmente com relação à sua durabilidade, adequação técnica ao entorno, espessura e tamanho das placas. Deve incluir, também, garantia de controle da qualidade destes materiais;
- a execução da fachada é um aspecto fundamental da qualidade do produto final e sua manutenção ao longo do tempo, pois sua execução adequada influencia decisivamente a opinião pública em relação à qualidade da fachada e ao profissionalismo das pessoas e empresas envolvidas no processo."

Quanto ao fornecimento de um *sistema de produção*, é fundamental também, que seja elaborado um contrato que possua o maior número de informações possíveis a fim de se evitar futuras reclamações e mal entendidos. Desse modo, a BS 8298 (1994) recomenda que as seguintes informações sejam previamente fornecidas à empresa contratada para o fornecimento do sistema de fachada:

- as limitações de acesso ao local onde será construída a obra; as restrições; o prazo para a entrega; o local de estocagem; as instalações para manuseio e distribuição;
- qualquer limitação local que interfira na seqüência e duração da instalação;
- desenhos suficientemente explícitos para apontar os requisitos básicos de projetos como: dimensões da placas, juntas e quaisquer outros detalhes especiais;
- as tolerâncias permitidas para a estrutura e espessura da câmara;
- os tipos de revestimentos, acabamentos e quaisquer outras exigências ou limites para aceitação;
- a forma de medição que será adotada;
- o tipo de selante a ser utilizado (quando especificado);
- detalhes de qualquer material isolante utilizado na câmara e o método para manter o mínimo de espaço em seu interior;
- o sistema de fixação a ser utilizado;
- qualquer requisito para a rotina ou ensaio especial de componentes ou elementos estruturais, antes ou após a montagem ou para uma amostra ou painéis de tamanho natural;
- o critério para a aceitabilidade ou rejeição de placas ou fixações individuais.

Desta forma, procura-se assegurar que o *sistema de produção* da FCGP esteja inserido dentro dos requisitos de produção estabelecidos pela empresa, atendendo às especificações técnicas definidas pelo contratante.

3.1 A BASE SUPORTE DE FIXAÇÃO

A adoção de paredes com resistência a flexão compatíveis com os esforços aplicados pela FCGP é fator significativo no custo do sistema, já que a possibilidade de se ancorar a subestrutura auxiliar em um ou mais pontos intermediários contribui para a diminuição da seção dos perfis montantes, acarretando na redução da massa de alumínio a ser utilizada. Para tanto, o projetista deve possuir o domínio tecnológico sobre o elemento de vedação vertical a ser utilizado.

Deve-se levar em consideração os fatores que influenciam no desempenho da vedação como um todo, considerando além da resistência a flexão da base, a deformabilidade de seus diversos elementos e componentes que podem vir a comprometer o desempenho da vedação, e portanto, da FCGP.

3.1.1 Parede de alvenaria

A caracterização do substrato de fixação pode ser extraída das definições propostas pelos diversos autores e normas técnicas que tratam do assunto.

A UNE 41957-1 caracteriza este elemento quanto à deformação que impõe ao conjunto (revestimento não aderido), quando toma por base *“o paramento resistente situado atrás do revestimento, que transmite os esforços deste para a estrutura do edifício, e que apresenta uma deformabilidade acumulada compatível com a livre deformação dos componentes do revestimento”*.

Tratando das envoltórias costumeiramente empregadas nas construções brasileiras, Sabbatini (1989) conceitua o processo construtivo tradicional utilizado para se construir edifícios de múltiplos pavimentos na cidade de São Paulo como aquele caracterizado pelo emprego da estrutura reticulada de

concreto armado moldada “in loco” e pela utilização de vedações verticais executadas em paredes de alvenaria de blocos de concreto ou cerâmicos.

Como suporte, interessa principalmente conhecer a capacidade resistente do vedo vertical que pode ser resumida em suas propriedades geométricas e na natureza de seus componentes.

Independentemente da estabilidade da parede que deverá ser estudada como em qualquer outro caso com a consideração da excentricidade das cargas, a natureza deste substrato deve ser considerada com o intuito de se verificar a adequabilidade desta como suporte para a ancoragem do revestimento em FCGP.

Para melhor compreender-se a natureza dos *componentes* do substrato *parede de alvenaria*, pode-se classificá-los de acordo com os materiais de que são constituídos, ou ainda pela porcentagem de perfurações⁸ que estes contém.

Soriano (1999) argumenta que quando se refere a comportamento mecânico, pressupõe-se poder contar com uma homogeneidade de resultados e um certo grau de previsibilidade que vem deles. Para esse autor, não se pode assegurar um comportamento homogêneo de ancoragens fixadas sobre uma parede executada com blocos ocios onde há variação da espessura da parede, a posição da ancoragem que pode afetar um septo, um furo, a junta de argamassa ou união quase seca das juntas verticais.

Desta forma, se as ancoragens forem isoladas ou pontuais, fixadas diretamente à parede de alvenaria, esta deve ser de tijolo ou bloco perfurado ou maciço. A Tabela 3-2 mostra os componentes mais usuais e o

⁸ Segundo Franco (1983), “de forma geral, considera-se o bloco ou tijolo sólido se este apresentar menos que 25% de área de perfurações em relação à área total de sua seção transversal (Estados Unidos). Já na Inglaterra considera-se sólido o tijolo que possuir menos de 25% de volume de perfurações em relação ao volume total do tijolo”.

grau de confiança para seu emprego como base de ancoragens de revestimentos não aderidos.

3.1.2 Movimentos estruturais

Quando a vedação externa não pode ser aproveitada como suporte, deve-se fixar as ancoragens diretamente aos elementos estruturais, como: vigas, pilares e lajes. Neste caso, Soriano (1999) diz ser necessário assegurar que a deformação destes elementos limite-se a $1/500^9$ do vão luz, deixando claro que esta restrição é imposta a todo o conjunto, ou seja, tanto para a estrutura suporte, quanto para a subestrutura auxiliar e a somatória das deformações de ambos os sistemas.

Tabela 3-2-Grau de confiabilidade do substrato para seu emprego como base de ancoragens para revestimentos não aderidos (SORIANO, 1999)

Natureza do Suporte	Grau de Confiabilidade
Concreto	Excelente
Tijolo maciço	Muito bom
Tijolo perfurado	Bom
Bloco de concreto com paredes de 30mm	Bom
Tijolo cerâmico com pequenas células ocas	Bom
Bloco cerâmico vazado	Inaceitável*
Nota: Quando do dimensionamento da ancoragem deve-se levar em conta, além da resistência do material, a situação das juntas e bordas da alvenaria. * Quando utilizado sem reforços, como cintas entre outros.	

Corroborando com as afirmações de Beall (1987) e referenciando-se a deformabilidade dos elementos estruturais citadas por Soriano (1999), Allen (1990) adverte para que sejam levados em consideração os diversos esforços que atuam simultaneamente em um edifício, “puxando e empurrando” tanto a estrutura quanto o revestimento, impondo deformações ao conjunto.

⁹ A NBR 10821, admite uma deformação máxima da subestrutura auxiliar de $1/175$ do vão luz.

Segundo Allen (1990), os movimentos ocasionados pelo encurtamento dos pilares e flexão de vigas, devido à deformação lenta das peças de concreto onde o revestimento encontra-se fixado, as forças do vento e terremoto responsáveis pelo surgimento de empuxo lateral na estrutura e nos revestimentos, os recalques diferenciais da fundação que incorrem em distorções da estrutura do edifício, além dos esforços transmitidos pelas interações higrótérmicas, podem sujeitar os revestimentos a esforços não previstos, provocando falhas no sistema de vedação ou até mesmo o colapso da subestrutura auxiliar. Os diversos tipos de deformações a que estão sujeitos a estrutura reticulada de concreto armado, e conseqüentemente os revestimentos não aderidos a ela fixados, podem ser vistos na Figura 3-3.

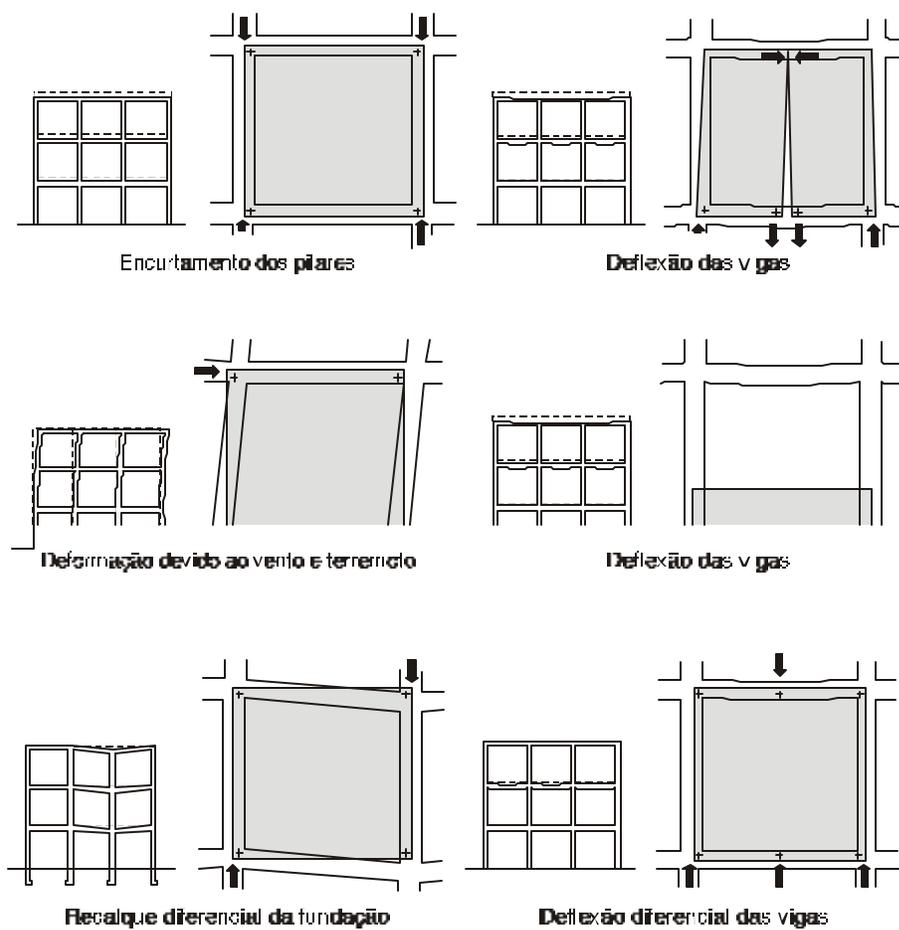


Figura 3-3-Deformações a que o revestimento não aderido está sujeito, (ALLEN, 1990)

Das várias solicitações às quais a estrutura está sujeita, a mais significativa para este caso é a movimentação ocasionada pela deformação lenta do concreto, principalmente pelo fato de as obras brasileiras executadas pelo processo de construção tradicional, estarem sujeitas a grandes deformações estruturais em virtude da elevada esbelteza com que estas são concebidas.

Segundo o *American Concrete Institute* (ACI) apud Sabbatini (2000), a deformação lenta do concreto ocorre nos primeiros cinco anos de vida do edifício estando distribuída da seguinte maneira em função do tempo:

- 50% nos primeiros três meses;
- 60% nos primeiros seis meses;
- 70% nos primeiros doze meses;
- 100% cinco anos após a estrutura ser colocada em serviço.

Sabbatini (2000) ainda afirma serem três os principais fatores que influenciam diretamente na proporção deste fenômeno: a cura do concreto, o tempo de colocação da estrutura em carga e o tipo de concreto utilizado.

Sendo a deformação lenta representada pela equação:

$$e_{cc} = j \cdot e_{el}$$

onde:

e_{cc} = deformação lenta final;

j = coeficiente de deformação lenta;

e_{el} = deformação elástica inicial.

Observa-se, que a deformação lenta final é diretamente proporcional ao valor do *coeficiente de deformação lenta*, que situa-se entre 1,8 e 5, ou seja,

$1,8 \leq \phi \leq 5$; sendo o valor de ϕ tanto menor quanto:

- maior o tempo em que a estrutura permanecer em cura úmida;
- maior a postergação para a colocação da estrutura em carga;
- maior o teor de cimento existente no concreto;
- menor o fator água-cimento;
- menor for a porosidade do concreto;
- maior for o módulo de deformação dos agregados.

A importância da determinação e do controle da deformação lenta do concreto está na necessidade de se compatibilizar as deformações da estrutura com a capacidade do revestimento em absorvê-las.

3.1.3 Expansão e contração térmica

O revestimento de um edifício deve absorver também, os movimentos de expansão e contração térmica em vários níveis. Sendo este um plano exposto às variações de temperatura e, portanto, dilatando-se e contraindo-se constantemente, as diferenças entre as temperaturas internas e a externa, segundo Allen (1990), podem causar o empenamento do painel de revestimento devido à expansão e contração diferencial entre suas faces interna e externa, conforme ilustrado na Figura 3-4.

No caso das fachadas-cortina, a estrutura do edifício é protegida de temperaturas extremas pelo revestimento, sofrendo as maiores variações no período compreendido entre a instalação do revestimento e a ocupação inicial do edifício, quando sua temperatura interna é controlada.

Beall (1987) esclarece que os movimentos de expansão e contração térmica dos materiais de construção podem ser estimados a partir da realização de ensaios laboratoriais para a determinação de seus coeficientes de dilatação térmica, afirmando ainda que, as tensões geradas em um elemento devido à mudança de temperatura é igual ao *módulo de elasticidade X coeficiente de expansão térmica X variação média da temperatura da parede*.

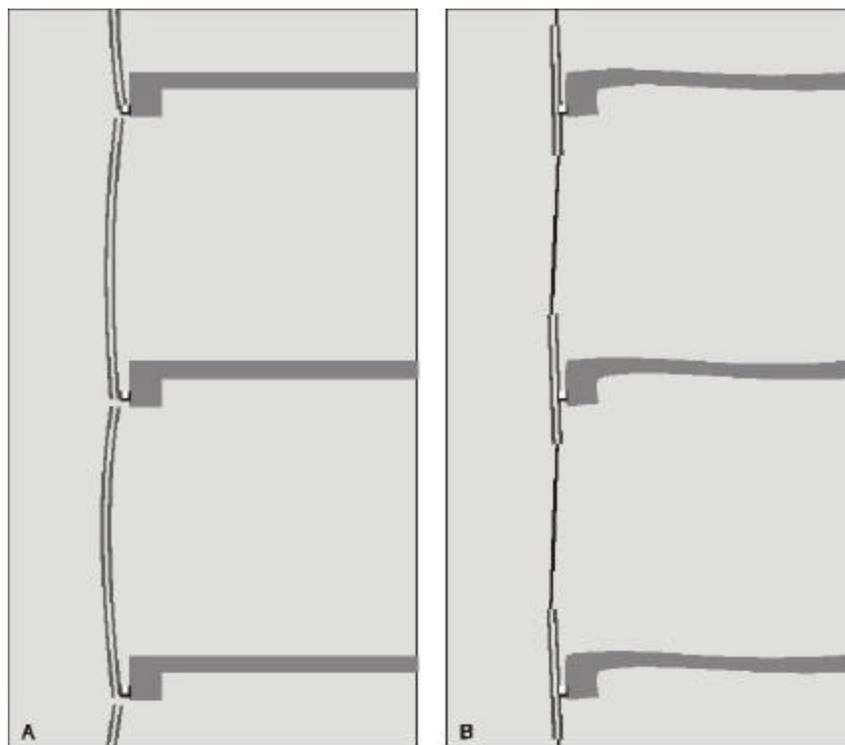


Figura 3-4-Distorções dos painéis de fachada-cortina (ALLEN, 1990).

(A) Empenamento devido a maior expansão térmica na face exterior do painel, sob condições de alta temperatura.

(B) Torção da viga de bordo devido ao peso do painel.

3.2 ISOLANTE TÉRMICO

A inclusão de um isolante térmico no interior da câmara nem sempre é utilizada, sendo necessária em determinados climas e em função das características do elemento de vedação. Porém, deve-se levar em consideração que a recente crise energética instalada no país acarrete na mudança de posicionamento por parte dos projetistas no sentido de prover os edifícios de um isolamento térmico mais eficiente, pelo menos em algumas regiões.

Quando se julgar necessário o incremento do isolamento térmico, este poderá ser realizado pela instalação de um material específico no interior da câmara, aderido à lâmina interna.

O isolante térmico é instalado em um edifício por várias razões, sendo todas elas relacionadas às características primárias do material isolante térmico que provê resistência relativamente boa ao fluxo de calor. A redução de perda de calor no inverno promove economia nos custos de aquecimento e a redução de ganho de calor no verão resulta em menor custo de arrefecimento devido ao uso do ar-condicionado.

Isolamento nas paredes, tetos e às vezes no piso, também são desejáveis em todos os edifícios destinados para o uso humano, devido as condições de conforto serem alcançadas mais facilmente. Para climas com umidades relativas altas durante o inverno, é necessário prevenir a condensação de superfície nas paredes, tetos e pisos.

Costa (1974) define isolantes térmicos como *"materiais de baixo coeficiente de condutividade (k), normalmente porosos cuja elevada resistência térmica (R) baseia-se na baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios¹⁰".*

Ainda segundo esse autor, "quanto menor a densidade do material e maior o número de poros, maior o seu poder de isolamento. O limite dessa capacidade, naturalmente, é a condução pura do ar em repouso, cujo valor é da ordem de 0,02 kcal/m²h °C".

No entender de Costa, um material isolante térmico deve apresentar as seguintes propriedades:

- baixa condutibilidade térmica;
- resistir bem à temperatura em que é aplicado;
- possuir boa resistência mecânica;
- ser imputrescível e inatacável por pragas;

¹⁰ De acordo com a DIN 4108-2, a resistência térmica, também chamada de resistência de condutividade térmica (R) de um componente da vedação, é usada para a avaliação do isolante térmico. E o coeficiente de condutividade térmica (k) é utilizado para a avaliação da perda de calor através de componentes estruturais, combinação de componentes, ou através de toda a superfície do edifício.

- ser incombustível;
- não ser higroscópico e apresentar, se possível, baixa permeabilidade ao vapor d'água.

No caso da FCGP, outra propriedade importante do material isolante térmico é a compatibilidade deste com o alumínio, o aço inoxidável, ou qualquer outro material que venha a compor a subestrutura auxiliar do sistema.

Para Croiset (1970), dar uma regra de qualidade para o isolamento térmico consiste em fixar o limite admissível de uma característica de um elemento da construção para que as exigências de conforto sejam atendidas.

Certas regras de isolamento na construção podem ser atendidas por cálculo a partir de exigências e de dados climáticos definidos.

Outros cálculos podem ser realizados em função do custo do isolamento devido à calefação e/ ou refrigeração.

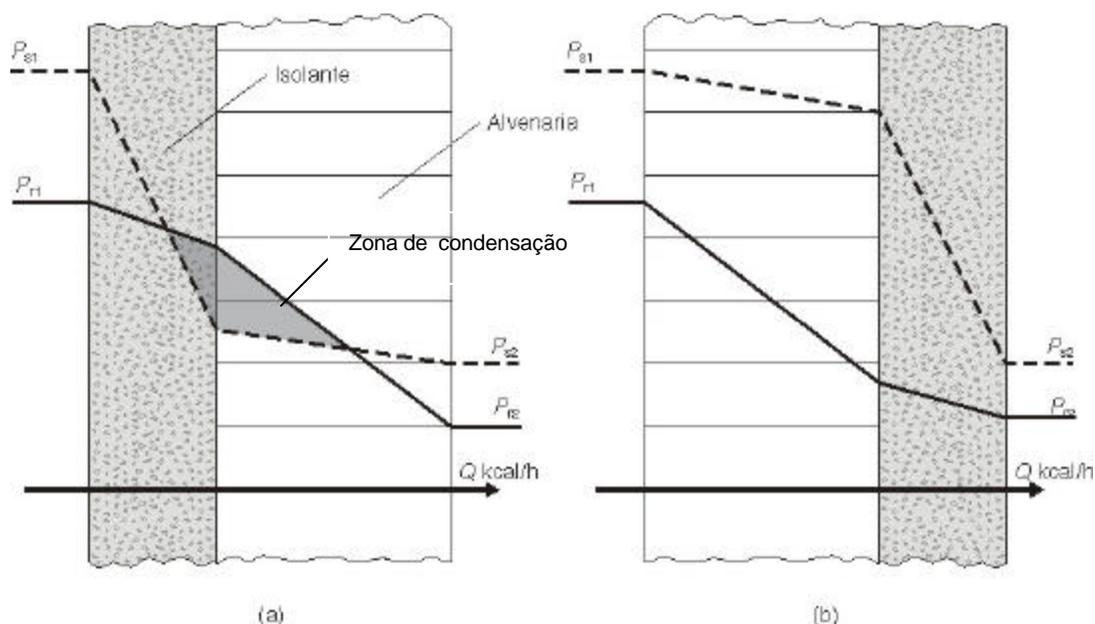
Com vistas à melhoria do isolamento térmico das paredes dos edifícios, foram desenvolvidas as seguintes soluções:

- reforço do isolamento térmico das paredes pelo interior;
- desenvolvimento de materiais de construção (blocos, painéis, etc.), com menor condutibilidade térmica que os materiais tradicionais;
- reforço do isolamento térmico das paredes pelo exterior.

A solução mais empregada para FCGP é a de reforço do isolamento pelo exterior, visto que, além de ser totalmente compatível com este sistema construtivo apresenta as seguintes vantagens:

- redução de pontes térmicas;
- aumento da durabilidade dos elementos de vedação, devido à proteção contra agentes climáticos;
- pode ser aplicado aos edifícios ocupados sem a necessidade de restrições ao seu uso;

- nos climas frios dificulta a possibilidade de condensação do vapor d'água no interior da parede, conforme ilustrado na Figura 3-5.



Legenda: P_s = Pressão de Saturação
 P_r = Pressão do Vapor

Figura 3-5-A implantação do isolante térmico do lado quente da parede facilita a condensação (a), enquanto que, a implantação do isolante do lado frio dificulta a condensação no interior da parede (b)

O sistema de FCGP comercializado pela Marazzi, por exemplo, observado na Figura 3-6 utiliza como material isolante térmico a manta de fibra de vidro fixada na face externa do substrato (interior da câmara de ar), através de ancoragens plásticas.

Soriano (1999) recomenda a utilização de espuma de poliuretano como isolante térmico das fachadas ventiladas.



Figura 3-6- Isolamento térmico (manta de fibra de vidro) em fachada ventilada (MARAZZI, 1997)

3.3 A CÂMARA DE AR (CAVITY)

Segundo Uuttu (2001), a câmara de ar pode ser dimensionada de tal forma que o aquecimento provocado pela radiação solar venha a prover um estoque temporário de calor para a proteção do ambiente interior da edificação no caso de inverno rigoroso, ou pode ser projetada com a função de remover o excesso de calor no verão pelo efeito chaminé.

Straube e Burnett (1999) afirmam que a câmara é definida de acordo com os propósitos do projetista, classificando-as em função do movimento do ar em seu interior em: sistema não ventilado (estanque) e sistema ventilado.

3.3.1 Fachada-cortina com a câmara de ar estanque

O sistema não ventilado é um sistema estanque, visto não possuir aberturas ligando o ar da câmara com o ar exterior. Neste caso, o revestimento exterior faz também o papel de barreira ao ar.

No entender de Croiset (1970), a lâmina de ar quando estanque deve ter espessura de 20 a 50 mm e possuir na sua base, dispositivos de evacuação para o exterior da água que eventualmente penetre através do revestimento. A Figura 3-7 mostra o desempenho térmico proporcionado pela câmara de ar à vedação em função de sua espessura.

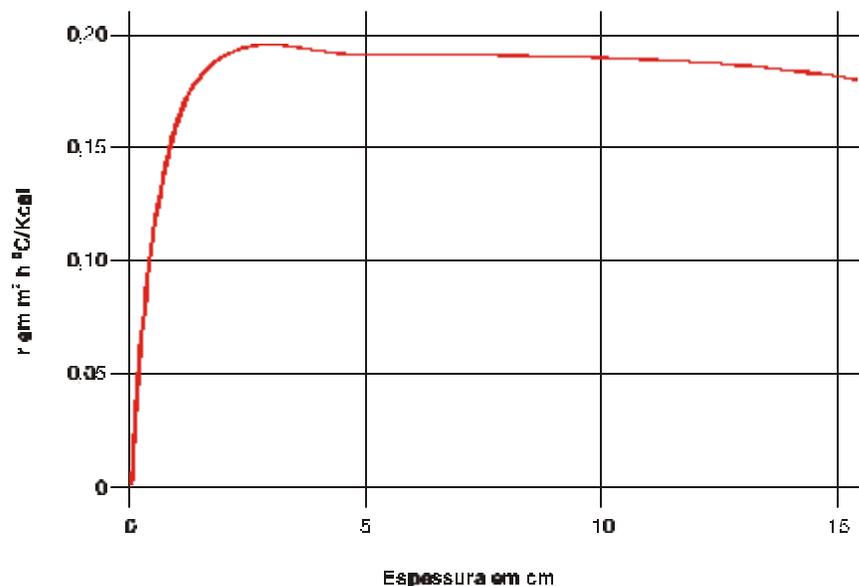


Figura 3-7- Eficiência da câmara de ar em função da espessura. (CROISET, 1970)

3.3.2 Fachada-cortina com a câmara de ar ventilada (fachada ventilada)

O sistema ventilado pode ser dividido em: sistema com ventilação mecânica e sistema com ventilação natural.

O sistema com ventilação mecânica induz o fluxo do ar no interior da câmara com o auxílio de um equipamento. A escolha apropriada da ventilação (tamanho, quantidade, localização e a divisão em câmaras de ventilação constante e compartimentos herméticos) é requisito indispensável para o bom desempenho do sistema.

Quando a câmara de ar (*cavity*) for projetada como naturalmente ventilada (não estanque), o aquecimento do revestimento ocasionado pela radiação

solar provoca uma variação na densidade do ar situado no interior da câmara, incitando um movimento de ascensão denominado “efeito chaminé”, responsável pela eliminação por convecção, do ar aquecido para fora do sistema (conforme esquematizado na *Figura 3-8*), contribuindo também para a remoção do vapor d’água. Geralmente neste tipo de revestimento utiliza-se juntas entre os componentes não preenchidas.

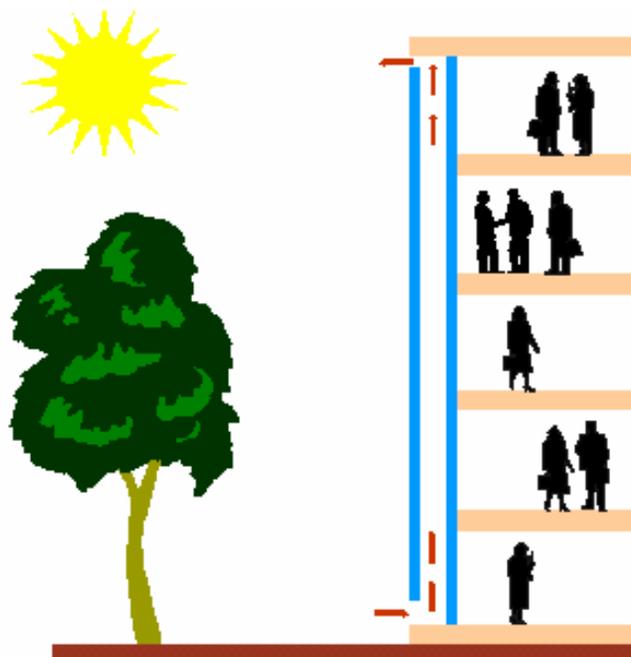


Figura 3-8-Esquema de funcionamento da câmara de ar (CSTB, 2000)

Artigo publicado pela *University of Alaska Fairbanks - UAF* (2000), caracteriza o sistema ventilado, como aquele em que as barreiras de chuva e vento são separadas uma da outra por uma câmara de ar ventilada que possui várias funções, entre elas: igualar a pressão do ar de seu interior à pressão externa, promover a drenagem da água que adentra o sistema e remover a umidade através da evaporação.

O desempenho desta ventilação depende da manutenção de aberturas embaixo e no topo da instalação (*Figura 3-9* e *Figura 3-10*), tomando-se o cuidado de que nenhum elemento construtivo interrompa a corrente de ar, vindo a causar um fluxo convectivo localizado.

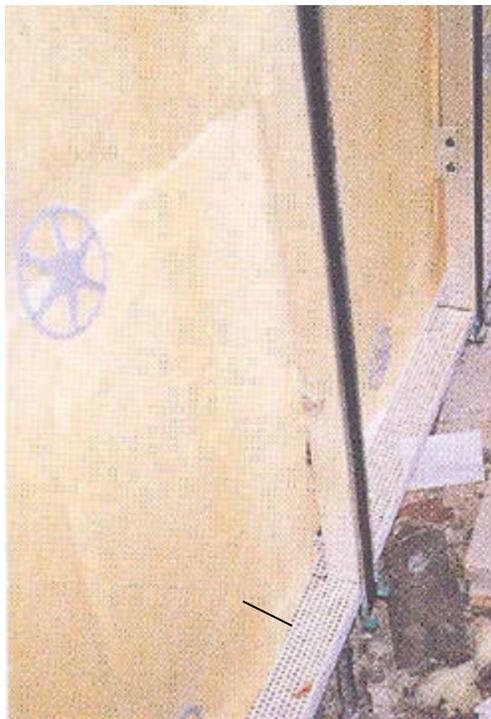


Figura 3-9-Componente que permite a entrada do ar na câmara ventilada (MARAZZI, 1997)

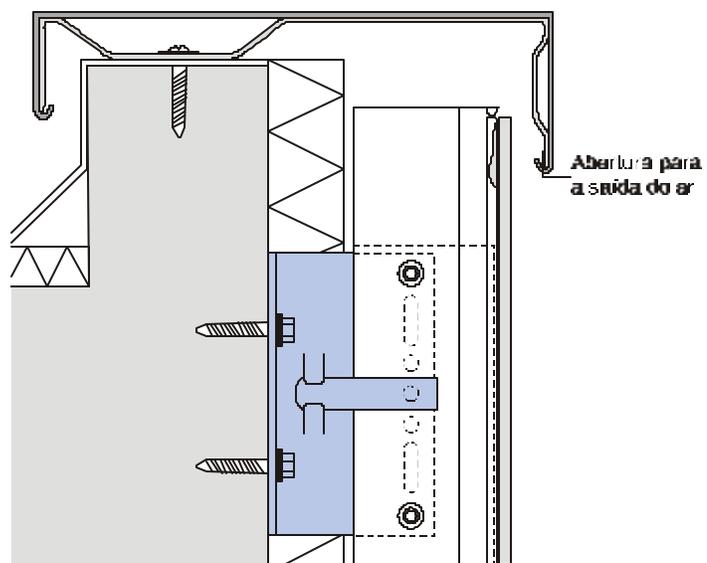


Figura 3-10-Seção transversal de uma fachada ventilada mostrando a abertura que permite a saída do ar do interior da câmara ventilada (GRANITI FIANDRE, s.d.)

Uttu (2001) comenta que neste caso, o ar é conduzido e removido do interior da câmara de duas maneiras: através da pressão do vento e/ou pelo efeito chaminé. “A pressão do vento é a componente dominante para a taxa de fluxo de ar. Se corretamente projetada, o vento que incide sobre a fachada pode criar pressões diferentes entre a entrada e a saída, induzindo o movimento do ar no interior da câmara”. Sem a ação do vento, a câmara pode ser ventilada pelo efeito chaminé.

Devido a existência de um potencial para pressões dirigidas resultantes do vento e do efeito chaminé, o caminhamento do ar e as aberturas exteriores precisam estar corretamente dimensionados e projetados para assegurar que as pressões resultantes do efeito chaminé não sejam anuladas em função das forças impostas pelos ventos dirigidos.

Para se obter tal efeito, as várias literaturas divergem sobre qual seria a espessura ideal para a câmara de ar. Parício (2000) argumenta que quase não existem dados sobre esta indagação. O autor coloca como limite inferior, a espessura de 3cm devido a motivos construtivos, pois será inevitável a existência de “rebarbas” de argamassa, abertura da forma de concretagem, etc. Como limite superior, o autor sugere a espessura de 10cm, alegando que acima desta, parece tornar-se inútil e inclusive contraproducente. Do ponto de vista mecânico aumentaria o risco de flambagem das ancoragens de fixação.

Todavia, há que se observar, que construtivamente, a necessidade da implantação de perfis metálicos para a execução da subestrutura auxiliar do revestimento obriga que a FCGP possua uma espessura da câmara com maiores dimensões, ficando esta geralmente compreendida entre 5 e 15cm.

Os aspectos a serem considerados para o dimensionamento da espessura da câmara, bem como das dimensões das aberturas de entrada e saída de ar estão descritos no ANEXO C.

3.4 SEGURANÇA AO FOGO

Em uma edificação, o tempo necessário para a ocorrência da inflamação generalizada (crescimento e propagação do fogo nos ambientes) é influenciado pela natureza dos materiais presentes nas superfícies dos elementos construtivos. Com a utilização de materiais adequados, este tempo pode ser prolongado, elevando o nível de segurança ao fogo da edificação (IPT, 1998).

Uma vez que o incêndio atinge a fase de inflamação generalizada no compartimento de origem, os elementos construtivos estarão sujeitos à exposição de intensos fluxos de calor.

Será a capacidade desses elementos de suportarem tal ação (característica denominada de "resistência ao fogo") que permitirá conter o alastramento do incêndio ou manter a estabilidade estrutural do edifício.

A resistência ao fogo é "a capacidade de um elemento construtivo exposto ao incêndio de manter suas características quanto a estabilidade, impedir a passagem do fogo para um outro ambiente (isolação térmica, estanqueidade a gases quentes e chamas, resistência mecânica e estabilidade)" (IPT, 1998).

Porém, ocorrem modificações importantes nos principais fatores que definem o dano do incêndio nos elementos construtivos em função da situação particular do ambiente incendiado, tais como:

- duração da fase de inflamação generalizada;
- temperatura média dos gases durante a fase de inflamação generalizada;
- fluxo e calor médio que penetra nos elementos construtivos durante a fase de inflamação generalizada.

i- Aspectos construtivos

Este aspecto refere-se à possibilidade de propagação de fumaça no interior da edificação, ou para um outro pavimento, com a possibilidade de propagação do fogo entre os pavimentos através da extremidade das paredes.

A norma BS 8298 (1994) recomenda a implantação de barreiras horizontais e verticais na câmara de ar das fachadas não aderidas, constituídas por materiais não combustíveis e com resistência ao fogo de no mínimo 30 minutos. Esta recomendação tem por objetivo promover a compartimentação de determinadas seções da fachada, dificultando a propagação do incêndio entre os pavimentos e entre unidades horizontais.

Neste caso, a câmara de ar seria interrompida a cada pavimento formando diversos módulos de ventilação, conforme pode ser observado na Figura 3-11.

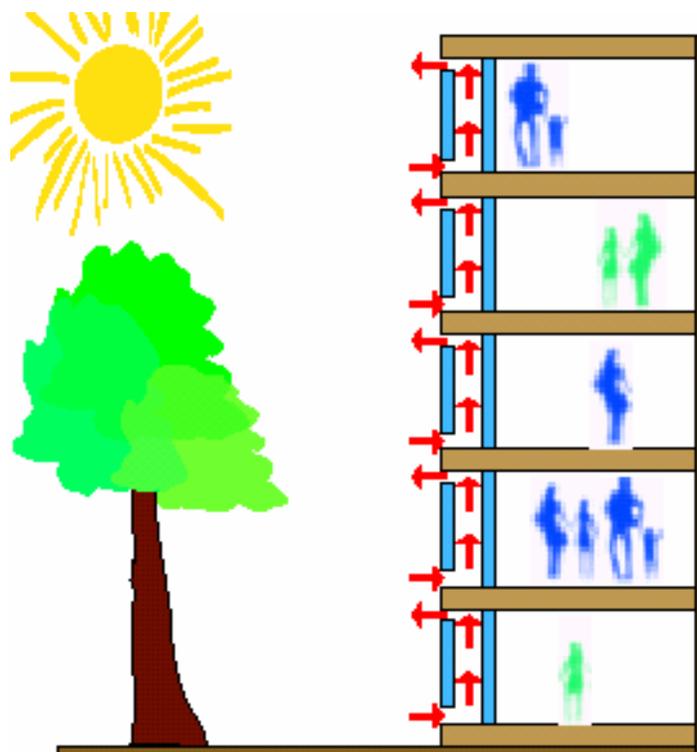


Figura 3-11-Vedação ventilada interrompida a cada pavimento (CSTB, 2000).

3.5 A ESCOLHA DAS PLACAS DE GRÊS PORCELANATO

A escolha dos componentes a serem utilizados para a execução de uma FCGP deve ser realizada em função das necessidades técnicas e estéticas, definições das linhas gerais e detalhes construtivos da obra; da composição do custo direto e indireto das diversas opções, levando-se em consideração o custo dos insumos, equipe de apoio, e a facilidade de execução e manutenção.

São vários os fatores que influenciam diretamente no custo e desempenho final dos sistemas de revestimentos não aderidos, em especial quando se refere à FCGP, tais como: o sistema de fixação (visível ou oculto, fixados à estrutura de suporte ou diretamente ao elemento de vedação através de ancoragens pontuais ou diretas), o tipo de metal utilizado (aço inoxidável ou alumínio), e finalmente a dimensão das placas (quanto menores, maior a quantidade de insertos e/ou guias e montantes metálicos, menor a produtividade) e a qualidade do componente de revestimento escolhido.

Segundo Mäntylä (2001), a absorção de água é o aspecto técnico mais importante a ser considerado para revestimentos de fachada com placas cerâmicas. Esse valor deve ser baixo o suficiente para dar ao revestimento a capacidade de resistir a poluição, a erosão e a todas as mudanças climáticas devido à temperatura.

A resistência ao congelamento das cerâmicas é consequência da alta ou baixa absorção de água, sendo, portanto, o material que possui a mais baixa absorção o que melhor resiste ao congelamento. Nos países onde as condições climáticas são severas, Mäntylä (2001) afirma que a máxima absorção permitida é de 1,5% devido às mudanças extremamente dramáticas na temperatura, combinadas à pressão do vento.

Comentando sobre a utilização de revestimentos não aderidos¹¹, Soriano (1999) afirma que quando da escolha, deve dar-se prioridade ao conhecimento das características mecânicas da placa e à sua estrutura, já que disto dependerá a segurança e a durabilidade da fachada.

A resistência à flexão deve ser elevada o suficiente para resistir aos esforços devidos à pressão do vento e ao choque acidental de corpos, como é o caso das gôndolas de limpeza. Mäntylä (2001) diz ser este valor estabelecido pela norma EN 100, em torno de 35 N/mm², porém, as placas cerâmicas de maior qualidade atingem valores acima de 50 N/mm².

Quanto aos outros condicionantes que não os puramente mecânicos relacionados com a resistência das placas estão os aspectos de composição arquitetônica que determinam o tamanho das peças, e conseqüentemente os esforços à flexão e à cortante sobre as ancoragens e sobre a própria placa, e a solução estética do conjunto.

A escolha da textura ou acabamento superficial das placas deverá dar-se entre aquelas que sejam compatíveis com a sua exposição durante o longo período de tempo em um determinado ambiente, sem que haja alterações de cor ou em outros fatores estéticos, pela ação dos raios UV, ou atmosferas contaminadas que propiciem a deposição de sujidades.

Ainda quanto aos fatores estéticos, Mäntylä (2001) sugere que a estabilidade das cores deve ser checada e o resultado deve ser estável. A resistência ao ataque químico por ácidos e bases, também deve ser verificada, sendo que o resultado alterado, significa que o componente possui baixa resistência a poluição atmosférica.

É recomendável que cerâmicas para uso em fachadas não sejam revestidas por qualquer tipo de hidrofugante devido à possível alteração no aspecto

¹¹ Referindo-se às fachadas ventiladas executadas com placas pétreas.

acarretada pela erosão a que o revestimento está sujeito com o passar do tempo.

Mäntylä recomenda para tanto, a utilização de porcelanatos do grupo Bla, GL (ISO 13006), em fachadas-cortina com placas cerâmicas, deixando claro, entretanto, que o fato da placa ser vitrificada (GL – *glazed* em inglês), não é fator preponderante nesta escolha.

Esse autor afirma que apesar da placa de grês porcelanato possuir excelente resistência mecânica, é imprescindível a implantação de uma tela de proteção no tardo da placa com o intuito de se evitar sua queda em caso de ruptura.

O manual da Marazzi (1997) também discorre sobre essa forma de proteção, que é obtida a partir do uso de um adesivo poliuretânico para a colagem de uma tela de fibra de vidro com malha de 4 x 5mm ao tardo da placa.

3.6 PAGINAÇÃO E COORDENAÇÃO MODULAR

A paginação é um procedimento de projeto de fundamental importância para a execução da FCGP, já que, além de determinar o padrão estético da fachada, busca a coordenação modular de forma a determinar o local de inserção da subestrutura auxiliar de suporte, e por consequência, a localização dos insertos, sendo também responsável pela racionalização dos cortes das placas cerâmicas.

Quando da utilização do sistema com fixações visíveis, os montantes são fixados à base a distâncias bem definidas, que são tomadas em função das dimensões das placas cerâmicas. Para o caso da utilização de fixações ocultas, cada “fiada” de placas requer a utilização de duas guias horizontais. Estes fatos explicam porquê os grandes formatos são mais econômicos para estes sistemas de fixações.

As dimensões das placas de grês porcelanato geralmente utilizados como revestimentos para as fachadas-cortina têm medida modular de 300mm, sendo que suas dimensões nominais variam de 300 x 300 mm a 600 x 1200 mm.

A montagem da maioria dos formatos prevê uma junta de 8 mm, que se mantém fixa graças às características construtivas.

Para a racionalização do sistema construtivo é de fundamental importância que quando do projeto de um edifício novo, o arquiteto tome em consideração uma medida modular cerâmica a fim de se produzir um revestimento formado em sua grande maioria por componentes cerâmicos inteiros, o que traria grandes vantagens econômicas e estéticas.

É também de extrema importância, o desenvolvimento de elementos modulares, como é o caso dos caixilhos, de modo a se obter um sistema totalmente integrado e satisfatoriamente resolvido.

Já no caso de adaptações ou "*retrofit*", as medidas existentes normalmente irão requerer o corte do componente cerâmico. Deve-se ter em consideração que uma quantidade excessiva de cortes é antieconômica. Quando da adaptação do sistema a projetos de arquitetura sem qualquer modulação, ou seja, projetos que não foram desenvolvidos racionalmente, caberá ao projetista da fachada propor a otimização da paginação, buscando a coordenação modular, já que a perda de material decorrente do número excessivo de recortes, utilização de maior número de montantes, e de mão-de-obra requeridas para ajustes, é um contra senso quando se trata de uma montagem industrial, podendo inviabilizar economicamente a utilização do sistema. Para tanto, deve-se analisar:

- a coordenação dimensional entre os diversos componentes do revestimento e destes com os demais subsistemas com os quais interage;
- a especificação dos componentes com as características desejáveis para cada uma das solicitações às quais o revestimento está sujeito;

- interferência entre os diversos subsistemas do revestimento vertical externo: vedação, estrutura, esquadrias e instalações.

Portanto, a primeira atitude a ser tomada, em termos de projeto, é um estudo gráfico, a fim de se verificar a melhor distribuição das placas sobre a fachada. Deste modo, pode-se avaliar a melhor escolha estética, técnica e econômica para o projeto.

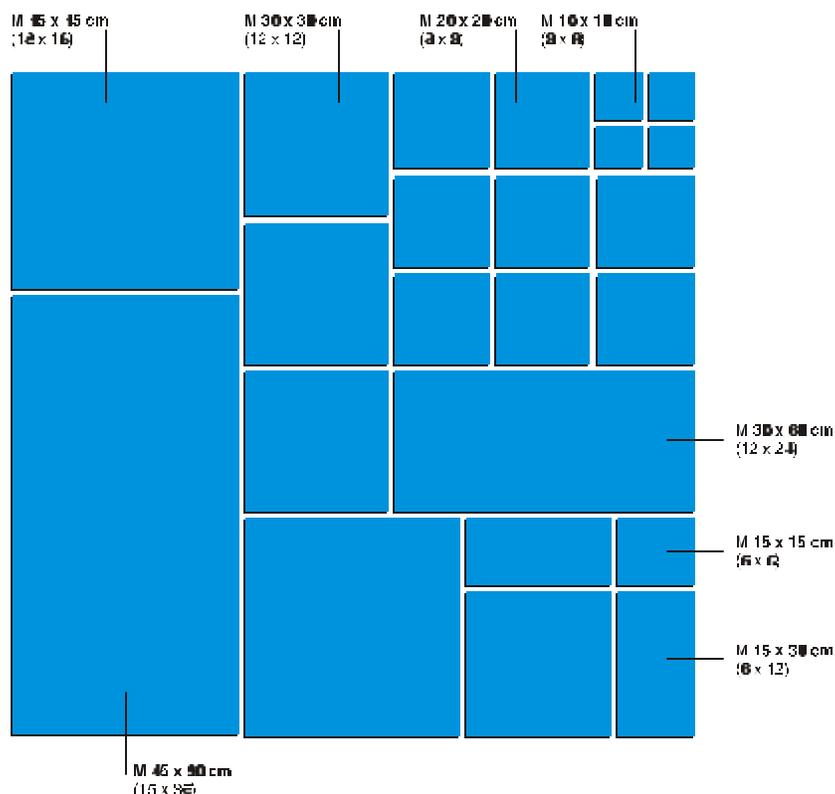


Figura 3-12-Exemplo de modulação de placas de grês porcelanato utilizadas como revestimentos de fachada-cortina

3.7 O PROJETO DA FACHADA-CORTINA COM PLACAS DE GRÊS PORCELANATO

O projeto para produção deve levar em consideração as soluções técnicas que serão adotadas na obra, sendo imprescindível para tal: a consideração dos equipamentos existentes e os que deverão ser inseridos no canteiro, o

espaço físico disponível para a estocagem, preparo e montagem dos componentes, as possíveis interferências com as demais frentes de produção e o cronograma da obra.

Para que realmente atenda às necessidades da produção, o projeto da FCGP deve conter:

- a) condições de início para a execução dos serviços;
- b) ferramentas de uso pessoal;
- c) equipamentos para transporte vertical e horizontal;
- d) definição das plataformas de trabalho;
- e) definição dos locais para armazenamento dos dispositivos, componentes e elementos;
- f) dimensionamento da equipe de produção;
- g) procedimentos de produção;
- h) referências, dimensões e características de acabamento das placas de grês porcelanato;
- i) paginação das placas cerâmicas de modo a se evitar cortes e estabelecer os parâmetros arquitetônicos;
- j) tipo e dimensionamento da fixação a ser utilizada (visível ou não visível);
- k) definição da subestrutura auxiliar em função do tipo de fixação escolhido, cargas e dimensões das placas;
- l) tipo e dimensões dos chumbadores a serem utilizados para a fixação da subestrutura à vedação da edificação;
- m) detalhe das pontes de ligações (ancoragens) entre chumbadores e subestrutura auxiliar;
- n) acabamento superficial do elemento de vedação externo;
- o) necessidade ou não da implantação de isolante térmico;

- p) detalhe da interface do sistema com as esquadrias;
- q) detalhe dos dispositivos localizados nas aberturas de entrada e saída do ar;
- r) espessura das juntas entre as placas cerâmicas;
- s) tipo de selante a ser utilizado entre as placas e a subestrutura auxiliar de suporte;
- t) distância entre o paramento externo (tardoz das placas) e a vedação externa (espessura da câmara);
- u) forma de fixação dos chumbadores e rebites;
- v) as tolerâncias e forma de controle que serão adotadas.

As etapas do cronograma de execução devem ser definidas de acordo com as especificações e com as verificações preliminares.

A opção por um tipo de fixação, subestrutura ou ancoragem em particular, além do componente para revestimento deve ser analisada não apenas em função do custo do sistema de fachada como um todo, mas também, pela conseqüente potencial diminuição no desempenho do sistema.

A ASTM C 1242 (96b) recomenda também que os parâmetros, especificações e requisitos de desempenho e tolerâncias a serem obedecidos quando da contratação de fachadas revestidas com placas pétreas não aderidas devem estar contidos em um documento elaborado pelo arquiteto, engenheiro ou contratante, sugerindo que os seguintes itens constem do contrato:

- a) desenho de arquitetura e especificações identificando o tipo do revestimento, acabamento, dimensões, também detalhes estruturais e da interface com outros elementos arquitetônicos;
- b) desenho de arquitetura e especificações identificando o escopo do trabalho e materiais a serem utilizados;

- c) definição dos critérios de desempenho a serem satisfeitos;
- d) especificação das normas de desempenho a serem utilizadas para se alcançar esses critérios;
- e) fornecimento de garantia do desempenho para os materiais e métodos de construção;
- f) prescrição dos detalhes definitivos do material e do sistema que satisfaçam o estabelecido em projeto. As especificações devem também estabelecer as tolerâncias admissíveis para a montagem;
- g) condições que requeiram um consultor para a determinação das especificações de fabricação, instalação, engenharia e ensaios especiais, quando:
 - são consideradas ou especificadas conexões complexas ou carregamentos extraordinários, ou ainda a utilização de materiais e métodos desconhecidos ou de questionável desempenho;
 - se necessitar de projetos especiais que dependam do fornecimento de relatório de desempenho do sistema específico ou do material; complexidade do sistema de revestimentos; complexidade de ancoragens e conexões; condições de carregamentos extremos ou não usuais; especificação de estrutura não usual;
 - houver múltiplos materiais de revestimentos na mesma fachada;
 - a subestrutura auxiliar tiver flexibilidade superior a $L/600$ em qualquer direção;
 - da ocorrência de sobrecargas causadas por abalos sísmicos, furacões, tornado ou métodos de instalação e manuseio;
 - houver predomínio de código de edificações especial.

Os projetos executivos deverão conter em detalhes todas as etapas de construção incluindo: tipos de materiais, dimensões, acabamentos, bem

como quaisquer outras informações pertinentes à execução das ancoragens e instalação.

3.7.1 As juntas entre componentes

As juntas de colocação ou juntas entre componentes são as responsáveis pela capacidade de absorver as deformações de origem estrutural e as deformações de expansão e retração, tanto da base como aquelas intrínsecas ao revestimento. Além disso, as juntas também são responsáveis pela estanqueidade do revestimento e devem permitir fácil manutenção.

Para a NBR 9817 (1987) *"juntas de revestimento são as frestas entre duas peças de materiais idênticos ou distintos"*.

Já a BS 6093 (1981) define juntas como sendo "interrupções na continuidade física do revestimento e, portanto, são potencialmente interrupções de seu desempenho".

3.7.2 Tipos de juntas

A princípio, existem dois tipos de juntas, segundo a UAF (2000): as juntas abertas (juntas sem proteção contra a infiltração de águas pluviais) e as juntas fechadas que são juntas com proteção contra a penetração da água de chuva. Alegando serem diferentes as tensões atuantes nos diferentes segmentos de juntas, a UAF divide as juntas entre componentes em três tipos: as juntas verticais; as juntas horizontais e os cruzamentos entre as juntas verticais e horizontais.

3.7.2.1 Juntas abertas

A UAF (2000) recomenda que este tipo de juntas não seja usado em locais onde as condições climáticas sejam extremas, ou onde o revestimento possa ser danificado por vandalismo. Esta entidade afirma que juntas com até 3mm de espessura podem impedir que a água atinja a lâmina interna, se esta se

encontrar a uma distância igual ou superior a 45mm do revestimento. O artigo recomenda também, que no caso da adoção de juntas abertas, deve-se garantir que a lâmina interna seja resistente à umidade e que as juntas verticais sejam fechadas.

Já o manual da Marazzi (1997) afirma que quando se utiliza placa de grês porcelanato de 600 x 600mm, com juntas 8mm de espessura abertas, as seguintes situações são observadas¹²:

No caso em que apenas as juntas horizontais são mantidas abertas, **nas condições descritas na Figura 3-13**, a quantidade de águas pluviais que adentra a câmara é de 5,5%, sendo que desta, 0,3% atinge a lâmina interna, e apenas 0,1% é absorvida por esta. Quando se mantêm ambas as juntas entre componentes abertas (verticais e horizontais), a porcentagem que adentra o sistema é da ordem de 16,1%. Destes, 0,4% atingem o paramento interno, 0,1% é absorvida pela parede e o restante é escoado pelo tardo da placa ou através da câmara de ar. Porém, é necessário deixar claro que ensaios sob as condições previstas nas normas NBR 10821 (2000), ASTM E 331-96 e ASTM E 547-96 devem ser realizados para a confirmação de tais dados sob as condições climáticas brasileiras.

As juntas da FCGP constituem-se basicamente em:

espaços normalmente deixados abertos, que separam duas placas de grês porcelanato com o objetivo de promover o alívio das tensões oriundas das movimentações intrínsecas e extrínsecas ao conjunto, caracterizando um “revestimento ventilado”.

¹² O manual cita apenas que os dados são retirados de estudos realizados na Alemanha, omitindo as condições de vazão e velocidade do vento às quais os painéis foram submetidos para se obter tais resultados.

Considerando-se o comportamento quanto às solicitações dos agentes climáticos, a vulnerabilidade da FCGP, encontra-se nas juntas, justamente em virtude destas normalmente serem deixadas abertas.

Segundo a Marazzi (1997), isto não provoca alterações significativas no fluxo de ar e a quantidade de águas pluviais que entra no sistema é considerada mínima.

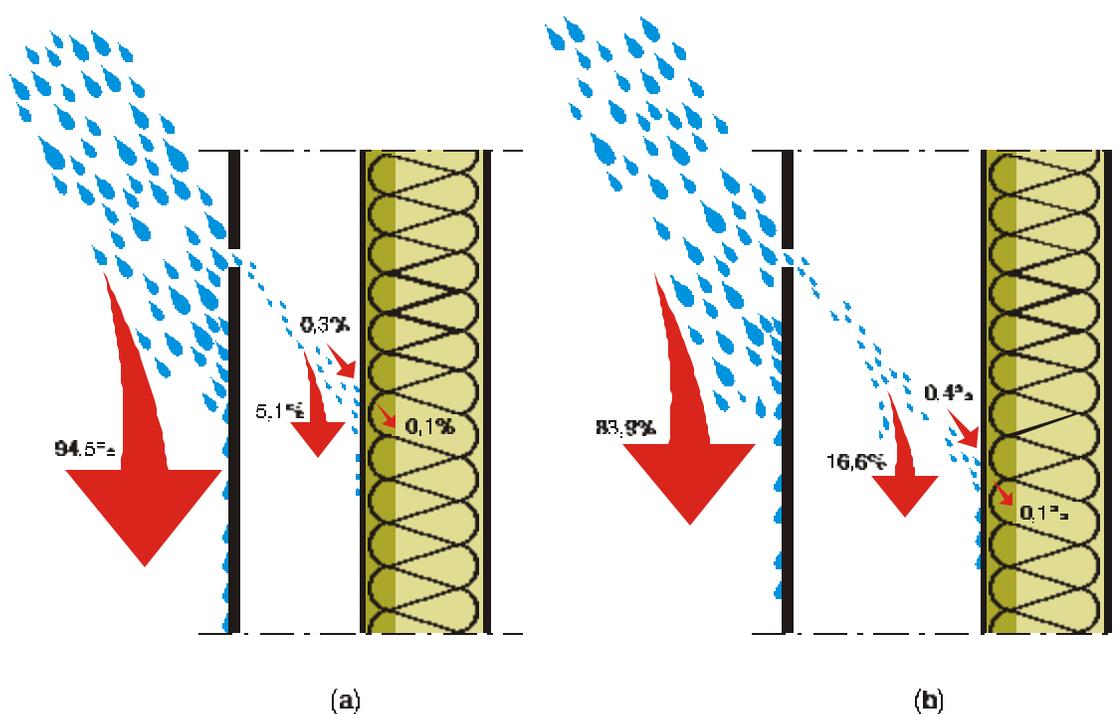


Figura 3-13- Porcentagem de água que incide na parede do edifício no caso de juntas abertas (8mm) em placas de 600x600mm (MARAZZI, 1997).

(a) - Apenas as juntas horizontais abertas (câmara com 60mm).

(b) - Ambas as juntas abertas (Câmara com 100mm)

No entender de Allen (1990), são cinco as forças que podem fazer com que a água penetre através das juntas: a gravidade, o "momento", a tensão superficial, a capilaridade e o vento.

Allen esclarece que a gravidade apenas consegue fazer com que a água adentre o revestimento, se a borda deste possuir um plano inclinado que possibilite seu direcionamento para o interior da câmara de ar.

A UAF (2000), também adverte para o fato de que é grande a quantidade de água que invade a câmara no caso das juntas horizontais apresentarem um plano inclinado que favoreça o escoamento d'água para dentro do sistema. E que esta quantidade depende da intensidade da chuva, bem como da altura do pano de revestimento.

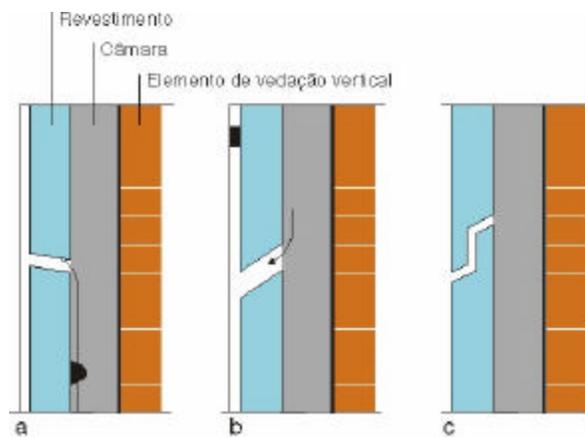


Figura 3-14- (a) e (b) juntas com inclinação. Quando mal construídas podem levar a água para o interior do sistema. (c) junta em formato de "labirinto". (UAF, 2000)

O "momento" é entendido por Allen (1990), como sendo a componente horizontal de energia da chuva, que faz com que a água atinja a superfície do revestimento em determinado ângulo, respingando para dentro do sistema quando as gotas incidem sobre a junta.

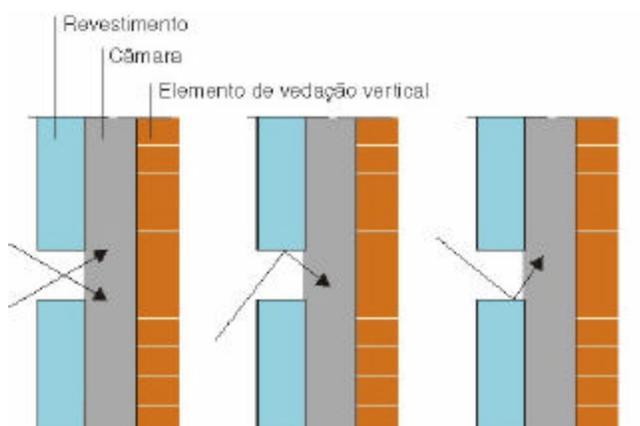


Figura 3-15 -Penetração da água pelo efeito de "momento" (respingo) (UAF, 2000)

Para esse autor, o problema pode ser solucionado com o emprego de selantes ou desenhando-se as juntas em forma de “labirintos”.

A UAF (2000) afirma que este problema pode ser solucionado apenas com a redução da espessura das juntas, atentando, porém, para o fato de que juntas muito estreitas (de 0,01 a 4,5mm) podem criar uma “ponte” pelo fato da tensão superficial provocar uma aderência da lâmina d’água à superfície do revestimento capaz de propiciar a infiltração para o interior da câmara.

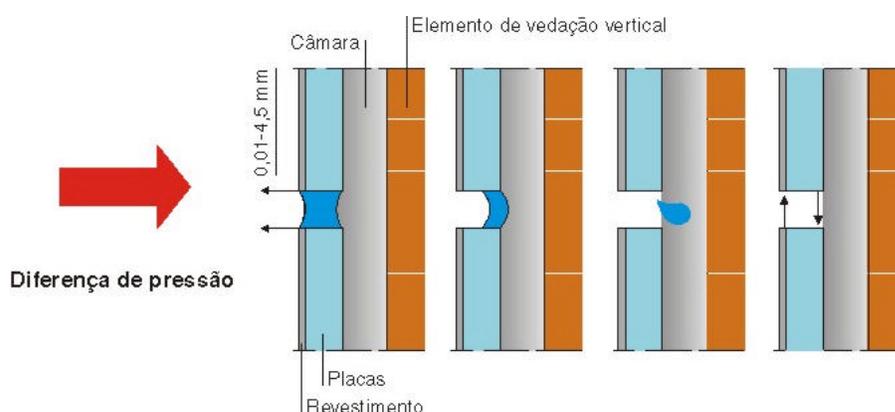


Figura 3-16-Penetração de água causadas por diferença de pressão devido a juntas estreitas (UAF, 2000)

Já a diferença de pressão causada pela incidência do vento sobre o revestimento pode ser solucionada com a adoção do princípio do “rain screen wall”.

Segundo a UAF (2000), a ventilação da câmara de ar contribui para a eliminação da diferença de pressão entre o exterior e o interior do sistema que porventura venha a ocorrer em virtude da incidência de vento sobre o revestimento. O artigo publicado por esta entidade aponta como fator primordial para o bom funcionamento da fachada ventilada, que a vedação vertical seja impermeável ao ar, observando que a água pode penetrar através das trincas ou perfurações que porventura haja na parede.

Rousseau (1990); Allen (1990) e a UAF (2000) chamam a atenção para a necessidade de compartimentação da câmara de ar em fachadas muito

extensas, pela necessidade de se vedar a câmara nos cantos da fachada, evitando-se assim, grandes variações de pressão no plano da parede que poderiam criar um intenso movimento do ar através do revestimento. No caso de chuvas com vento, a combinação da largura das juntas, com a espessura do componente e a direção e velocidade do vento pode levar a água a penetrar no revestimento.

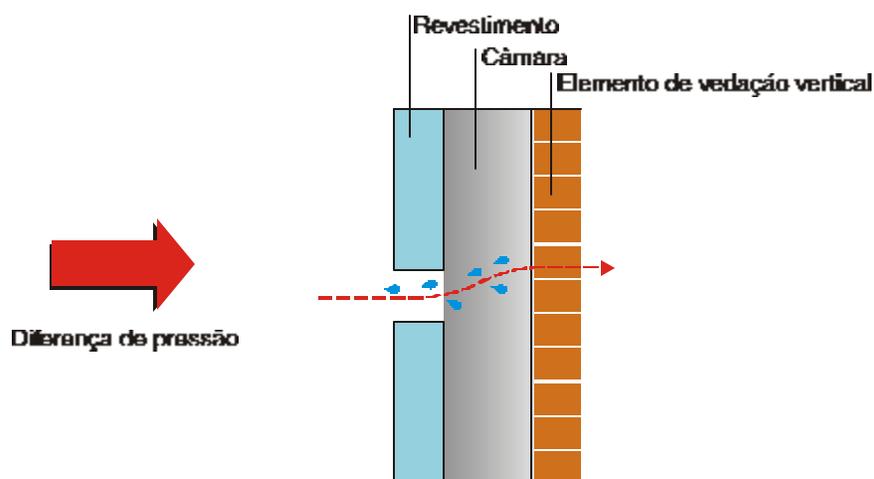


Figura 3-17- Penetração de água devido à má impermeabilização da lâmina interna (UAF, 2000)

3.7.2.2 Juntas fechadas

Segundo a UAF (2000), essas juntas são caracterizadas pela utilização de uma proteção externa contra a ação da chuva. Deve-se dotar o revestimento de aberturas e de drenos para se promover a equalização das pressões e o escoamento de água que porventura adentre o sistema durante tempestades.

Não se deve empregar selantes, especialmente silicones sem se comprovar previamente, as possíveis ações de incompatibilidade química com o revestimento e as mudanças de cor devido às ações dos raios UV. Deve-se lembrar que, por princípio, este sistema não requer nenhum tipo de proteção das juntas. Qualquer vedação em encontros com esquadrias, por exemplo, significam uma solução mal resolvida do sistema construtivo (SORIANO, 1999).

É óbvio, porém, que apesar de não serem usuais, pode-se adotar como solução para o sistema as juntas fechadas com selantes. Desde que devidamente justificados os motivos.

3.7.3 Dimensionamento da subestrutura de suporte

Em um sistema de produção com características bem definidas, como deve ser a FCGP, é necessário que se tenham elementos estruturais pré-dimensionados para o emprego na maioria das situações de utilização do sistema. Porém, para situações especiais, pode ser necessário o dimensionamento de determinados elementos, sendo que para tanto, as seguintes ações devem ser consideradas sobre todo o sistema, tanto para os efeitos sobre o suporte, como sobre a ancoragem e a placa de revestimento:

- gravidade;
- a pressão que o vento exerce sobre a fachada que deve ser determinada de acordo com o estabelecido na NBR 10821 (2000), que divide o Brasil em cinco regiões e classes de ocupação, que podem ser observadas na Figura 3-18.
- sísmicas;
- impostas por deformações estruturais ou ações reológicas e de origem térmica;
- de impacto;
- de fogo;
- de congelamento.

Segundo a ASTM C 1242 (96b), os fatores de segurança são adicionados às solicitações de cálculo com o intuito de se levar em consideração os seguintes fatores: variações nos carregamentos aplicados, variações nas seções dos elementos estruturais, variações na resistência dos materiais, perda de resistência com o tempo e erros construtivos.

O método para a determinação do fator de segurança, segundo a ASTM C 1242, é objeto de discussões contínuas entre arquitetos e engenheiros, afirmando que cinco métodos primários podem ser utilizados para se estabelecer o fator de segurança. Estes métodos são baseados no conhecimento dos materiais em questão, adquirido em função da experiência ou através da realização de ensaios. A norma não expressa nenhuma opinião quanto aos valores dos coeficientes de segurança, deixando a adoção destes a cargo dos profissionais envolvidos no projeto.

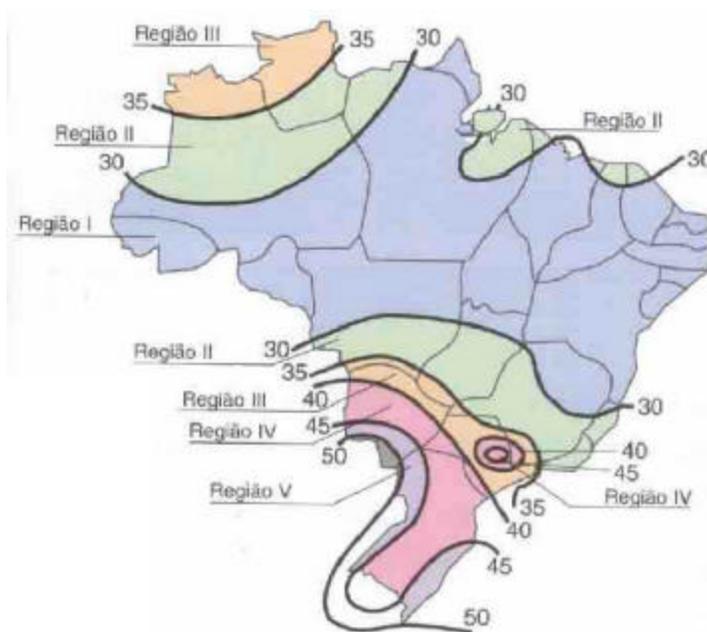


Figura 3-18-Gráfico das isopletas da velocidade básica do vento; "vo" em m/s no Brasil – NBR 10821

Desses cinco métodos citados pela norma, três podem ser utilizados para a determinação dos coeficientes de segurança de uma FCGP, são eles:

- i- Critério da variabilidade - Valores relativos de fatores de segurança podem ser obtidos baseados na variação dos resultados obtidos em ensaios. Os adeptos deste método argumentam que a maior variação é a menor garantia que o elemento ensaiado irá comportar-se de uma maneira previsível. Este método requer a existência de dados de vários ensaios do elemento em questão. A quantificação de ensaios, bem

como a determinação destes, devem fazer parte das especificações quando da utilização deste método;

- ii- Critério do uso em construções - Valores relativos podem ser determinados para o sistema, dependendo de sua intenção de uso no edifício. A teoria aqui, é que o revestimento está sujeito a diferentes cargas e forças em várias localizações do edifício. Assim, existem determinados fatores que refletem sua relativa vulnerabilidade. Os fatores de segurança determinados por outros métodos podem ser ponderados em função do local de sua utilização;
- iii- Critério da análise estatística - Este método é baseado nos dados de ensaio de no mínimo 30 amostras, onde a análise dos dados proporciona a resistência média, o desvio padrão dos resultados e o coeficiente de variação. Essas variações são extrapoladas para uma curva de distribuição normal, utilizando-se procedimentos estatísticos. Pela manipulação da variação dos dados, determina-se uma fórmula que com dados adequados apontam para a variação na resistência original, alteração na resistência, e fatores de tolerância.

De uma forma mais simplificada e atendo-se ao comportamento da fachada como um todo, Soriano (1999) afirma que “no cálculo das ações, sobre a fachada, o coeficiente de majoração não deve ser inferior a 1,5”.

O autor afirma que neste tipo de revestimento com câmara, deve-se levar em consideração que além das sucções e pressões a sotavento e a barlavento do edifício, são geradas sucções importantes e complementares (no canto do pano, as pressões são praticamente triplicadas) que devem ser consideradas tanto no dimensionamento do canto das placas como na própria subestrutura, ancoragens e suportes e no dimensionamento dos elementos resistentes, tomando-se para tanto, um coeficiente de majoração não inferior a 3.

Tabela 3-3-Fatores dos elementos do sistema que se deve ter em consideração (SORIANO, 1999)

Suporte	Ancoragem	Revestimento
Pertence à estrutura do edifício ou apóia-se sobre a mesma	ponto de fixação segundo o suporte (em cantos ou em panos de alvenaria)	resistência à flexão devido às ações de empuxo e de sucção do vento
deformabilidade	procedimento de fixação segundo a natureza do suporte (confiabilidade da fixação)	resistência à cortante devido ao empuxo e sucção do vento
esbeltez	resposta ao arrancamento segundo resistência ao suporte	resistência ao choque ou impacto
homogeneidade dos componentes	resposta ao arrancamento segundo distancia da borda	modificação da resistência em virtude da quantidade de umidade
resistência e fragilidade	deformabilidade	efeitos do movimento sísmico
efeitos do movimento sísmico	confiabilidade na fixação do revestimento	efeitos de congelamento

Segundo a NBR 10821 (2000), deve ser considerado para efeito de cálculo e determinação das pressões de ensaio¹³ de cargas uniformemente distribuídas e das pressões de ensaio de estanqueidade à água, a altura em relação ao solo do ponto mais alto da fachada.

Se o edifício possuir desníveis, deve ser considerada a diferença de cota entre o ponto mais baixo do terreno e o ponto mais alto da fachada como parâmetro de cálculo.

Essa norma determina que quando submetida a pressão de ensaio, para a região onde ela será implantada, a fachada não deve apresentar:

- ruptura, colapso total ou parcial de qualquer um de seus componentes;
- deslocamento máximo instantâneo superior a $L/175$ do vão, sendo L o comprimento livre do perfil em análise (em nenhum caso pode ser superior a 2 cm em qualquer um dos seus perfis);
- deformação residual superior a 0,4% do vão, medidas após pelo menos 3 minutos do desligamento da pressão de ensaio.

¹³ Os ensaios para fachadas-cortina preconizados pela ASTM estão descritos no ANEXO D.

Nesta etapa, devem ser também realizados, ensaios de tração em um determinado número de chumbadores fixados no substrato.

Estes ensaios servirão como parâmetro para a avaliação do desempenho do substrato como base de fixação, determinando o possível espaçamento entre as ancoragens, que servirão como base para a escolha da subestrutura auxiliar.

As considerações de cálculo para o dimensionamento estrutural dos perfis estão descritas no ANEXO A.

3.7.4 Detalhamento dos projetos gerais da subestrutura suporte

A tipologia da subestrutura auxiliar é definida em função do sistema adotado para a fixação das placas cerâmicas que pode ser dividido em duas variantes distintas: sistema com acoplamento visível ou sistema com acoplamento oculto.

O detalhamento de ambas as tipologias de subestruturas deve ser realizado de forma criteriosa, com o intuito de se procurar evitar a transferência de carregamentos não previstos para o sistema de FCGP, evitando-se assim, a ocorrência de patologias, que como em qualquer outro sistema construtivo, na grande maioria das vezes é originada na fase de concepção do projeto.

De acordo com Soriano (1999), a seleção de um sistema de fixações passa fundamentalmente pela consideração do método de união ao revestimento e da forma com que será efetuada a união ao suporte.

Com relação às placas de revestimento, Soriano (1999) afirma que a segurança frente ao desprendimento dá-se em função da seção ou superfície de contato fixação/placa. Portanto, uma fixação inserida em uma furação é menos eficiente que uma fixação executada com apoio sobre "garras". O autor afirma que a fixação inserida em uma furação, quando mal executada, pode provocar a avaria, se não o desprendido do revestimento, devido à pequena espessura das placas.

3.7.4.1 Sistemas com acoplamento visível

Neste caso as placas cerâmicas são fixadas à subestrutura por meio de cliques metálicos localizados próximos às suas arestas, ficando visíveis no revestimento. Esses cliques possuem orifícios que permitem sua fixação ao montante por intermédio de rebites.

A subestrutura auxiliar, geralmente executada em alumínio série 6000 – T6, é composta por perfis verticais (montantes) cujo posicionamento é definido em função da paginação (lançamento das placas cerâmicas sobre o plano da fachada) estabelecida no projeto de arquitetura. Estes, por sua vez, fixam-se à estrutura e/ou vedação vertical exterior da edificação por intermédio de ancoragens em forma de “U” ou de “L”, compostas pelo mesmo material dos montantes. A conexão dos perfis às ancoragens é realizada mediante parafusos ou rebites auto perfurantes, sendo a distância entre ancoragens estabelecida a partir da capacidade resistente do substrato e em função das ações do vento que se verificam no local de implantação da obra.

As ancoragens devem ser projetadas de duas maneiras distintas: o peso de cada montante e dos componentes de revestimento a este fixados, deve ser suportado pela ancoragem de “ponto fixo”¹⁴, enquanto que as ancoragens posicionadas nos “pontos deslizantes”¹⁵ devem ser projetadas de maneira a combater a ação do vento e permitirem a dilatação térmica do perfil, além

¹⁴ Neste trabalho tratar-se-á por *ponto fixo* à forma de fixação do perfil horizontal (guia) ou vertical (montante) que impede sua movimentação em qualquer direção.

¹⁵ Tratar-se-á neste trabalho por ponto deslizante à forma de fixação do montante à ancoragem que impede sua movimentação no sentido horizontal (quando solicitado por forças horizontais, como é o caso da ação dos ventos), permitindo seu deslocamento no sentido vertical com o objetivo de absorver as deformações ocasionadas por dilatações térmicas ou absorver pequenas deformações extrínsecas ao sistema. Já as guias são fixadas de maneira a permitir sua movimentação apenas no sentido horizontal de maneira análoga a anteriormente descrita.

de acomodarem as pequenas deformações impostas ao sistema, oriundas do substrato de fixação.

As ancoragens são também responsáveis pelo alinhamento e prumo dos montantes e conseqüentemente do sistema de FCGP, devendo para tanto, apresentarem regulagens nos três sentidos, que geralmente são conseguidas pela execução de furos oblongos.

A opção por fixar-se ou não chumbadores no elemento de vedação externa deve basear-se no resultado de ensaios de arrancamento a serem realizados no substrato após a inserção de fixações em pontos considerados críticos.

Apesar de serem muitas as variações existentes para cada um dos sistemas de acoplamento, todos eles mantêm a mesma estrutura básica, possuindo mudanças geralmente, no formato dos montantes e dos cliques, e na maneira como é projetada a regulagem dos componentes. Com o objetivo de se caracterizar a FCGP com acoplamento visível, e de se estabelecer uma nomenclatura para fins de projeto, é mostrada na Figura 3-19 uma tipologia de fachada-cortina comercializada pela empresa italiana *Graniti Fiandre*.

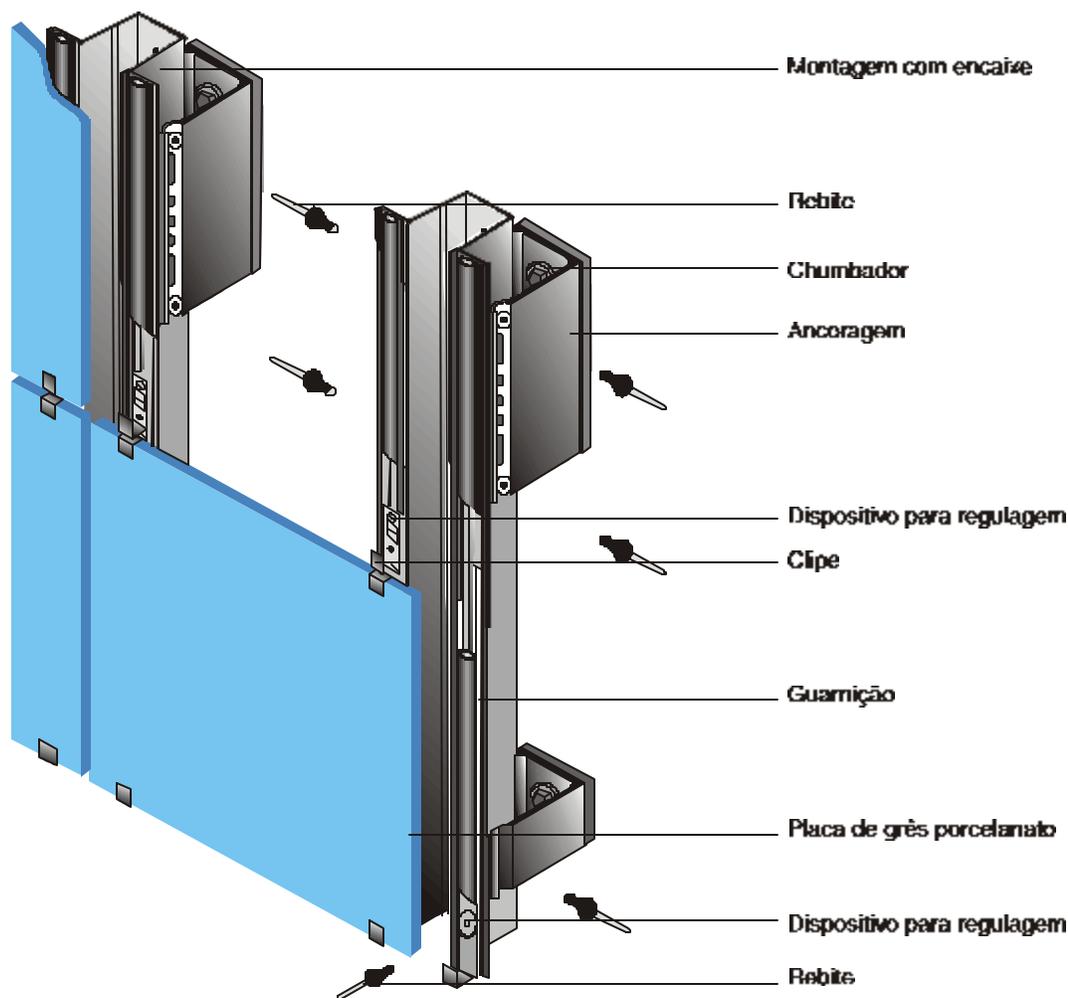


Figura 3-19-Fachada-cortina com placas de grês porcelanato (FCGP) com sistema de fixações das placas visíveis (GRANITI FIANDRE, s.d.)

3.7.4.2 Sistemas com acoplamento oculto

A subestrutura necessária para este sistema de fixação é diferente da subestrutura da fixação por acoplamento visível, sendo composta por: ganchos de ancoragem para fixação inseridos em furos cilindro-cônicos previamente executados no tardo das placas cerâmicas e subestrutura formada por perfis verticais (montantes) e horizontais (guias). Os ganchos são montados no tardo das placas com a função de permitir o acoplamento desta à subestrutura.

Nos ganchos superiores devem ser previstos sistemas de regulagem por parafusos que permitam ao instalador o prumo e nivelamento da placa. Um segundo parafuso permite bloquear a placa na guia, evitando que esta se mova horizontalmente em virtude de ventos laterais e de dilatações térmicas. Porém, apenas um dos dois ganchos superiores deve ser preso, para impedir a transferência de tensões à placa quando a guia for solicitada por esforços oriundos de dilatação térmica.

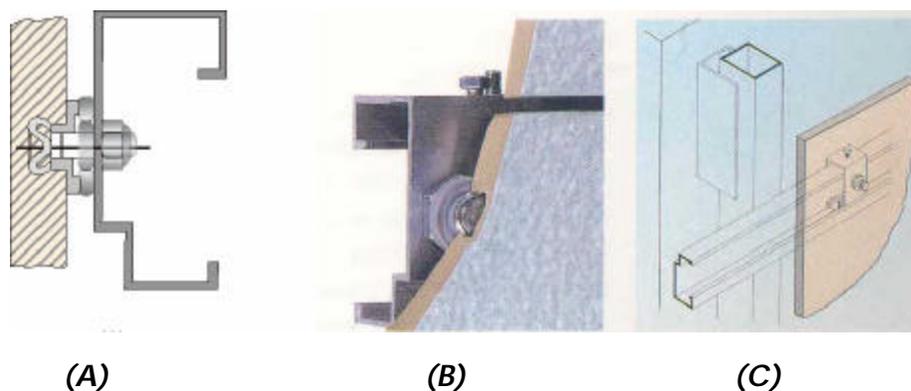


Figura 3-20-(A) Seção do sistema (chumbador de expansão e gancho metálico)
(B) Detalhe da instalação da placa
(C) Sistema de instalação completo (TECTÓNICA, 1995)

A subestrutura, neste caso, é composta por uma trama de montantes verticais e guias horizontais, geralmente executadas com perfis de alumínio estrudado.

O manual da Marazzi (1997) recomenda que os montantes tenham comprimento máximo de 3m em virtude do alto coeficiente de dilatação térmica do alumínio que é da ordem de $23.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Suas juntas devem coincidir com as juntas entre as peças cerâmicas e possuírem espessura da ordem de 10 mm. Deve-se também verificar as juntas estruturais dos edifícios, projetando-se a disposição dos perfis e placas de tal forma que estas sejam respeitadas.

A distância entre um montante e outro é função do projeto e do formato das placas cerâmicas utilizadas.

A fixação da subestrutura ao edifício dá-se por meio de ancoragens "L" ou "U" de alumínio com as mesmas características do alumínio utilizado para a estrutura. As guias horizontais são fixadas aos montantes verticais com o auxílio de rebites de aço inoxidável austenítico. As barras horizontais, com comprimento máximo de 6m, devem possuir ranhuras de fixação e deslizamento para permitirem as dilatações horizontais. Sobre estas, são conectadas as placas cerâmicas com o auxílio dos ganchos de ancoragem. A Figura 3-21 e a Figura 3-22 mostram com maiores detalhes os dispositivos que compõem o sistema de fachada-cortina da Fischer (1999).

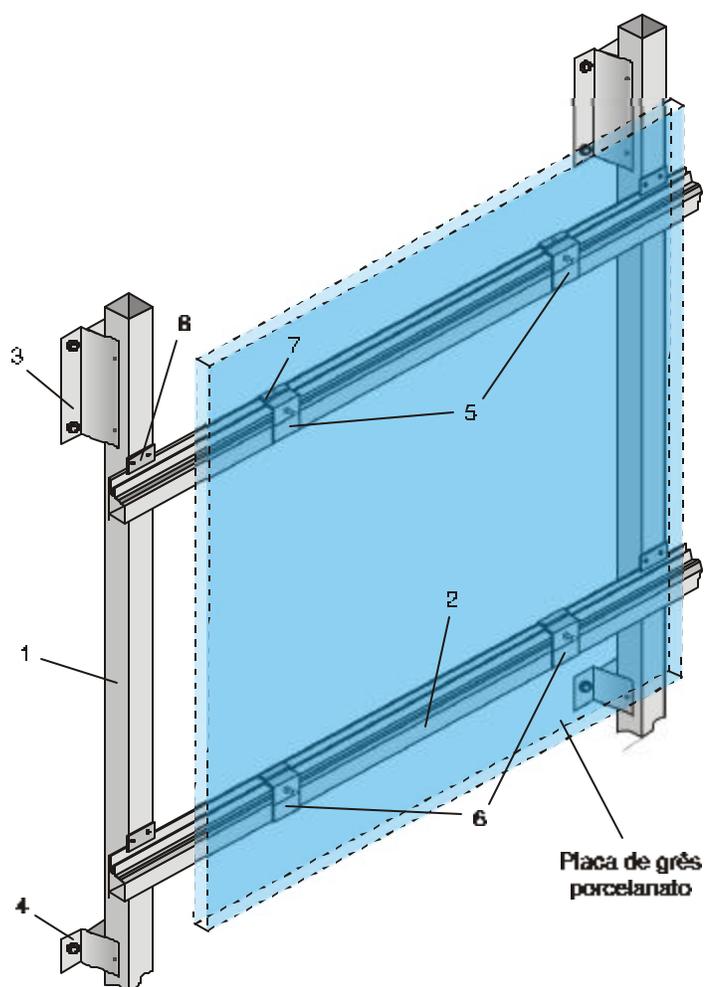


Figura 3-21-Sistema de componentes com fixação oculta (FISCHER, 1999)

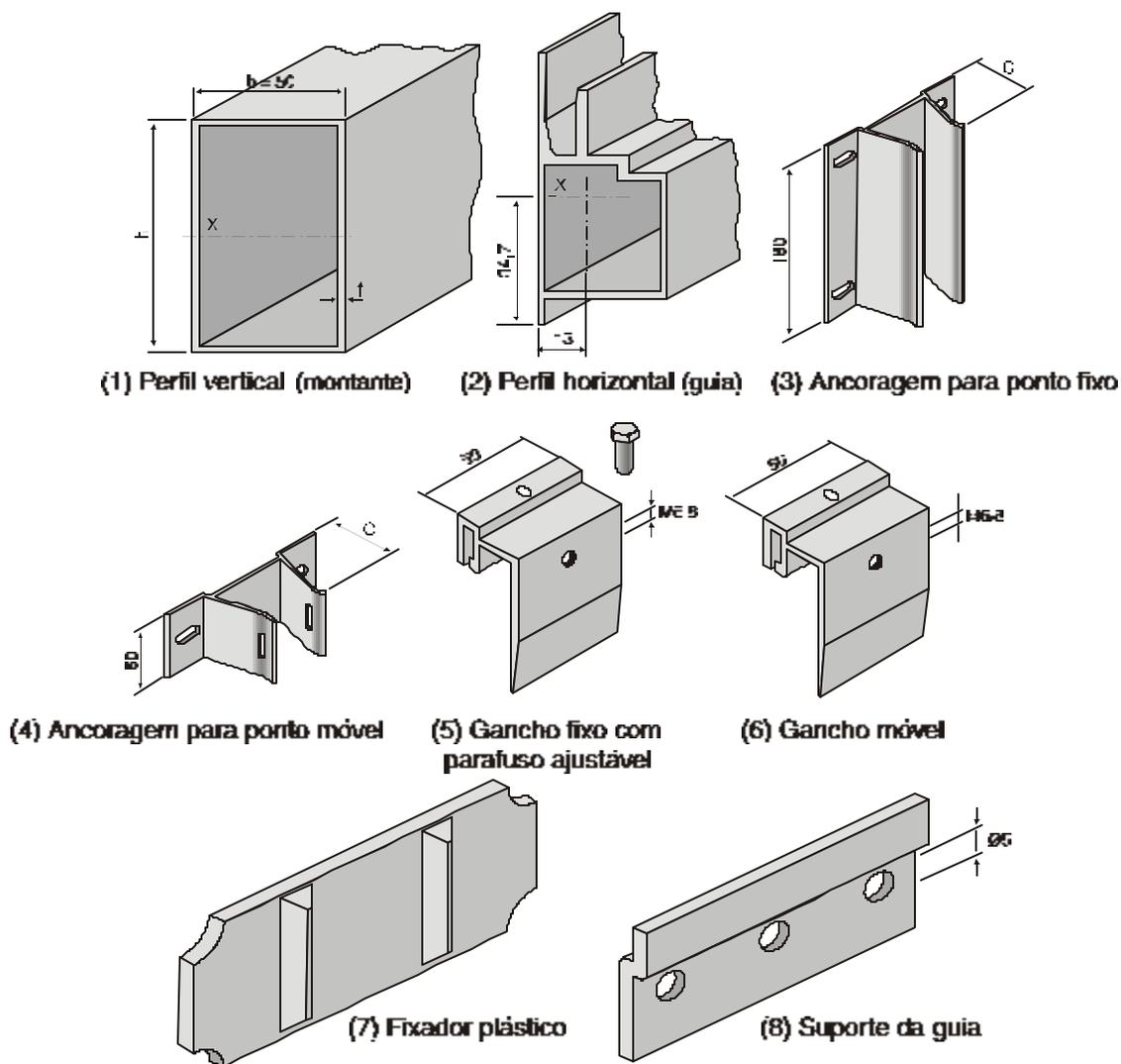


Figura 3-22- Detalhe dos componentes do sistema de fachada-cortina da Fischer

3.7.4.3 Materiais comumente utilizados na subestrutura auxiliar

Para a escolha dos materiais constituintes da subestrutura e acessórios de fixação, deve-se ter em conta que na maioria das vezes não é possível a realização de inspeções neste tipo de fachada, portanto, uma vez instalados dificilmente os componentes metálicos poderão ser acessados.

A Associação Brasileira de Corrosão - Abraco (2002) recomenda que "ao se considerar o emprego de materiais na construção de equipamentos ou

instalações é necessário que estes resistam à ação do meio corrosivo, além de apresentar propriedades mecânicas suficientes e características de fabricação adequadas”.

A norma UNE 41957-1 observa que unicamente os materiais resistentes à corrosão¹⁶ (aço inoxidável e alumínio) são aceitáveis para este tipo de fixação, devendo-se levar em consideração a incompatibilidade por par galvânico e fazendo especial advertência quanto ao risco do contato entre o alumínio e o aço inoxidável em circunstâncias sujeitas a ações agressivas, como é o caso dos ambientes urbanos, industriais e os marinhos.

Esta norma recomenda, em função da agressividade do meio, a utilização de aços inoxidáveis AISI 304 e AISI 316 para a aplicação como fixadores de fachadas de pedra.

Já a NBR 13707 (1996) recomenda que os dispositivos de fixação devem ser “constituídos por materiais inalteráveis que não sofram ataques de substâncias presentes na atmosfera”; relacionando os seguintes materiais como passíveis de serem utilizados como dispositivos de fixação para placas pétreas:

a) Aço inoxidável

- tipo ABNT 304: para atmosferas urbanas e industriais isentas de cloretos;
- tipo ABNT 316: para atmosferas urbanas, marinhas e industriais que contenham cloretos;

b) Cobre e suas ligas

¹⁶ A corrosão pode ser entendida como a “deterioração dos materiais pela ação química ou eletroquímica do meio, podendo estar ou não associada a esforços mecânicos” (ABRACO, 2002).

- cobre: recomendado para uso somente em grampos, não devendo ser utilizado em ambientes que contenham ácido sulfídrico e amônia;
- latão: devem ser usadas somente ligas com teor de zinco inferior a 15%;
- bronze-alumínio: recomendado para atmosferas marinhas;

c) Aço carbono

- pode ser usado, desde que galvanizado conforme NBR 6232, nas peças intermediárias ou junto ao suporte; nunca deve ser usado em contato com a rocha;

d) Alumínio

- em atmosferas marinhas ou industriais deve ser usada a liga 653-T6, 6061-T6, ou equivalente.

Sendo o aço inoxidável e o alumínio os materiais geralmente utilizados para a execução da subestrutura e fixações das FCGP, restringir-se-á a estes metais, a nossa atenção neste trabalho, tratando a seguir, de suas principais características quanto ao processo corrosivo.

i- Alumínio

Procurando caracterizar o comportamento do alumínio em diversos tipos de atmosferas, Kajimoto, Almeida e Siqueira (1991) afirmam que o alumínio e suas ligas “apresentam uma excelente resistência à corrosão atmosférica, conseqüência da formação de uma camada de óxidos de caráter protetor sobre o alumínio exposto ao ar”.

A Becam (2002) faz referência ao processo corrosivo do alumínio em diferentes condições de exposição e associação com outros metais, afirmando que: em condições secas, o alumínio pode ser usado em contato

com outros materiais sem proteção alguma, porém, na presença da umidade, recomenda-se isolar o alumínio para prevenir ações corrosivas que possam afetá-lo, alertando para o fato de que devido à natureza porosa das pedras e dos tijolos, deve-se isolar o alumínio desses materiais mediante a introdução de um elemento espaçador.

Devido aos baixos níveis de poluição atmosférica presente nas áreas rurais, as peças de alumínio apresentam com o tempo, um leve tom opaco, que em nada afeta sua estrutura, tendendo a uma durabilidade indeterminada. Já nas áreas urbanas, a maior concentração de agentes poluentes na atmosfera provoca a mudança mais rápida na aparência do material, interferindo, porém, de maneira pouco significativa na sua vida útil.

Na presença da umidade, o dióxido de enxofre e o ácido clorídrico atacam o alumínio em pontos débeis da película protetora, ocasionando a corrosão por pites¹⁷.

Este processo se concretiza em velocidade mais ou menos importante, segundo as condições de exposição do material, provocando a perda do brilho original da peça durante os primeiros anos. Em seguida, a velocidade da corrosão diminui drasticamente e se mantém estacionada por tempo indefinido.

Para a Becam (2002), o cloreto de sódio, presente nas atmosferas marinhas é menos agressivo que o ácido clorídrico que se encontra nas zonas industriais, o que faz com que a durabilidade do alumínio seja maior que a de outros materiais alternativos neste ambiente. Porém, uma advertência é feita por Kajimoto, Almeida e Siqueira (1991), para o fato de que os cloretos são reconhecidamente agentes causadores de pite e, quando presentes na

¹⁷ Forma de corrosão localizada que consiste na formação de cavidades de pequena extensão e razoável profundidade. Ocorre em determinados pontos da superfície enquanto que o restante pode permanecer praticamente sem ataque (ABRACO, 2002).

superfície de metais apassivados (como é o caso do alumínio), provocam a quebra localizada da camada de óxidos, dando origem a esse tipo de corrosão.

É de particular importância que se observem cuidadosamente as precauções para se evitar a formação de pilhas galvânicas nestas condições, devido à presença de eletrólito formado pela solução de água com sal.

Nas atmosferas marinhas e industriais, além do tratamento com pintura, é recomendado o emprego de junta inerte, como neoprene, PVC, entre outras.

ii- Aço inoxidável

Segundo Tebecherani (2002) entende-se por aço inoxidável *“ao grupo de ligas ferrosas, resistentes à oxidação e corrosão, que contenham no mínimo 12% de Cromo”*.

O autor afirma que os aços inoxidáveis austeníticos (série 300), *“combinam baixo limite de escoamento com alta resistência a tração e bom alongamento, oferecendo as melhores propriedades para o trabalho a frio (...) possuem uma ampla faixa de propriedades mecânicas, oferecendo boa ductilidade e resistência a altas e/ou baixíssimas temperaturas, além de boa trabalhabilidade e soldabilidade”*.

Os aços inoxidáveis ABNT 304 e ABNT 316 recomendados preferencialmente pela NBR 13707 (1996) para a utilização como elementos de fixação *“devido a sua grande inalterabilidade e resistência mecânica”*, são compostos austeníticos, ou seja, são aços que apresentam uma melhoria em suas propriedades pela introdução do Ni como elemento de liga. Com isso, consegue-se uma mudança na estrutura interna do metal, transformando ligas ferríticas em ligas austeníticas, que são caracterizadas por sua elevada resistência e tenacidade.

Essa norma atenta para o fato que se deve evitar a associação de metais de naturezas diferentes quando houver a possibilidade de formação de corrosão por par galvânico¹⁸.

Neste caso, a norma impõe a necessidade do isolamento elétrico dos metais, empregando-se gaxetas a base de borracha sintética, fita de butil, revestimentos orgânicos de baixa porosidade, ou materiais equivalentes com propriedades físico-mecânica compatíveis com os esforços a que estarão submetidos.

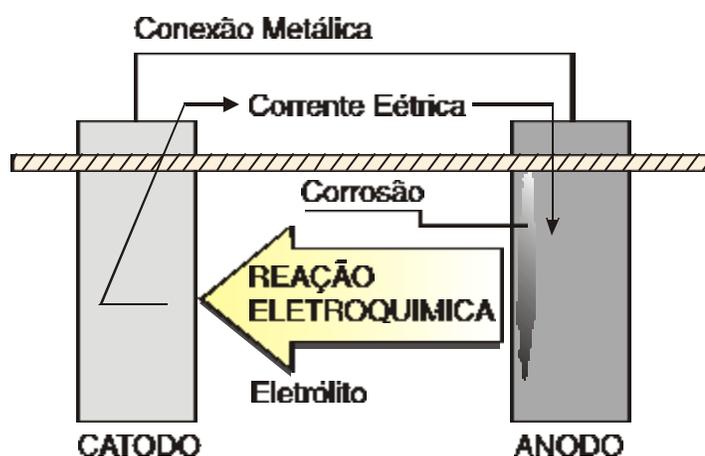


Figura 3-23-Corrosão por par galvânico

A Tabela 3-4 mostra a composição química dos aços tipo ABNT 304 e ABNT 316.

A BS 8298 (1994) também adota os aços austeníticos (além do alumínio, cobre e bronze) para a utilização como elementos de fixação para fachada com revestimento composto por placas pétreas, recomendando que seja observada a

¹⁸ A corrosão galvânica é definida pela Abraco (2002), como “o processo corrosivo resultante do contato elétrico de materiais diferentes ou dissimilares. Este tipo de corrosão será ão mais intenso quanto mais distantes forem os materiais na tabela de potenciais eletroquímicos, ou seja, em termos de nobreza no meio considerado”.

Tabela 3-5 com o intuito de se evitar a corrosão por par galvânico.

Tabela 3-4-Composição química dos aços inoxidáveis austeníticos tipos ABNT 304 e ABNT 316, % máxima. (TEBECHERANI, 2002).

Tipo de aço ABNT	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Outros
304	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00 20,00	8,00 10,50	
304 L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	18,00 20,00	8,00 12,00	
316	0,08	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00 18,00	10,00 14,00	MO 2,00/3,00
316 L	0,030	2,00	1,00	0,045	0,030	16,00 18,00	10,00 14,00	MO 2,00/3,00

Tabela 3-5-Recomendações para a prevenção de corrosão por par galvânico (BS 8298, 1994)

Metais	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)
Alumínio bronze e sílica bronze (A)	—	0	0	1	X	X	X	X
Bronze fosfórico (B)	0	—	0	1	X	X	X	
Cobre (C)	0	0	—	1	X	X	X	X
Aço inoxidável austenítico (D)	1	1	1	—	X	X	X	1
Aço comum (E)	X	X	X	X	—	1	X	X
Ferro fundido (F)	X	X	X	X	1	—	X	X
Alumínio (G)	X	X	X	X	X	X	—	1
Zinco (H)	X	X	X	1	X	X	1	—

Legenda: 0 - pode ser usado em contato em todas as condições

1- pode ser usado em contato somente sob condições secas

X- não pode ser usado em contato

3.7.5 Dispositivos de fixação

As fixações podem ser entendidas como os elementos da FCGP que promovem a interação entre a subestrutura auxiliar e a envoltória da edificação, transferindo para esta, as reações provocadas pelos diversos esforços a que o sistema de revestimento é submetido.

A tipologia de chumbadores existentes no mercado é muito ampla, e há soluções para se realizar a fixação sobre quase todos os suportes, porém, não se deve confundir poder fixar bem ancoragens, com poder se garantir que as centenas ou milhares de chumbadores existentes em uma fachada reúnem as condições mínimas de segurança necessárias para o sistema, sendo isto extremamente difícil de se verificar, especialmente quando se tem determinados componentes de vedação como suporte (vide Tabela 3-2).

As várias tipologias ou componentes de chumbadores usualmente empregados para a execução de fachada-cortina com placas de grês porcelanato podem ser classificadas em dois diferentes grupos, a saber: dispositivos de fixação por adesão química e dispositivos de fixação mecânica, conforme mostra-se a seguir.

3.7.5.1 Dispositivos de fixação por adesão química

São caracterizados pela associação da fixação realizada por meio de adesivo epóxico bi-componente ou resina poliéster, e barras roscadas ou vergalhões. Existem disponíveis no mercado basicamente quatro tipos de fixação por adesão química: por injeção ou por ampola e para a fixação em substratos sólidos ou vazados.

A técnica para a implantação de fixação por adesão química em substrato sólido inicia-se com a execução de um furo na base utilizando-se broca diamantada. A resina é então inserida por injeção, sendo que os componentes são misturados pelo bico de aplicação (no sistema por ampola a mistura é executada pela haste metálica) finalizando-se com o

posicionamento do chumbador no interior do orifício. Já no caso de bases perfuradas ou vazadas, a fixação dá-se com a introdução de uma camisa metálica no furo, injeção da resina e posterior introdução do chumbador. Os resultados finais de ambos os métodos de fixações estão ilustrados na Figura 3-24. Segundo a Hilti (2002), a cura da resina dá-se geralmente entre 30 e 50 minutos de sua aplicação, em função da temperatura ambiente.

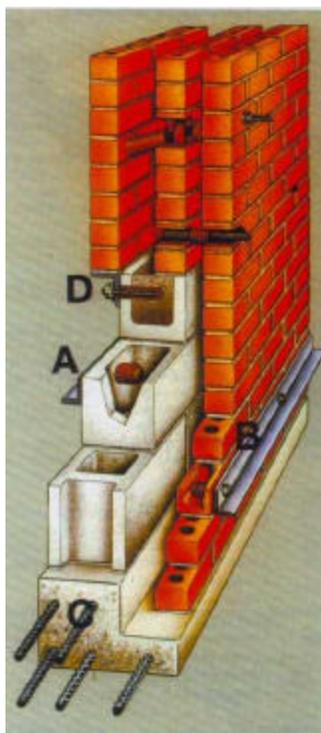


Figura 3-24-Possibilidades de fixação utilizando-se ancoragens químicas (HILTI, 2002)
A e B Fixação em componentes de alvenaria vazados.
C e D Fixação em peças maciças.

A Hilti (2002) elenca as seguintes vantagens do sistema de fixação química quando comparado ao sistema de ancoragem tradicional:

- elevada capacidade de carga - o conjunto todo se adere à parede do furo, distribuindo uniformemente as cargas por todo comprimento da ancoragem, proporcionando resistências muitas vezes superior a um chumbador convencional;

- não gera tensões passivas no concreto - diferente do sistema convencional, a ancoragem química não gera nenhuma tensão passiva (pré tensionamento), possibilitando o emprego de ancoragens mais próximas entre si e das bordas;
- resistência a cargas dinâmicas - possui elevada resistência a cargas dinâmicas e vibrações;
- uso em todos os materiais - pode ser usada tanto em materiais maciços como em materiais perfurados.

3.7.5.2 Dispositivos de fixação mecânica

Os chumbadores se ligam à base por intermédio de um tensionamento passivo, geralmente provocado pela expansão do sistema de fixação, ou ainda por ancoragem através de sua incorporação ao concreto ainda fresco, sendo estes previamente fixados às formas de concretagem na posição determinada em projeto.

Há no mercado, uma infinidade de tipos de dispositivos mecânicos, cabendo ao projetista a escolha do modelo que melhor atenda às suas necessidades.

A Figura 3-25 mostra alguns dos tipos de chumbadores mecânicos existentes.

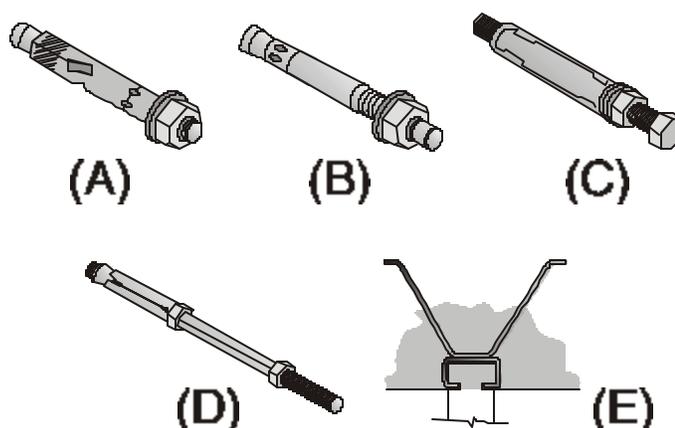


Figura 3-25- Alguns tipos de chumbadores existentes no mercado
(a) a (d) Chumbadores de expansão usados para fixação em concreto ou alvenaria com componentes maciços.
(e) Chumbador incorporado ao concreto ainda fresco

Os elementos que devem ser levados em consideração para a escolha e fixação dos chumbadores estão descritos no ANEXO B.

3.7.6 Interação entre a esquadria, o revestimento e a base

A correta especificação das aberturas para a implantação das esquadrias na FCGP é de extrema importância para o desempenho higrotérmico do conjunto.

Soriano (1999) afirma ser especialmente interessante a solução das aberturas da fachada onde a estanqueidade deve ser garantida e cujo tratamento que será dado, dependerá fundamentalmente da instalação mais ou menos afastada das esquadrias em função do plano exterior do revestimento.

Três são as soluções possíveis para o posicionamento das esquadrias na FCGP: implantação do caixilho no plano da parede, implantação do caixilho no plano da câmara de ar e implantação no plano do revestimento exterior.

i- Implantação do caixilho no plano da parede

Neste caso, as esquadrias devem ser solidárias com a parede, e estarem envoltas por um marco que assegure a saída da água que adentre o sistema para o exterior da câmara.

Esta implantação é a mais adequada no caso de empregar-se caixilhos com folhas que se abrem para o interior. Outra vantagem deste posicionamento da esquadria é o fato de se conseguir um bom efeito de sombra sobre as aberturas

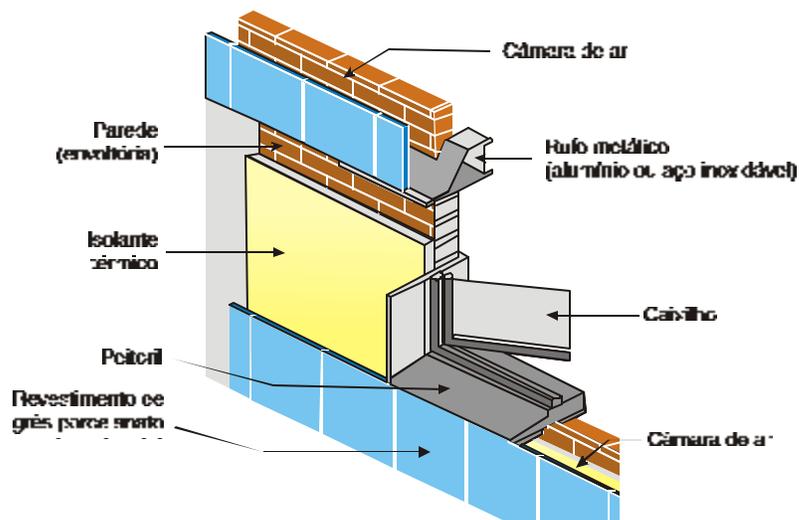


Figura 3-26-Detalhe dos componentes de arremate do vão para a implantação de caixilho

i- Implantação do caixilho no plano do revestimento exterior:

Neste caso as esquadrias ficam mais expostas aos agentes atmosféricos e existe uma dificuldade maior para se garantir a estanqueidade da parte superior.

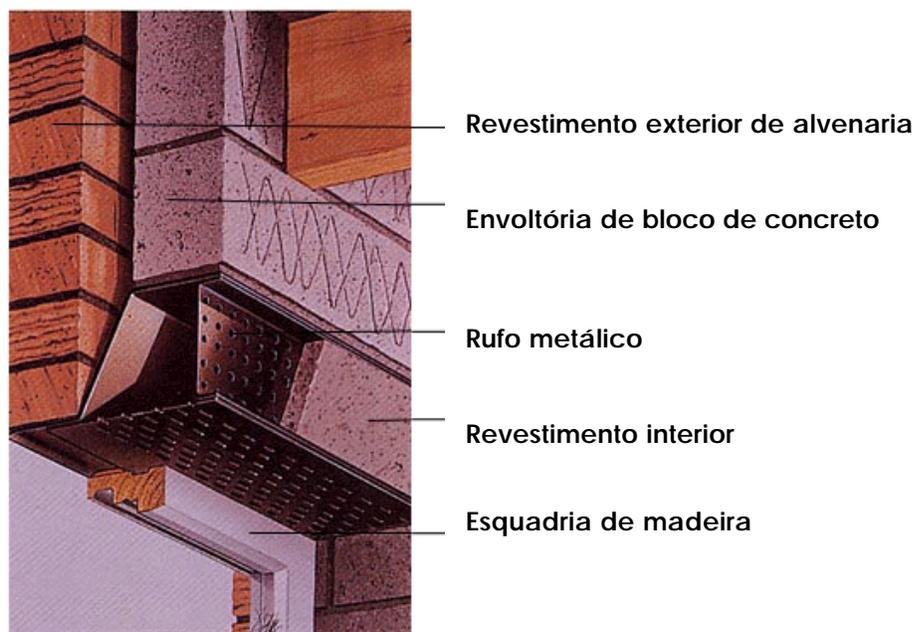


Figura 3-27-Implantação de caixilho no plano do revestimento (BUILDNET, 2002)

ii- Implantação do caixilho no plano da câmara de ar

A Ternoarcilla (2002) afirma ser esta, “a posição que oferece maiores vantagens e a que melhor se adapta ao processo construtivo geral da fachada ventilada”.

Introduz-se o “batente envolvente” na câmara de ar, assegurando-se a união rígida deste com a parede.

Desta forma facilita-se o fechamento estanque da câmara, graças a vedação do revestimento exterior. O único inconveniente desta implantação é a limitação na abertura das folhas do caixilho, devendo-se recorrer neste caso, a folhas de correr, ou projetar uma esquadria combinando painéis fixos e móveis, de maneira que as folhas móveis nunca tenham as dobradiças posicionadas no bordo da abertura, permitindo-se assim, que a folha possa abrir a um ângulo superior a 45°.

Parício (2000) concorda com as afirmativas acima, quando argumenta que a determinação do plano em que se implantam as esquadrias na sessão da fachada cortina implica em conseqüências muito importantes. O autor recomenda também, sua disposição no plano da câmara “por ser esta a mais correta do ponto de vista térmico e pela simplicidade que impõe ao projeto”. Neste caso, o contra-marco ficará alojado no interior da câmara, onde deverá ser previsto um acabamento com material isolante.

O mesmo material utilizado como revestimento externo pode revestir também o entorno da abertura, sem a necessidade de nenhuma proteção adicional (Figura 3-28), ou ainda poderão ser utilizadas placas com o mesmo material da esquadria para este fim.

Devido à necessidade de liberdade de movimento entre a lâmina interior e a lâmina exterior, Eiras (1995) comenta que uma boa alternativa seria a implantação da esquadria ligada a apenas uma das camadas, já que o problema da abertura está na tensão que o contra-marco provoca no apoio.

Eiras afirma que a melhor solução seria a separação da abertura através da inserção na parede de um marco com formato e espessura constantes em seus quatro lados, definindo formalmente a abertura e também solucionando o problema estático e a ligação entre as duas superfícies da fachada com um material distinto.

Com relação a estanqueidade, Soriano (1999) argumenta que a água pode alcançar as uniões dos caixilhos com o revestimento, tanto no peitoril, quanto no restante do entorno que une a lâmina interna à lâmina externa, através das juntas abertas do revestimento ou escorrer sobre a parede até sobre a própria esquadria.



Figura 3-28-Fechamento do entorno da abertura com placas de grês porcelanato (MARAZZI, 1997)

Segundo Soriano, em qualquer que seja o caso, o estudo do problema é bastante facilitado quando o técnico projeta sobre a vedação, um isolante térmico com células fechadas e os encontros com as esquadrias com pré-marcos e batentes envolventes especiais de tal forma que o conjunto seja estanque, esquecendo-se a princípio que todo o conjunto será protegido por

uma “cortina”. O autor afirma ainda que a resolução sob essa premissa conduz, sem dúvida, ao êxito da solução construtiva.

Já Parício (2000) aponta como a solução mais conservadora, aquela que consiste na instalação de lâminas protegendo todos os pontos delicados, revestindo os locais em que as lâminas interior e exterior entrem em contato, em especial o perímetro da esquadria. Normalmente se utiliza para isso um pré-marco de PVC ou alumínio que fecha todo o perímetro do vão. Esta solução pode ser observada na Figura 3-29.



***Figura 3-29-Fechamento do vão executado com o mesmo material da esquadria.
(MARAZZI, 1997)***

Parício afirma ser comum a utilização de um rufo que penetra a vedação vertical na parte superior das esquadrias, estendendo-se até a junta horizontal do revestimento externo, encaminhando para o exterior do sistema qualquer possível infiltração que ocorra através das juntas.

Ainda segundo Parício, as fachadas ventiladas estão transformando o pré-marco no elemento crucial de seu projeto, exigindo que este resolva o fechamento lateral da câmara e que faça frente às exigências como peitoril e batente.

CAPÍTULO 4

MONTAGEM E CONTROLE

No presente capítulo, procurar-se-á, baseado na observação do processo de produção de sistemas similares e na avaliação de normas nacionais e estrangeiras, propor uma seqüência lógica para a produção do sistema de FCGP, bem como, abordar os parâmetros de gestão da produção a serem observados quando da implantação de um subsistema de revestimento em FCGP, contratado como *sistema de produção*.

O processo e o controle da produção são os fatores que definirão a qualidade final da FCGP, e por isso devem ser tratados com especial atenção.

Sabbatini (1998) afirma ser fundamental que a empresa fornecedora do *sistema de produção* "invista em criar uma metodologia própria. Uma metodologia que seja efetivamente um instrumento de racionalização do processo, que se constitua em um fator diferenciador em termos de competitividade".

Para tanto, a empresa deve ter equacionado todos os procedimentos de como produzir. Esses procedimentos servem para se estabelecer uma seqüência lógica pré-definida, fazendo com que as decisões não sejam subjetivas e que as responsabilidades possam ser definidas, possibilitando assim, o planejamento e o controle do processo de produção.

Este deve ser precedido por uma fase de preparação para a execução do sistema com o objetivo de se estabelecer uma coordenação e identificar-se as possíveis deficiências da obra.

Assim, a fornecedora do sistema deve ter equacionado os seguintes itens: análise das interfaces com o sistema de FCGP, identificando-os e propondo as devidas soluções; o detalhamento dos projetos executivos e de produção; identificação dos pontos críticos e dos controles a serem adotados; definição das instalações do canteiro de obras e equipamentos de produção e segurança a serem utilizados e finalmente a elaboração do cronograma físico para a execução da fachada.

Discorrendo sobre a preparação adotada para a execução de obras nas construções civis francesas, Souza (2001) recorre à opinião do *Club Construction & Qualité Isère*, que considera que “um estudo bem realizado das interfaces evita múltiplos problemas patológicos”, já que permite estabelecer um planejamento coerente e realista, promovendo o desenvolvimento do trabalho de maneira organizada, evitando imprevistos e conflitos no decorrer da execução.

Para que isso seja possível, devem estar perfeitamente estabelecidos os procedimentos de controle que serão adotados, os procedimentos para o tratamento das não-conformidades, os sistemas de coleta e a metodologia de análise das informações.

4.1 ELABORAÇÃO DO REPROJETO

Normalmente em contratos firmados com uma certa antecedência, a empresa fornecedora do *sistema de produção* de FCGP determina quais serão as tolerâncias admitidas para a planicidade e desaprumo da obra, com o intuito de se evitar o projeto e a produção de ancoragens especiais. Contudo, na grande maioria das vezes, o sistema de fachadas é contratado

quando boa parte da estrutura e paredes externas da obra encontram-se executadas.

O projeto de produção de FCGP deve ser um projeto interativo, que depende da presença e atuação do projetista do sistema de fachadas em todas as fases de sua produção.

Para a elaboração do projeto do revestimento até aqui tratado, o projetista leva em consideração condições ideais de execução dos subsistemas, estrutura e alvenaria, porém, a grande complexidade da produção dos edifícios, mesmo quando tomadas medidas com o objetivo da implantação de processos de produção racionalizados contando, portanto, com efetivo controle, acarreta em imperfeições na execução destes subsistemas. Essas discrepâncias devem ser consideradas pela elaboração do **reprojeto**, que permite o levantamento das condições reais de execução do invólucro da edificação, para então, poder-se tomar as decisões mais adequadas para a execução do revestimento, principalmente no que tange à planicidade, prumo e tipologia das fixações e ancoragens a serem adotadas.

Para a determinação do plano de referência é necessário fazer-se um mapeamento prévio do pano de fachada a ser revestida, de modo a escolher o ponto de menor espessura, que definirá a exata posição do revestimento apurado. Para a execução deste levantamento denominado mapeamento, três metodologias podem ser adotadas, desde a mais tradicional realizada por medição direta da fachada, citada no trabalho de Souza (1996), às mais racionalizadas utilizando-se um equipamento de estação total¹⁹, conforme metodologia sugerida por Barros (2001).

¹⁹ A estação total é um complemento do teodolito eletrônico que, além de fornecer as leituras dos círculos horizontal e vertical automaticamente, também lê a distância direta, pelo fato de ser também um distanciômetro.

A metodologia a ser utilizada é função do grau de racionalização que se incorpora ao sistema, do estágio em que se encontra a obra, e de suas características sendo comum o mapeamento por medição direta quando os balancins encontram-se disponíveis em obra. O mapeamento por estação total, quando a obra a ser revestida já não conta com balancins, ou é uma obra pronta e por fim, a utilização de aparelhos laser em obras horizontais ou de pequena altura onde utiliza-se de andaimes fachadeiros.

Identificados os pontos críticos do pano de fachada, parte-se para a elaboração do reprojeto da FCGP, que na verdade consiste em verificar, com base no mapeamento realizado, se as ancoragens padrão são suficientes para absorver as distorções de prumo e planicidade observadas na obra.

Para absorver as eventuais distorções oriundas do posicionamento dos chumbadores e irregularidades do substrato, com o objetivo de se regularizar o prumo e alinhamento do revestimento, as ancoragens devem ser dotadas de furos oblongos. Esses detalhes podem ser observados na Figura 4-1.

Observa-se que suas profundidades e alturas podem ser diferentes e dimensionadas em função da espessura do isolante (quando utilizado) e das características da base.

Todas as ancoragens especiais devem ser devidamente identificadas com a utilização de etiquetas e o posicionamento de cada uma delas deve constar do projeto.

Em todas as obras brasileiras visitadas construídas com fachadas-cortina, em especial nas fachadas revestidas com pele-de-vidro e placas pétreas, notou-se que existe uma falta de planejamento no tocante ao reprojeto, sendo geralmente o prumo e a planicidade das fachadas corrigidas com a utilização de "calços", conforme pode ser observado na Figura 4-2.

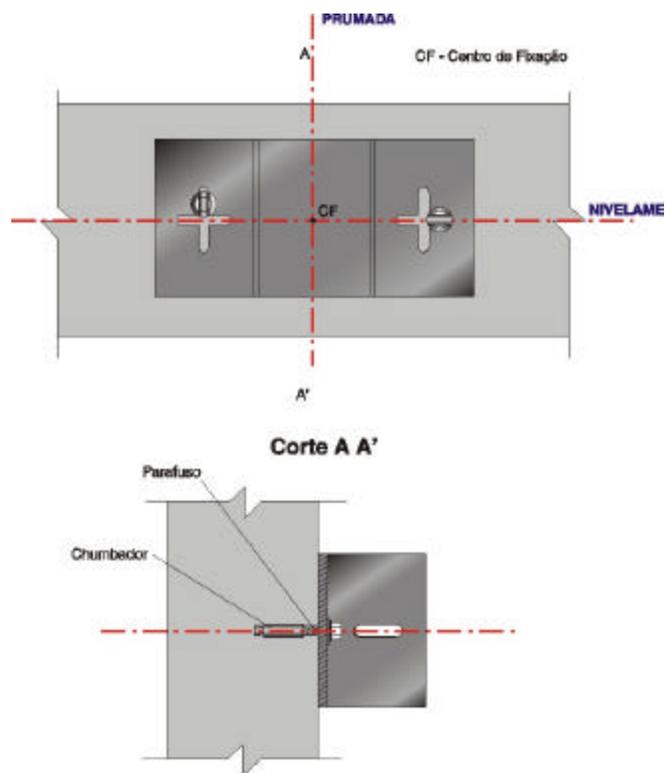


Figura 4-1- Detalhe de ancoragem "U" (CEUSA; LEME, 2002)

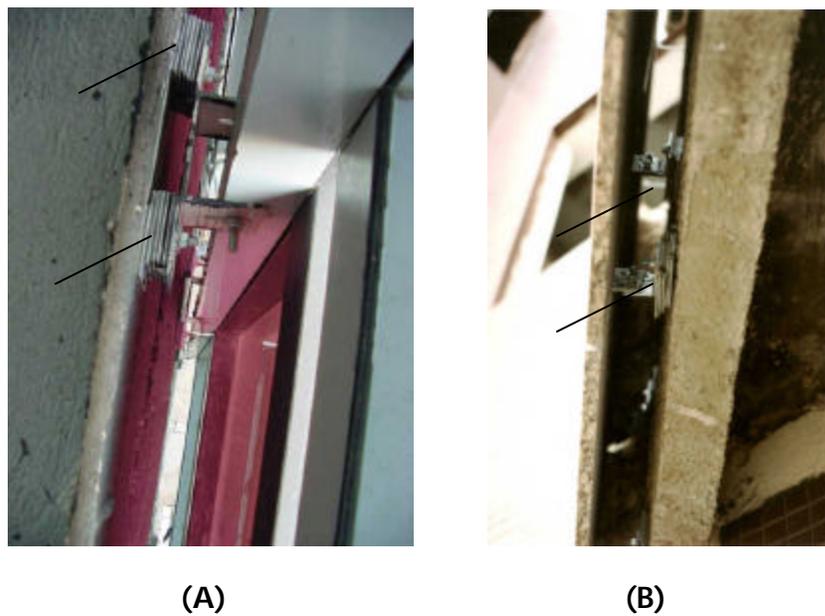


Figura 4-2-Utilização de "calços" para acerto do prumo e planicidade das fachadas
 (A) Pele-de-vidro
 (B) Fachada-cortina com placas pétreas

4.2 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS

O projeto do canteiro de obras deve ser parte integrante do projeto para produção de FCGP.

Além dos locais considerados pela NR-18, devem ser previstos, entre outros, os locais de armazenagem dos materiais e a maneira de como será realizado o transporte dos componentes até o local de sua aplicação, visando promover a movimentação com o menor número de interferências possíveis.

O prévio conhecimento das condições de acesso e a disponibilização de materiais e equipamentos na região onde será instalado o canteiro são condições fundamentais para as definições de projeto.

Sendo este trabalho relativo à tecnologia de FCGP, tratar-se-á aqui, apenas dos aspectos do canteiro de obras relacionados diretamente a este processo de produção.

Souza et al. (1997) tratam o canteiro como sendo dividido em vários elementos, estando estes ligados à produção, elementos de apoio à produção, sistemas de transporte com decomposição de movimento; sistemas de transporte sem decomposição de movimento, elementos de apoio técnico administrativo, áreas de vivência, outros elementos e elementos de decomposição externa à obra.

Tratando das diretrizes dos elementos de apoio à produção, os autores recomendam que sejam observados alguns critérios que podem ser levados em consideração para o caso da execução de FCGP, que serão tratados a seguir.

- i. Central de preparo da subestrutura auxiliar e acessórios
 - localizar a central em local coberto (para viabilizar trabalho mesmo na chuva);

-
- cuidado com interferências com outros fluxos de material;
 - ordem de grandeza de área: 20 m².
- ii. Estoque de placas cerâmicas
- próximo ao equipamento para transporte vertical;
 - local fechado, próximo ao acesso de materiais (viabilizar carregamento sob responsabilidade do fornecedor);
 - isolar as caixas de contato com o piso (estrados);
 - a área é função da demanda (ordem de grandeza = 20 m²).

A definição dos equipamentos de transporte vertical e horizontal é de igual importância, para a coordenação das atividades do canteiro, assim como o planejamento para o abastecimento das frentes de serviço, com o objetivo de se evitar ao máximo a interferência do transporte vertical.

A BS 8298 (1994) recomenda que seja providenciado acesso seguro e adequado para a área de trabalho e ao redor desta e que todos os equipamentos de transporte vertical sejam testados para assegurar a conformidade com a normalização vigente.

Para se prevenir de interpretações errôneas, a BS 8200 (1985) recomenda que principalmente nos estágios iniciais da montagem, deve-se deixar claro quem será o responsável por providenciar os seguintes itens de instalações e equipamentos:

- torre ou grua móvel, ou empilhadeira para o transporte de placas para a área de montagem adjacentes em todos os níveis de elevação;
- caso não haja gruas, providenciar um elevador ou guincho suficientemente grande para levar uma partida de placas, e uma empilhadeira para o carregamento e a disposição dos "pallets" próximos aos andaimes ou equipamento de elevação;

- escora para suporte temporário;
- plataforma de carga para qualquer nível, em número e espaço apropriados para o local e desempenho dos trabalhos;
- cimento e areia em quantidade suficiente para a execução de reparos e chumbamento de fixadores;
- fornecimento de tinta para a marcação de pontos significativos;
- linhas e níveis para execução de fios de prumo e alinhamentos transversais;
- ponto de eletricidade 110V e água para qualquer área e nível;
- espaço para o abastecimento do local, acomodações, armazém fechado e suprimento de energia 220V ;
- fornecimento de ambulatório médico, banheiros, e outras instalações necessárias;
- proteção contra quaisquer prováveis danos físicos ou manchamento para as placas fixadas;
- remoção de entulhos, embalagens, etc. para as áreas de coleta.

A definição dos balancins e andaimes é item crucial para o incremento da produtividade na execução de FCGP. Para este trabalho é imprescindível a utilização de balancins elétricos dotados de espuma de poliuretano frontal (para evitar danos ao revestimento já executado) ou de andaime fachadeiro, que pode ser observado na Figura 4-3. Esta escolha dá-se em função do cronograma estabelecido e das características da obra, tais como: altura, conformação perimetral, equipamentos de transporte vertical disponíveis, localização da obra, entre outras.

Segundo a BS 8298 (1994), as condições da estrutura dos andaimes devem ser verificadas e estarem em conformidade com o estabelecido pela BS 5973.

Esta norma recomenda que para possibilitar espaço adequado para a montagem do revestimento, o distanciamento entre plataformas de andaimes consecutivos deve ser da ordem de 2,0m e que os travamentos diagonais dos andaimes não impeçam o deslocamento longitudinal das placas sobre a plataforma de trabalho.



Figura 4-3-Montagem de fachada-cortina com placas de grês porcelanato com a utilização de andaime fachadeiro (MARAZZI, 1997)

Para alguns trabalhos pode ser necessária a execução de janelas no revestimento para a fixação do andaime. Neste caso, devem ser executados "tampões" quando o andaime for removido. Um desenho "as built" com o posicionamento desses "tampões" deve ser elaborado para que essas janelas possam ser utilizadas no caso de futura manutenção. Metais não corrosivos devem ser usados nesses pontos de fixação dos andaimes.

Deve ser avaliada também, a viabilidade da utilização de balancins elétricos leves com movimento de translação horizontal (Figura 4-4) , que viabilizam o transporte vertical das placas, eliminando as possíveis interferências no

transporte vertical e incrementam sobre maneira a produtividade na montagem da fachada.



Figura 4-4-Balancim elétrico leve com movimento de translação horizontal

4.3 TRANSPORTE, MANUSEIO , ARMAZENAGEM E DISTRIBUIÇÃO DAS PEÇAS

A BS 8298 (1994) faz as seguintes recomendações para evitar-se danos provocados pelo manuseio de peças, quer seja na fábrica, durante o transporte ou no canteiro de obras:

- O manuseio e transporte devem ser planejados e reduzidos ao mínimo possível. Caso sejam mecanicamente transportados e havendo a possibilidade de danos devido a manipulação incorreta, os pontos para apoio e suporte das peças devem ser identificados de forma clara e estar devidamente protegidos.

- É importante que instruções sejam dadas para a maneira como se dará o manuseio, transporte e armazenagem de todos os dispositivos, sendo que as peças especiais que requeiram um manuseio ou utilização específica devem estar devidamente identificadas.
- No caso dos componentes serem transportados em “pallets”, estes devem estar acondicionados de maneira adequada para o manuseio e com as dimensões e pesos adequados, de forma a evitar -se a quebra ou a ocorrência de sobrecarga sobre a área de trabalho.
- Os “pallets” ou caixas devem identificar perfeitamente os dispositivos ou componentes que encontram-se ali acondicionados segundo o tipo, acabamento e posição de instalação na fachada de forma a facilitar sua estocagem e distribuição.
- Deve-se ter especial precaução contra danos causados por tensões pontuais no suporte, utilizando-se embalagens apropriadas para o transporte e armazenagem, lembrando-se de que o acondicionamento negligente das caixas ou “pallets” provocam riscos consideráveis de quebra e outros danos.

Condições de umidade prolongada devem ser evitadas de forma a se prevenir o manchamento das placas devido ao contato destas com a embalagem ou a madeira. Para tanto, as placas devem se apoiar sobre “pallets” ou dormentes de madeira, em posição inclinada, quase na vertical, longe de qualquer zona de possíveis golpes e protegidas de manchas ocasionadas por ferrugem, pastas ou argamassas.

A BS 8200 (1985) recomenda que o armazenamento dos componentes deve ser organizado de maneira a obedecer a seqüência de montagem da fachada, com as marcas visíveis e com o acesso adequado para sua remoção sendo essencial que o local de armazenamento seja limpo, protegido de água, e possua espaço para todas as outras operações.

Sob condições de umidade, metais ferrosos e não ferrosos devem ser separados, tomando-se o cuidado para se prevenir o contato direto entre cobre e alumínio ou zinco. Todas as superfícies devem estar embaladas para prevenir a corrosão ou manchamento.

Os metais também podem ser danificados pelo contato com outros materiais de construção. O cimento ataca o alumínio, formando uma oxidação branca causada pelo armazenamento de metais galvanizados em ambiente com pouca ventilação.

Algumas madeiras podem conter cobre ou sais de mercúrio que podem atacar metais, principalmente o alumínio.

A distribuição das placas de grês porcelanato para as diversas frentes de serviço, pode ser realizada pela utilização de guas, guinchos, elevadores cremalheira ou pelo próprio balancim, quando tratar-se de balancim por acionamento elétrico, dando-se a opção pela escolha em função das características da obra e pelas características de produção adotadas, além da avaliação quanto à utilização dos equipamentos disponíveis em obra ou da opção por equipamentos especiais que proporcionem uma maior produtividade para a montagem do sistema.

4.4 DIMENSIONAMENTO DA EQUIPE DE PRODUÇÃO

O dimensionamento da equipe de produção é de fundamental importância para o planejamento e cumprimento das metas e prazos estabelecidos no contrato para a execução da FCGP.

O histórico da produtividade da empresa deve ser utilizado para este fim, sendo imprescindível a obtenção de valores comparativos de produtividade para a avaliação do desempenho das equipes, possibilitando que medidas de correção sejam tomadas imediatamente quando é notada a baixa de produtividade.

Araújo e Souza (2000) tratam o índice de medida de produtividade por razão unitária de produção (RUP), expressa em homens hora por metro quadrado (Hh/m²). Quanto maior for o valor desta, menor será a produtividade do serviço em questão.

Em virtude de não haver sequer uma obra brasileira executada com FCGP, não se dispõe até o momento de um índice de produtividade para tais serviços.

Em visitas realizadas em empresas que constroem fachadas-cortina similares (placa pétreo, alumínio composto e pele de vidro), foi possível se constatar, que nenhuma destas possui dados relativos à produtividade de suas equipes em obra, sendo que o dimensionamento das mesmas se dá de maneira informal, portanto não sistêmica, deixando-se, na maioria das vezes, a cargo de empreiteiro subcontratado. Entretanto, fica claro, que alguns fatores influenciam diretamente na produtividade:

- há maior produtividade na execução de fachadas com fixação visível (estas não exigem a instalação de guias horizontais e seu acoplamento é feito apenas por encaixe);
- quanto maior o número de recortes e/ou superfícies curvas, menor a produtividade da equipe de produção;
- maiores placas (limitando-se às dimensões de 600 x 1200mm) dão maior produtividade (inclusive admitindo maiores espaçamentos entre os perfis metálicos);
- quanto menor a altura da obra maior a produtividade;
- é possível que a disponibilidade de uma área maior por operário por pavimento induza a uma redução da RUP;
- plataformas de trabalho automáticas com translação horizontal e vertical proporcionam aumento de produtividade.

É obvio, porém, que estudos detalhados de produtividade devem ser realizados quando da implantação de FCGP na Indústria da Construção Civil Brasileira, com vistas a se estabelecer critérios para o dimensionamento de equipes de produção, e para a escolha de equipamentos adequados a fim de se assegurar o cumprimento das metas estabelecidas no cronograma, para a conclusão dos serviços.

4.5 CONDIÇÕES PARA O INÍCIO DA MONTAGEM

Para a verificação das condições de início para execução de revestimentos, Sabbatini, Selmo e Silva (1988) recomendam que seja adotado o "Controle de Qualidade das Condições para o Início dos Serviços".

Este controle refere-se à avaliação da terminalidade dos serviços que antecedem a execução da FCGP, deixando claro que o início dos trabalhos somente poderá ser autorizado após a avaliação e possíveis correções necessárias.

Para a aplicação deste controle deve-se elaborar um "*check list*", com a relação dos itens a serem verificados, bem como, a tolerância para a aceitação e/ou rejeição das não conformidades.

Segundo a BS 8298 (1994), o grau de movimentação a ser acomodado pelo revestimento devido à retração pode ser bastante reduzido se após a execução da estrutura do edifício, a montagem do revestimento for postergada o máximo possível.

A BS 8298 recomenda que quando possível, o revestimento não aderido com placas pétreas não seja executado até que a estrutura do edifício esteja completa. Este procedimento permite a verificação do prumo da edificação, procedendo-se às correções quando se julgar necessário, assegurando assim, que o revestimento seja instalado de maneira satisfatória.

Caso se opte por iniciar antes do término da estrutura do edifício, a BS 8200 (1985) lembra que o revestimento acabado estará sujeito a danos decorrentes da queda de concreto ou outros materiais quaisquer.

Neste caso, a norma deixa clara a necessidade de se providenciar proteção adequada, posicionada entre ambas as frentes de trabalho. A proteção deve ter tamanho e resistência adequados para proteger os materiais e os operários que trabalham abaixo desta.

Quando da utilização de estrutura de concreto ou alvenaria como substrato para fixação da subestrutura do revestimento, a ASTM C 1242 (96b) afirma que deve-se levar em consideração que a grande maioria das variações dimensionais devidas às retrações acontecem nos primeiros dezoito meses após a execução do substrato.

Apesar de todas as bibliografias consultadas afirmarem que quando da execução de revestimentos não aderidos deve-se levar em consideração as movimentações do substrato decorrentes das variações dimensionais dos componentes da alvenaria e da estrutura de concreto com o decorrer do tempo, nenhuma delas estabelece um prazo mínimo ideal para o início da execução do revestimento não aderido sobre esses substratos. A BS 8200 (1985) afirma **não existem procedimentos definidos para esta estimativa.**

4.6 MONTAGEM

Para assegurar que a montagem do revestimento seja completada dentro do prazo estabelecido, a BS 8298 (1994) recomenda que as partes interessadas devem estar de posse das seguintes informações:

- programação para a execução das fixações e a seqüência de montagem da fachada;
- um jogo completo dos projetos atualizados de arquitetura e/ou estrutura, contendo todos os dados relevantes para a execução do revestimento;

- o prazo para o preparo dos projetos executivos (em determinada seqüência, quando vários projetistas estiverem envolvidos);
- o prazo estabelecido para o arquiteto checar e devolver os projetos executivos, devidamente aprovados, ou para correção;
- o prazo estabelecido entre a aprovação dos projetos executivos e o início da instalação do revestimento;
- o prazo mínimo para se notificar qualquer mudança no programa de instalação, e para a avaliação do custo ou aumento das implicações.

Os suportes temporários, equipamentos de segurança, fixadores e ferramentas devem ser pré-posicionados nos locais de sua utilização. Todos os calços, cunhas, espaçadores e outros dispositivos não projetados para a inclusão permanente na estrutura devem ser removidos e os locais onde estavam instalados devem ser reparados.

Após serem atendidas as condições impostas no seguimento 4.5, observados os requisitos acima mencionados e tendo concluído o mapeamento da fachada dá-se início a montagem da FCGP, que consiste nas etapas de marcação (desenho da trama estrutural sobre a fachada a ser revestida), posicionamento das ancoragens, instalação do isolante térmico (se utilizado), instalação dos perfis e ancoragem das placas de grês porcelanato.

4.6.1 Desenho da trama estrutural

O desenho da trama estrutural sobre o edifício é a atividade que envolve um conjunto de medidas visando estabelecer o correto posicionamento da subestrutura auxiliar.

Para tanto, os montantes podem ser posicionados com o auxílio de equipamentos laser ou topográficos. Deve-se além dos equipamentos ópticos utilizar-se para o posicionamento dos montantes os arames de prumo. Estes devem estar posicionados nos eixos previstos para a instalação dos

montantes verticais, conforme pode ser observado na Figura 4-5. Com o auxílio de uma trena, um operário especializado ou um técnico mede a partir da coordenada estabelecida em projeto, a distância entre eixos (galga) dos montantes. Utilizando a régua de alumínio e um lápis de carpinteiro, risca-se os eixos verticais onde se posicionarão as ancoragens, conforme observado na Figura 4-6.



Figura 4-5 – Arames de prumo usados como referência para o posicionamento dos montantes

Este procedimento é repetido sucessivamente até se completar a marcação dos posicionamentos das ancoragens, que deverão ser identificadas com vistas a facilitar o processo de fixação. Nesta etapa, são definidas as posições

dos vários elementos de projeto e a fachada é medida para a conferência da área, prumo e esquadro.



Figura 4-6- Marcação do posicionamento das ancoragens (CEUSA; LEME, 2002)

4.6.2 Instalação das ancoragens

As ancoragens a serem fixadas devem ter sido verificadas na etapa de reprojeto, em função do mapeamento realizado na fachada, conforme discutido anteriormente.

A fixação deve preferencialmente iniciar-se pelas linhas das ancoragens fixas que servirão como base para a montagem dos montantes. Estas devem estar devidamente identificadas e os locais para sua implantação claramente apontados em projeto e identificados na base a fim de se evitar posteriores problemas no acerto do prumo e planicidade da fachada conforme mostrado na Figura 4-7.



Figura 4-7-Fixação da ancoragem ao substrato (CEUSA; LEME, 2002)

Usando-se como referência os arames de prumo, ou marcações realizadas com o auxílio de equipamentos eletrônicos, os montantes são presos às ancoragens fixas por parafusos (Figura 4-8) ou rebites auto-perfurantes que são fixados com o auxílio de rebitadores elétricos.



Figura 4-8-Fixação do montante à ancoragem (CEUSA; LEME, 2002)

4.6.3 Instalação do isolante térmico

Quando especificado, o isolante térmico pode ser instalado com a utilização de buchas plásticas, conforme ilustrado na Figura 4-9.

Para tanto, as mantas são posicionadas no local de sua instalação. Em seguida, com o auxílio de uma furadeira elétrica o operário executa os furos nas mantas e no substrato conjuntamente de forma a alinhá-los.

Utilizando um martelo de borracha, as buchas são presas ao substrato, fixando a este, o material isolante térmico.



Figura 4-9- Instalação do isolante térmico (GRANITI FIANDRE, s.d.)

4.6.4 Instalação dos perfis

Uma vez fixados os perfis verticais às ancoragens fixas, linhas de nível e linhas de prumo²⁰ são utilizadas para criar uma superfície de referência perpendicular para a subestrutura. A partir daí, os perfis verticais podem ser fixados às ancoragens móveis em sua posição final utilizando-se rebites ou parafusos, conforme pode ser observado na Figura 4-10.

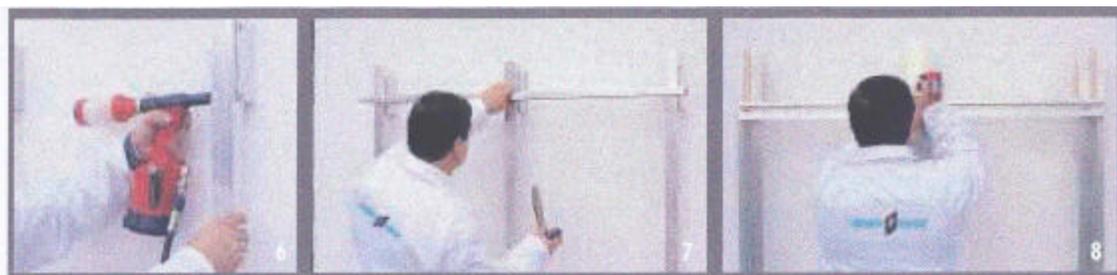


Figura 4-10 -Fixação dos montantes às ancoragens móveis e posicionamento das guias (GRANITI FIANDRE, s.d.)

No caso da montagem de estrutura do sistema de fixação com acoplamento oculto, marca-se sobre um dos montantes, o posicionamento da primeira guia transferindo-se então, este ponto para a outra extremidade com a utilização de aparelhos laser, níveis de bolha, flexômetros, entre outros.

A guia é presa ao primeiro montante de forma fixa, de maneira a impedir seu deslocamento em qualquer direção; sendo fixada aos montantes seguintes com a implantação de rebites posicionados nos furos oblongos pré-existent nas guias (Figura 4-11).

A Marazzi (1997) enfatiza que o perfeito alinhamento dos perfis é a grande chave do sistema, afirmando que: “um bom trabalho neste sentido resulta em uma fachada plana e perfeita, já que, as contraluzes às quais estão sujeitas

²⁰ Caso opte-se pela utilização de aparelhos laser, pode-se criar uma superfície de referência com feixes de raios.

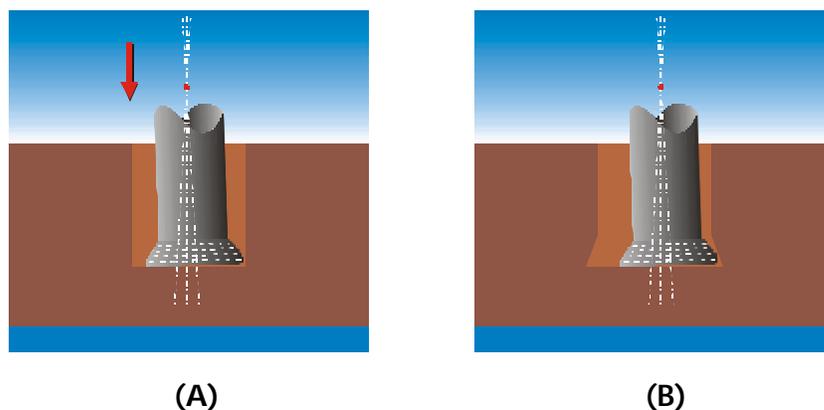
as fachadas, não 'perdoam' descuido. As juntas deverão estar perfeitamente alinhadas sem efeitos 'onda'".



Figura 4-11- Posicionamento e fixação das guias sobre os montantes (GRANITI FIANDRE, s.d.)

4.6.5 Preparo das placas e instalação das fixações

O sistema com acoplamento oculto é caracterizado por uma manipulação prévia das placas de grês porcelanato, decorrente da execução de quatro furos cilindro-cônicos em seu tardo (Figura 4-12) para a implantação de chumbadores de expansão que servirão como fixação. A posição destes furos deve ser determinada em função das necessidades de projeto.



**Figura 4-12-(A) Execução de furo cilíndrico no tardo da placa
(B) Abertura da base do furo (FISCHER, 1999)**

O manual da Marazzi (1997) recomenda respeitar os seguintes limites: para placas com formato de 60 x 60cm, a distância mínima dos furos às bordas da placa é de 50mm e a máxima de 100mm, sendo de 50mm a distância mínima

entre duas fixações; para o formato de 60 x 90cm, as distâncias desde a borda do lado maior estão entre 100 e 200mm.

A BS 8298 (1994) afirma que as perfurações nas placas para a inserção das fixações devem ser cuidadosamente executadas, utilizando-se para tanto, maquinário e ferramentas adequadas. Um dos equipamentos utilizados para a execução de furos cilindro-cônicos comercializado pela Fischer (1999) pode ser observado na Figura 4-13.

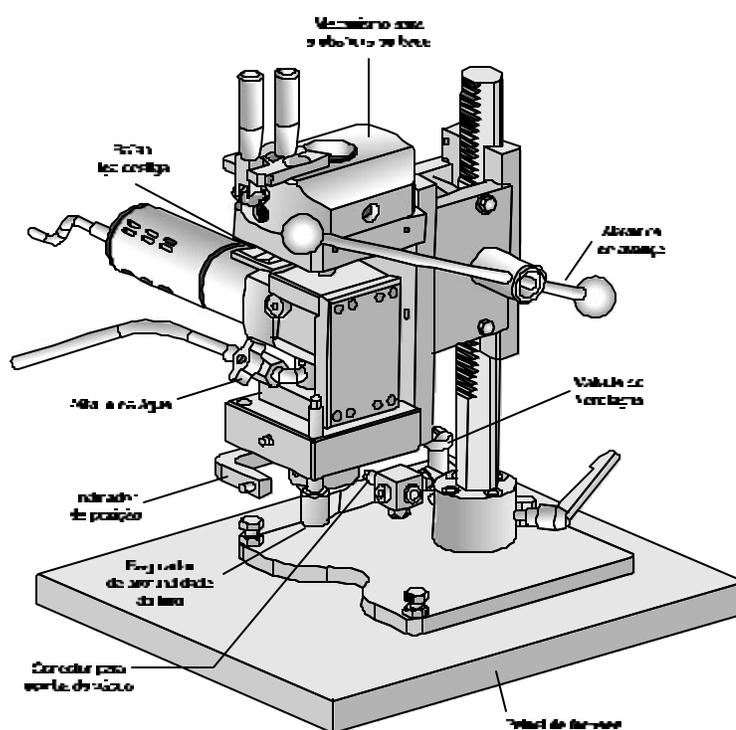


Figura 4-13-Equipamento para a execução de furos cilindro-cônicos em placas de grês porcelanato (FISCHER, 1999)

Segundo a Marazzi (1997), os furos são executados com o auxílio de fresas especiais que fazem parte de instalações automáticas.

Uma vez alcançada a profundidade de projeto, as fresas executam no fundo do orifício uma abertura da base, criando-se deste modo, um alojamento para a fixação que uma vez introduzida poderá expandir-se sem provocar tensões elevadas na placa cerâmica.

O momento a ser aplicado para o aperto da fixação deve ser determinado a partir de ensaios. No sistema comercializado pela Marazzi, o aperto pode ser realizado automaticamente pelo equipamento ou com o auxílio de um torquímetro, introduzindo-se um par de momentos da ordem de 2,5 N.m.

Já os ganchos são presos às fixações inseridas no tardo da placa mediante porcas de aço inoxidável que se “auto travam” (Figura 4-14). Sua função é permitir o acoplamento entre a placa e a subestrutura.



Figura 4-14-Instalação de ganchos no tardo da placa (GRANITI FIANDRE, s.d.)

4.6.6 Instalação das placas cerâmicas

O último passo da montagem é a fixação das placas de grês porcelanato à subestrutura de suporte.

No caso da opção pelo revestimento com acoplamento visível, a fixação das placas se dá de baixo para cima, pela utilização de cliques especiais, fixados aos perfis verticais por rebites.

Os cliques são instalados com o auxílio de uma linha de nível para garantir a uniformização no posicionamento dos componentes e conseqüentemente das placas (Figura 4-15).



Figura 4-15-Instalação de placa em revestimento com acoplamento visível (MARAZZI, 1997)

As placas então, são encaixadas aos cliques, sendo suas juntas verticais alinhadas e uniformizadas pela utilização de espaçadores plásticos.

Entre os perfis e as placas, é comum a utilização de selantes elastoméricos (mástiques) ou de uma guarnição têxtil com a finalidade de se evitar vibrações provocadas pelo vento, já que é admitida uma folga de até 2 mm entre o cliques e parte superior da peça cerâmica.

O manual da Marazzi (1997) aconselha, a aplicação de silicone estrutural para este fim, alegando que além de evitar as vibrações, este impede a queda da placa cerâmica caso esta sofra fratura transversal.

No caso da utilização do sistema com fixações ocultas as placas são presas à subestrutura auxiliar através dos ganchos que encaixam-se às guias.

As juntas verticais entre as placas são alinhadas e uniformizadas pela utilização de um espaçador plástico que é removido após a fixação do componente que ocorre quando do aperto do parafuso conjugado ao gancho fixo instalado na placa.

Deve-se deixar claro que este procedimento é de extrema importância, posto que, apenas um dos ganchos em cada placa (sendo este geralmente o superior esquerdo, devido à facilidade para o aperto e a uniformização do procedimento) deve possuir o componente de fixação, para permitir que quando a subestrutura for solicitada por forças no sentido longitudinal das guias, estes esforços não sejam transmitidos para as fixações, que poderiam vir a romper as placas de grês porcelanato.

O operário procede então, à checagem do prumo de cada placa em particular, ajustando este com o auxílio de parafusos localizados em ambos os ganchos superiores.

As peças fracionadas devem vir preparadas de fábrica, porém, devem permitir um ajuste em obra, caso este mostre-se necessário.

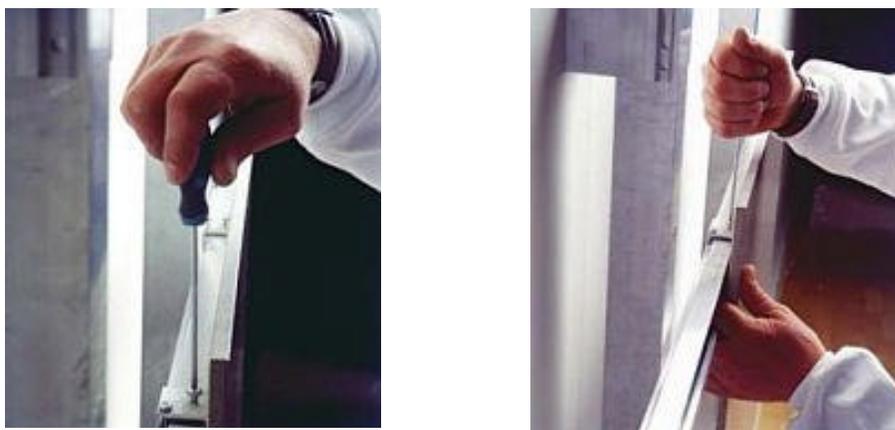


Figura 4-16- Fixação e ajuste do prumo da placa cerâmica

4.7 CONTROLE

O controle deve fazer parte integrante do projeto da FCGP, já que sem o estabelecimento deste, todos os outros procedimentos e especificações não podem ser verificados e avaliados, tornando-se, portanto, inócuos.

Além do Controle de Aceitação para o Início dos Serviços comentado no seguimento 4.5, é de fundamental importância a implantação do Controle de Qualidade de Execução e do Controle de Qualidade de Aceitação.

Para a aplicação de uma metodologia de controle é de fundamental importância que se estabeleçam as tolerâncias para a aceitação de um determinado serviço, definindo-se ainda quais as providências a serem tomadas caso se observe a existência de não conformidades.

Além do controle de qualidade que é exercido pela aplicação dos procedimentos estabelecidos, as atividades de controle devem servir também para a averiguação da aplicabilidade, construtibilidade e confiabilidade do sistema em função dos critérios de projeto estabelecidos, incluindo-se aqui, os critérios utilizados como tolerâncias para a aceitação ou rejeição dos serviços ou parte deles.

Com o intuito de estabelecer-se uma diretriz para a elaboração do controle quando da produção de uma FCGP pela empresa fornecedora do sistema, discutir-se-á resumidamente a seguir, as etapas de controle, bem como os principais itens a serem verificados, quando da produção da FCGP.

4.7.1 Controle de Qualidade de Execução

Este controle a ser tomado pela empresa contratada para o fornecimento do sistema de produção de FCGP tem por objetivo garantir a conformidade da produção com os padrões estabelecidos em projeto, através da verificação contínua do processo de produção do revestimento, podendo-se assim, intervir no processo de modo a corrigir os procedimentos no momento em que ocorram os desvios.

A ASTM C 1242 (96b) alerta que uma boa construção de fachada-cortina requer operários que tenham notória experiência em obras de instalação similar. Pessoas com pouca experiência devem ser aceitas apenas quando

trabalharem em uma equipe que possua profissionais altamente especializados.

Esta norma entende por similar, o trabalho executado em um mesmo tipo de obra, com o mesmo método de ancoragem, de instalação e sistemas de suporte.

A mão-de-obra deve ser capacitada de tal forma a permitir a prática do auto-controle para serviços considerados corriqueiros, ou seja, aqueles cuja técnica já foi perfeitamente absorvida pelos operários. Souza (2001) afirma que nestes casos “os serviços vão sendo controlados à medida que vão sendo executados, pela própria mão-de-obra”. Assim, apenas as passagens mais críticas devem exigir a presença de um controle externo.

Esses pontos devem estar listados antes do início da execução dos serviços e são função da complexidade do projeto.

Para a formalização deste tipo de controle, Souza afirma que pode-se utilizar de fichas destinadas à prática do auto controle e gestão das não conformidades que auxiliem a mão-de-obra, bem como os projetistas a acompanharem os resultados dos serviços executados, podendo ser utilizadas também quando da recepção dos serviços. Deve-se concentrar em um único documento as tolerâncias a fim de se evitar a necessidade de se recorrer a vários documentos quando da necessidade da verificação dos serviços.

O estabelecimento da formalização da recepção intermediária dos serviços, acarretando na correção das não conformidades, contribui para a entrega do sistema sem pendências.

Segundo Sabbatini, Selmo e Silva (1988), esta sistemática de controle permite identificar e evitar a reprodução de técnicas inadequadas e uso incorreto de materiais. Sua adoção pode representar um aperfeiçoamento contínuo da mão-de-obra, uma vez que evita a repetição de práticas indesejáveis, além de estimular o uso de técnicas mais eficientes para a execução do serviço, e

ainda obter a catalogação e documentação adequada dos materiais e técnicas empregadas e os resultados obtidos, tornando-se um documento valioso para futuros levantamentos de pesquisa, bem como para o diagnóstico e tratamento de eventuais manifestações patológicas.

Este controle poderá ser efetivado de forma global ou através de amostragem. Confrontando-se as informações obtidas com os padrões estabelecidos, pode-se configurar as seguintes situações:

- o revestimento em execução atende às exigências - deve-se portanto, autorizar o prosseguimento sem alterações ou,
- o revestimento não atende às exigências - neste caso deve-se identificar as razões, antes de proceder às alterações.

A seguir, são apresentados itens importantes que devem ser verificados no controle de qualidade da FCGP.

a) Preparo da envoltória (vedação vertical):

- necessidade de tratamento superficial diferenciado em regiões não previstas em projeto.

b) Definição do plano de revestimento:

- prumo, esquadro, nivelamento das ancoragens e posicionamento da subestrutura auxiliar;

c) Montagem das placas cerâmicas

- alinhamento e prumo das juntas;
- a espessura das juntas verticais e horizontais;
- planicidade das placas;
- aderência dos elementos de fixação;
- o número de ancoragens por placa;
- limpeza e desobstrução da câmara;

- obediência às juntas de dilatação - nenhum elemento estrutural ou componente de revestimento poderá se sobrepor às juntas de dilatação.

Segundo a BS 8200 (1985), a aplicação e o posicionamento dos componentes de fixação quer na estrutura ou quando da instalação das placas, bem como a execução de juntas de movimentação e compressão devem ser cuidadosamente supervisionados durante toda a sua execução e quando qualquer variação ocorrer, procedimentos adequados devem ser tomados para assegurar a fixação satisfatória.

A BS 8200, (1985) recomenda também, que a etapa de fixação, tanto das ancoragens como das placas devem ser rigidamente controladas, para se certificar que o tipo e a quantidade de chumbadores e fixadores estão de acordo com o especificado em projeto e que estes estão devidamente instalados, principalmente nos locais de difícil acesso, que dificultam uma checagem posterior.

Onde buchas e arruelas foram projetadas para separar metais com a finalidade de se evitar a formação de pares galvânicos ou para permitir a movimentação dos componentes, esta norma recomenda que deve-se conferir se estes dispositivos foram corretamente posicionados. Aperto exagerado e dobras dos fixadores para acomodar inexatidões não podem ser consentidos.

4.7.3 Controle de Qualidade de Aceitação

O controle de qualidade da FCGP tem por objetivo a verificação da total conformidade do revestimento executado, com as especificações de projeto.

O universo do controle da qualidade de aceitação é toda a FCGP. Além das funções de receber o serviço e apropriar o que foi produzido, o controle de aceitação pode servir como instrumento fundamental para a avaliação do projeto do revestimento e para o aperfeiçoamento do processo.

Para tanto, deve-se elaborar um "*check list*" a ser preenchido na presença do contratante, contendo, além das observações a serem feitas por este, os seguintes itens para a checagem:

- planeza, prumo e nivelamento das superfícies da FCGP;
- esquadro dos diedros e retilinearidade, nivelamento e prumo do eixo dos diedros;
- uniformidade e limpeza da superfície;
- execução de detalhes construtivos: juntas, cortes, pingadeiras, etc;
- limpeza.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se afirmar que a FCGP constitui-se numa evolução do processo de produção de fachadas de edifício, tanto no aspecto construtivo, por tratar-se de um processo com alto índice de industrialização, quanto no desempenho proporcionado.

Alguns pesquisadores europeus chegam a qualificá-la como a solução para os problemas termo-higroscópicos inerentes às fachadas tradicionais.

Contudo, um aspecto que deve ser levado em consideração quando da opção por este tipo de revestimento é sua comercialização como *sistema de produção*, ou seja, revestimento aplicado com garantia de desempenho, englobando: o projeto para produção completo e compatibilizado para cada obra em questão, o serviço de montagem, manutenção e garantia efetiva em contrato, do desempenho global do sistema.

A adoção de outros critérios de comercialização pode levar o sistema ao fracasso, já que, a implantação desta tecnologia requer que se tenha o domínio tecnológico de todos os outros subsistemas com quem esta possui uma interface. Este fato pôde ser observado quando da tentativa da introdução dos painéis de concreto pré-moldados para fachada e das divisórias leves de gesso acartonado na década de sessenta, abortadas devido às inúmeras manifestações patológicas apresentadas à época, sendo

que apenas ao final da década de noventa, esforços para suas implantações foram retomados.

Além de levar em consideração as peculiaridades de nossas obras, a implantação de um sistema de FCGP deve ser precedida de um desenvolvimento tecnológico de forma a tornar o sistema totalmente integrado com os demais elementos que compõem a vedação vertical externa dos edifícios, a fim de se fazer do sistema uma “solução construtiva”.

Deve-se deixar claro, também, que o campo de aplicação da FCGP é restrito a obras de elevado padrão, onde atualmente são utilizados revestimentos não aderidos, como: placas pétreas, placas de alumínio composto, placas de vidro e placas de resina acrílica, entre outros. Além do aspecto técnico, o custo do sistema deve ser compatível com as demais tipologias de fachadas não aderidas a fim de que se torne competitivo.

Para a conclusão do curso de MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifício, Siqueira Jr (2001) levantou os dados apresentados na Tabela 5-1. Este levantamento de preços, ainda que superficial, revela que a fachada cortina em grês porcelanato precisa competir em valor com os sistemas de fachada existentes no mercado, oferecendo todas as vantagens adicionais advindas do emprego destas placas.

Tabela 5-1 Preço em US\$ (convertido a razão de US\$ 1.00 a R\$ 2,70) do m² de sistemas de fachada comercializados em São Paulo / SP de acordo com levantamento realizado por Siqueira Jr (2001)

TIPO DE FACHADA	EMPRESA	ESTRUTURA SUPORTE DO SISTEMA	REVESTIMENTO DO SISTEMA	MÃO DE OBRA	VALOR TOTAL
Placas de Alumínio Composto	A	41.62	62.86	26.11	130.60
	B	34.98	50.16	28.27	113.41
Placas de Resina	B	7.28	101.85	38.38	147.51
Pele de vidro	A	99.81	68.43	42.79	211.03
Placas pétreas	D	15.47	66.51	11.69	93.67

Deve-se salientar que a pesquisa aqui apresentada, precisa necessariamente se pautar por parâmetros de custos de modo a resultar na obtenção de um *sistema de produção* de fachada viável e competitivo.

A Tabela 5-1 não apresenta os valores médios de FCGP em virtude de nenhuma obra ter sido executada com este sistema até o momento no país, porém, em contatos via correio eletrônico (*e-mail*) com pesquisadores europeus e fabricantes de fachadas (Antti Mäntylä e Marazzi) pôde-se constatar que o custo dos sistemas de FCGP na Europa varia de 90 à 200 Euros, o que o coloca na faixa de preço dos demais revestimentos não aderidos.

Há de se ressaltar, que com o desenvolvimento de outras formas de fixação, adaptadas à realidade da construção civil brasileira, deve-se conseguir uma redução nos custos da FCGP, tornando-a mais competitiva. Porém, esse desenvolvimento deve fazer parte de um trabalho de Doutorado a ser realizado a posteriori.

Ao ver deste autor, a continuação do presente trabalho de pesquisa pautar-se-á em duas atividades principais: a sistematização do processo de produção a fim de se estabelecer uma metodologia para o desenvolvimento de um projeto para a produção de FCGP, além do desenvolvimento de um protótipo a fim de se estabelecer os critérios de desempenho a serem adotados para este sistema de revestimentos. Para tanto, acredita-se que as seguintes etapas devem ser conduzidas:

- Estabelecimento dos critérios de desempenho da FCGP;
- Definição dos parâmetros para elaboração do Projeto para Produção da FCGP;
- Definição dos equipamentos e ferramentas para aplicação da FCGP;

- Definição da logística de fornecimento, armazenamento, transporte e manuseio dos equipamentos, ferramentas, componentes e acessórios até a obra e no interior do canteiro de obras, até a conclusão dos serviços.

Com relação ao projeto para produção de FCGP, destaca-se a importância não somente de adequar os parâmetros e critérios de normas estrangeiras à realidade da construção de edifícios no Brasil, mas também à necessidade de compatibilizar os acessórios, componentes, ferramentas, equipamentos, técnicas atualmente disponíveis e gestão do processo de produção. Neste sentido, merecem destaque as particularidades das condições locais, principalmente com relação à regularidade geométrica das fachadas, deformabilidade estrutural, características das vedações em alvenaria e carência de normalização de desempenho nacional.

Em outra etapa, ter-se-á por objetivo viabilizar a avaliação de desempenho em laboratório do protótipo da FCGP construído a partir do projeto para produção desenvolvido na primeira etapa, visando garantir o desempenho da FCGP, avaliando-se para tanto, se os requisitos estabelecidos foram plenamente atingidos, com base nos ensaios previstos na normalização em vigor. As características não previstas em norma serão objeto de avaliação a ser concebida pelo pesquisador. Esta etapa deverá englobar:

- verificação da resistência mecânica dos dispositivos e acessórios de fixação e ancoragem;
- verificação da resistência mecânica dos conjuntos placa-dispositivo de fixação, dispositivo de fixação-montante, montante-ancoragem e estribo-chumbadores e chumbadores-base suporte (estrutura e alvenaria);
- avaliação da deformabilidade de um painel da FCGP;
- verificação da resistência mecânica de painel da FCGP ao impacto;

- verificação da estabilidade devido à ação do vento;
- verificação da resistência ao choque térmico de um painel da FCGP;
- verificação da estanqueidade de um painel da FCGP à água de chuva.

ANEXO A

DIMENSIONAMENTO DA SUBESTRUTURA AUXILIAR

O primeiro esforço a ser considerado é o devido ao peso próprio, que no caso da FCGP situa-se entre 25 Kgf/m² e 30 Kgf/m².

Com relação as forças devidas à ação do vento, os seguintes esforços devem ser consideradas conforme critérios estabelecidos pela NBR 6123 (1988):

A pressão (P) para ensaio da fachada deve ser determinada pela equação:

$$P = q(CE - Ci)$$

onde:

P - Pressão de ensaio (Pa)

q - Pressão de obstrução

CE-Ci - Coeficiente aerodinâmico estabelecido através da posição da fachada e das dimensões da edificação

A pressão de obstrução da fachada é obtida por:

$$q = \frac{(VK)^2}{1,6}$$

onde:

VK - Velocidade característica do vento, em m/s,

Sendo:

$$VK = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3,$$

onde:

V_0 - Velocidade básica do vento em m/s, dada na Figura 3-18;

S_1 - Fator topográfico de correção extraído da Tabela A-1.

S_2 - Fator de correção devido à rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura com relação ao terreno, extraído da Tabela A-2.

S_3 - Fator probabilístico de valor constante igual a 0,88.

Tabela A-1-Fator topográfico de correção (NBR 6123, 1988)

Topografia	S_1
Vales profundos protegidos de todos os ventos	0,9
Encostas e cristas de morro em que ocorre aceleração do vento. Vales com efeito de afunilamento	1,1
Todos os casos, exceto os acima citados	1,0

Tabela A-2-Fator de correção: rugosidade do terreno, dimensões da edificação e altura acima do terreno (NBR 6123, 1988)

Altura acima do terreno H (m)	Categoria			
	Terreno aberto sem obstruções.	Terreno aberto com poucas obstruções.	Terreno com muitas obstruções: pequenas cidades e subúrbios de grandes cidades.	Terrenos com obstruções grandes e frequentes. Ex.: centro de grandes cidades.
3	0,83	0,72	0,64	0,56
5	0,88	0,79	0,70	0,60
10	1,00	0,93	0,78	0,67
15	1,03	1,00	0,88	0,74
20	1,06	1,03	0,95	0,79
30	1,09	1,07	1,01	0,90
40	1,12	1,10	1,05	0,97
50	1,14	1,12	1,08	1,02
60	1,15	1,14	1,10	1,05
80	1,18	1,17	1,13	1,10
100	1,20	1,19	1,16	1,13
120	1,22	1,21	1,18	1,15
140	1,24	1,22	1,20	1,17
160	1,25	1,24	1,21	1,19
180	1,26	1,25	1,23	1,20
200	1,27	1,26	1,24	1,22

A. Determinação da linha elástica

A importância da determinação da linha elástica está no fato de que as especificações para o cálculo ou dimensionamento da fachada estabelecidas pela NBR 10821 (2000) impõem um limite para a flecha apresentada pela estrutura.

Assim, os perfis a serem dimensionados, além de suportar as cargas que neles atuam, não devem sofrer deformações acima das impostas pela norma.

Nash (1973) define como flecha num ponto do eixo de uma viga, “*a componente do deslocamento linear deste ponto, que é perpendicular ao eixo reto da viga, anterior à aplicação das cargas (...). A curva na qual se transforma o eixo da viga, inicialmente reto, recebe o nome de linha elástica*”.

Vários são os processos adotados para a obtenção da linha elástica, sendo mais empregados: a integração direta, o diagrama de momentos e o processo da energia de deformação.

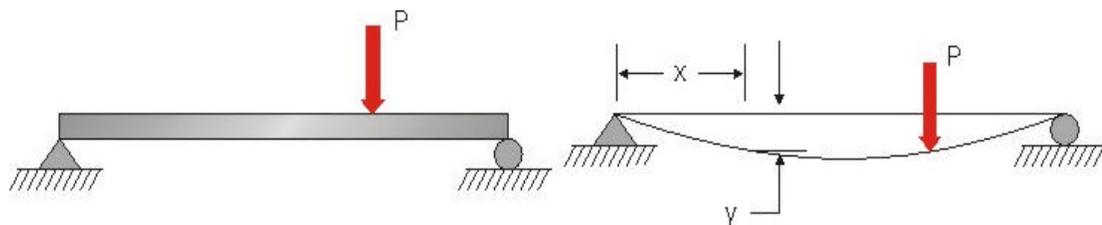


Figura A-1-Linha elástica de uma viga bi apoiada submetida a uma força P

Adotando-se o processo da integração direta, Silva Jr (1972) e Nash (1973) demonstram que a equação diferencial para a obtenção da linha elástica das barras fletidas é expressa por:

$$EJ \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (1)$$

onde: E- Módulo de elasticidade do material da viga

J – É o momento de inércia da seção transversal, em relação à linha neutra

M – Momento fletor

Nash afirma que em geral, J e M são funções de x, porém, nas vigas prismáticas apenas M varia com x, sendo que em cada problema particular, a expressão (1) deve ser integrada duas vezes para se obter a equação da linha elástica sob a forma $y= f(x)$. A primeira integral fornece a inclinação dy/dx , da tangente, e a segunda fornece a linha elástica y em função de x.

A.1 Escolha dos perfis

O roteiro para o cálculo estático e dimensionamento dos perfis difere do sistema com acoplamento visível para o sistema com acoplamento oculto, em virtude deste último exigir a presença de guias horizontais (às quais é fixado o revestimento), que transfere os esforços para os montantes. Já no sistema com acoplamento visível, as cargas são transmitidas diretamente do revestimento para os montantes e destes para as ancoragens.

Para efeito de dimensionamento da subestrutura de suporte, discutir-se-á a seguir, a metodologia para o cálculo estático a ser aplicada em ambos os sistemas de fixação.

A.1.1 Sistema com acoplamento visível

Os esforços atuantes sobre um montante da FCGP devidos à força do vento, podem ser expressos da seguinte forma:

$$P = q.m.H.(CE - Ci)$$

onde: q – é a Pressão de obstrução (em Pascal)

m – é a distância entre eixos de dois montantes consecutivos

H – é o vão livre do montante

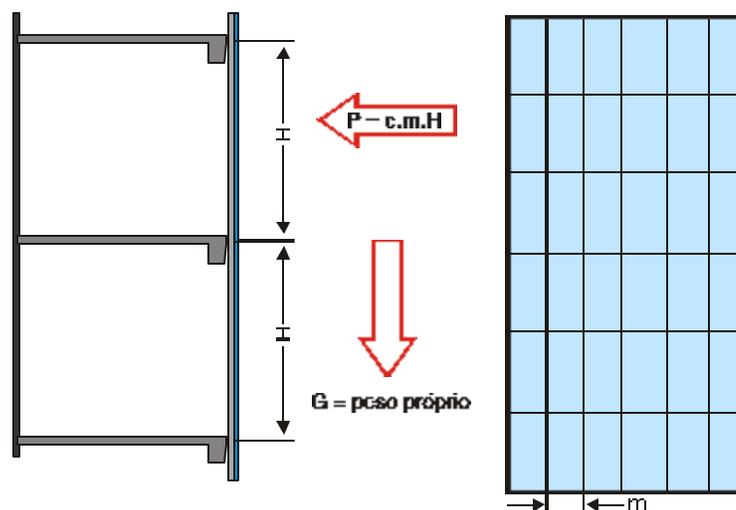


Figura A-2- Seção de FCGP com acoplamento visível

Sabendo-se que o Módulo de Elasticidade (E) do alumínio é da ordem de $7 \cdot 10^4$ MPa e o do aço de $20,5 \cdot 10^4$ Mpa, pode-se fixar a flecha máxima admissível (y_{\max}) para o montante, encontrando o valor do momento de inércia (J) da peça para que esse critério seja atendido.

De posse do momento de inércia necessário, entra-se em uma tabela escolhendo-se dentre os diversos perfis, um que contenha as características desejadas para atender-se os critérios mensurados.

A verificação quanto a flambagem local deve ser realizada conforme indicado na norma NBR 14762 (2001), segundo a qual, nas peças totalmente comprimidas, a seguinte condição deve ser atendida:

$$\frac{b}{t} < 0,673.95 \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{E}{S}}$$

onde: b – altura da mesa
 t - espessura da mesa

σ – tensão atuante no elemento²¹

Para o caso do alumínio, as resistências de escoamento podem ser obtidas da Tabela A-3.

Segundo Fruchtengarten (s.d.), a verificação quanto a flambagem lateral do montante submetido à flexão simples deve atender à seguinte inequação:

$$Md < \frac{0,65.EW}{\frac{d.l}{A_f}}$$

onde: Md – Momento fletor de cálculo

W - Módulo de resistência

E - Módulo de elasticidade do material do perfil

d - altura do perfil;

l - distância entre travamentos laterais;

A_f – área da mesa (b_f . t)

Observando-se que a flambagem lateral ocorre apenas para a situação apresentada na Figura A-3.

²¹ Em depoimento dado a este autor, o Prof. Dr. Valdir Pignatta e Silva, do PEF, esclareceu que a favor da segurança, é corrente utilizar-se a resistência de escoamento no lugar de σ

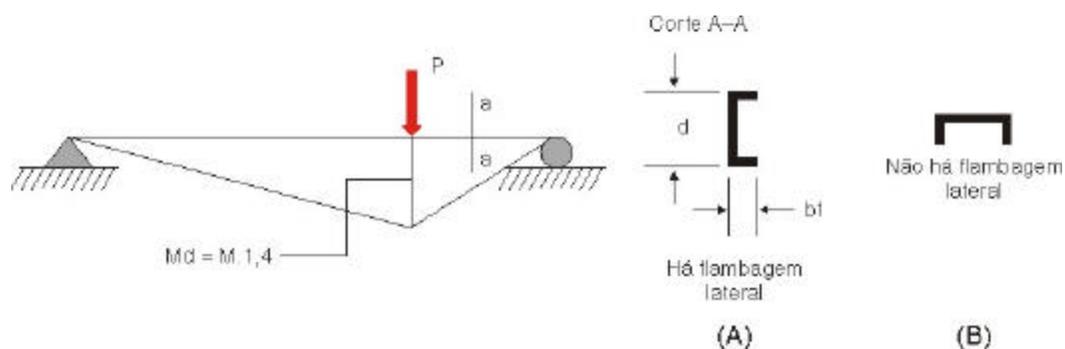


Figura A-3-Seção transversal do perfil em relação ao plano do carregamento. A flambagem lateral ocorre apenas na condição (A)

A Associação Brasileira do Alumínio – ABAL (2001), Bulson (1991), Fruchtengarten (s.d.) e Narayanan (1987) afirmam que é possível se verificar o comportamento de um perfil quanto à flambagem utilizando-se “curvas de dimensionamento” que relacionam o momento resistente ao índice de esbelteza²² $M_r = f(\lambda)$ (Figura A-4), elaborados pelas usinas para cada liga e tempera em particular.

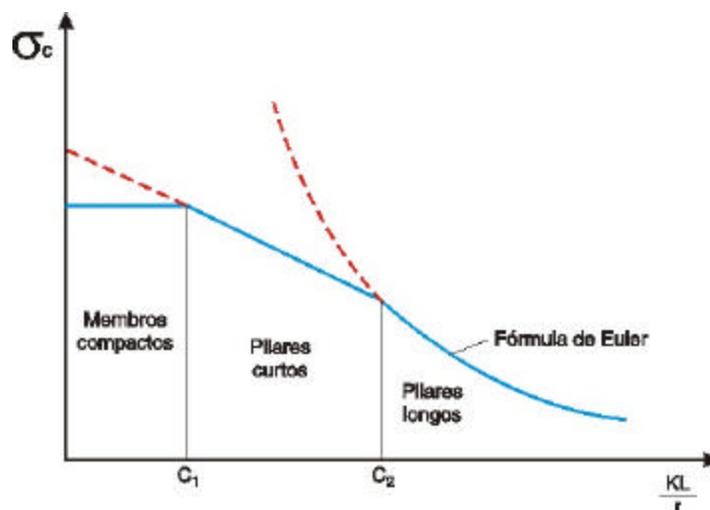


Figura A-4- Curva de dimensionamento

A ABAL (2001) classifica as peças comprimidas em duas categorias: membros compactos e pilares.

²² O índice de esbelteza (λ) = KL/r , onde L é o comprimento do perfil, r é o raio de giração e K é adotado em função das condições de vínculo da peça.

Segundo essa instituição, membros compactos são aqueles que possuem um índice de esbeltez efetivo menor que o índice de esbeltez crítico C_1 da curva de dimensionamento. Já os pilares, são definidos pela ABAL como os membros cujo índice de esbeltez efetivo é maior que o índice de esbeltez crítico C_1 da liga, subdividindo estas por sua vez em: pilares curtos e pilares longos.

Pilares curtos são aqueles cujo índice de esbeltez efetivo compreende-se no campo $C_1 - C_2$ da curva de dimensionamento, enquanto que nos pilares longos, o índice de esbeltez crítico situa-se num campo superior ao valor C_2 da curva de dimensionamento.

A.1.2 Sistema com acoplamento oculto

No caso do acoplamento ser realizado por intermédio de fixações inseridas no tardo das placas de grês porcelanato, há a necessidade de se adicionar guias horizontais sobrepostas aos montantes, conforme pode ser observado na Figura A-5.

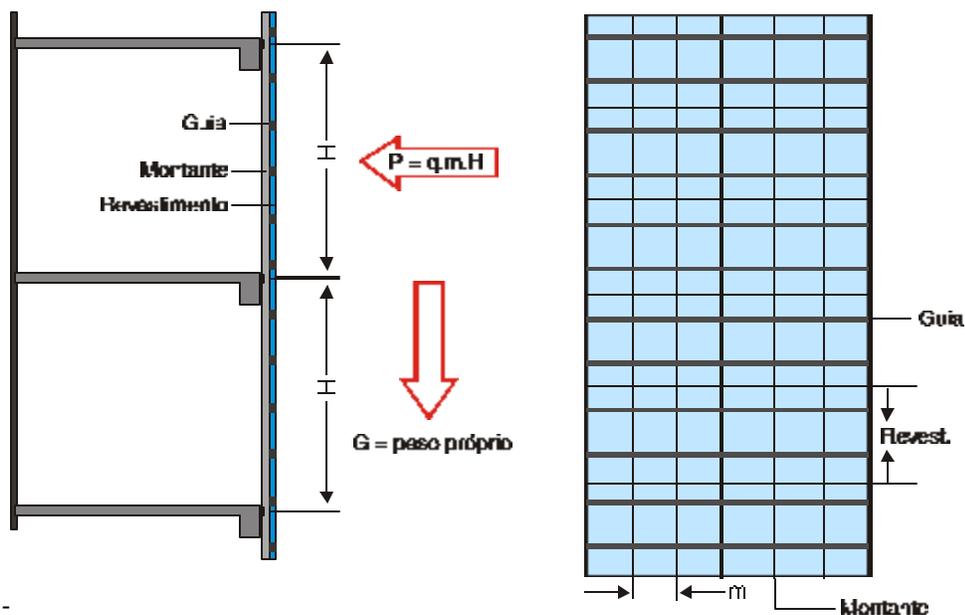
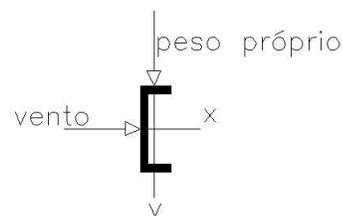


Figura A-5- Seção de FCGP com acoplamento oculto

As guias são solicitadas pelo peso próprio das placas e pela ação do vento que incide sobre estas, além das cargas acidentais, sujeitando-a a uma flexão oblíqua composta.

O procedimento para a o dimensionamento dos perfis e a verificação quanto à flambagem local é realizado para as duas condições de carregamento (x e y), ou seja, peso próprio e ação do vento respectivamente. A verificação quanto à flambagem lateral pode obedecer a seguinte condição, (Fruchtengarten, s.d.):

$$\frac{M_{dx}}{M_{rdx}} + \frac{M_{dy}}{M_{rdy}} \leq 1$$



Sendo:

$$M_{rdy} = \frac{W_y f_y}{1,1}$$

$$M_{rdx} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,65W_x}{\frac{d.l}{A_f} \cdot 1,1} \\ \frac{W_x f_y}{1,1} \end{array} \right.$$

onde: M_{dx} - é o momento de cálculo devido ao peso próprio
 M_{dy} - é o momento de cálculo devido a ação do vento
 W_x - é o módulo de resistência em torno do eixo x

W_y - é módulo de resistência em torno do eixo y

f_y - é a resistência ao escoamento do material

Mrd_x e Mrd_y - são respectivamente os momentos resistentes em torno dos x e y.

Já os montantes são solicitados pelas reações de apoio das guias e continuam sendo dimensionados à flexão apenas para os esforços horizontais.

Tabela A-3 - Propriedades mecânicas do alumínio série 6000 - Adaptado de (ALCOA s.d.)

Liga e têmpera ALCOA	Resistência à ruptura MPa (N/mm ²)		Resistência ao escoamento MPa (N/mm ²)		Alongament o (%) 50mm	Dureza Brinell
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Valor típico HB
6061 - O	-	150	-	110	16	30
6061 - T4	180	-	110	-	16	65
6061 - T6	260	-	240	-	8	95
6061 - T8	340	-	260	-	-	-
6061 - T9	350	-	265	-	-	-
6063 - 0	-	130	-	-	18	25
6063 - T4	125	-	60	-	14	50
6063 - T4A	110	-	55	-	15	48
6063 - T5	145	-	105	-	8	60
6063 - T6	205	-	170	-	8	73
6063 - T6C	180	-	145	-	8	65
6261 - T4	185	-	110	-	20	60
6261 - T4A	175	-	100	-	21	55
6261 - T6	265	-	225	-	10	90
6261 - T6C	255	-	215	-	11	85
6262 - T6	260	-	240	-	10	90
6262 - T8	320	-	250	-	8	90
6351 - 0	100	150	50	100	16	35
6351 - T4	220	-	130	-	16	60
6351 - T6	290	-	255	-	8	95
6463 - T4A	137	-	68	-	20	42
6463 - T5	150	-	110	-	8	60
6463 - T6	205	-	170	-	8	74
6463 - T6C	180	-	160	-	10	65

Tabela A-4 - Designação de equivalência entre normas e ligas comerciais do alumínio série 6000. Adaptado de (ALCOA, s.d.)

ALCOA	ABNT	ASTM	DIN	BS	ALCAN	CBA	ALUSUD	ALUSUISSE
6061	6061	6061	AlMgSiCu	-	6061 (65S)	65M	-	(Ac - 063)
6063	6063	6063	AlMgSi 0,5	H9	6063 (50S)	50M	A 50	(Ed - 053)
6101	6101	6101	EAlMgSi	91E	6101 (D50S)	-	AD 50	(Ad - 051)
6261	6261	6261	-	-	6261 (D65S)	-	AD 65	(Ac - 073)
6262	6262	6262	-	-	6262 (66S)	-	A 66	-
6351	6351	6351	AlMgSi 1	H 20	6351 (B51S)	51M	A 51	(Ac - 090)
6463	6463	6463	-	BTRE 6	6463 (C50S)	-	Ac 50	(Ac - 750)

A.2 Verificação das juntas rebitadas

Sendo as fixações entre as guias e os montantes e destes com as ancoragens executadas através de rebites e tendo-se determinado as reações de apoio às quais a estrutura está sujeita, torna-se possível a verificação das tensões atuantes nas junta rebitadas.

Silva Jr (1972) e Nash (1973) classificam as juntas rebitadas em dois tipos: de topo ou por justaposição.

Nash explica que nas juntas por superposição as chapas são sobrepostas e ligadas entre si por intermédio de uma ou mais linhas de rebites, e as juntas de topo são aquelas em que duas chapas são dispostas uma em frente à outra (de topo) e recobertas por outras duas chapas, sendo que cada chapa é ligada às de recobrimento através de uma ou mais linhas de rebites.

Ambos os tipos podem sofrer arranjos de forma a constituírem juntas rebitadas simples ou juntas rebitadas duplas, conforme pode ser observado na Figura A-6.

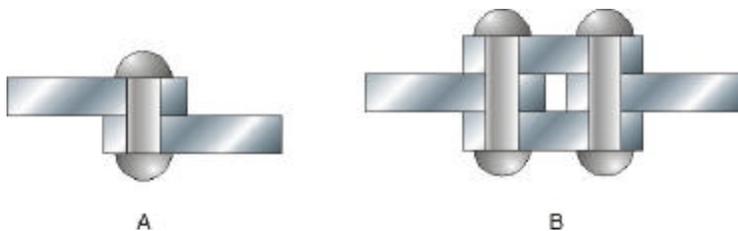


Figura A-6- Conexões rebitadas (A) Junta por superposição; (B) junta de topo

Fruchtengarten (1988) afirma que quando da determinação dos esforços atuantes bem como o dimensionamento das juntas deve-se levar em consideração as diversas possibilidades de ruptura às quais estas estão sujeitas:

A.2.1 Resistência à tração e ao esforço cortante no rebite

Verifica-se essa situação quando a ruptura se dá por tração e por corte na seção correspondente ao plano de contato das chapas. Assim:

$$\left[\frac{F_t}{A f_u} \right]^2 + \left[\frac{V}{A \cdot 0,6 \cdot f_u} \right]^2 = 1,0$$

onde:

F_t é a força de tração

V é a força cortante

A é a área da seção transversal do rebite

f_u é a resistência à ruptura

A.2.2 Resistência à força normal ou força cortante das partes conectadas:

Escoamento na seção bruta

Força Normal -
$$Nrd = \frac{A f_y}{g_s} ; g_s = 1,10$$

Força Cortante -
$$Vrd = \frac{A_w \cdot 0,6 \cdot f_y}{g_s} ; g_s = 1,10$$

onde: $A_w = d.t_w$ para perfis laminados.

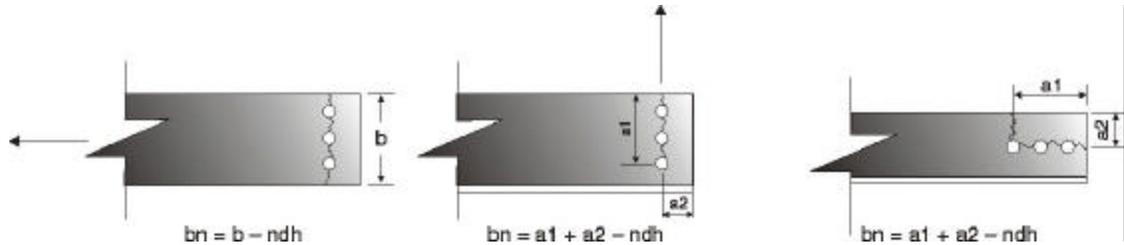


Figura A-7- Ruptura das partes conectadas

A.2.3 Ruptura na seção líquida

Força Normal -
$$Nrd = \frac{A_e f_u}{g_s} ; g_s = 1,10, A_e = C_t \cdot A_n$$

Força Cortante -
$$Vrd = \frac{A_n \cdot 0,6 \cdot f_u}{g_s} ; g_s = 1,10, A_n = b_n \cdot t$$

A.2.4 Resistência dos rebites ao corte

$$Vrn = m \cdot n \cdot A_e \cdot 0,6 \cdot f_u ; Vrd = \frac{Vrn}{g_s}$$

onde: γ_s = coeficiente de segurança

n = número de rebites

m = número de planos de corte

A_e = plano de corte que passa pelo corpo do rebite



Figura A-8 - Número de planos de corte do rebite

A.3 Resistência ao contato da chapa

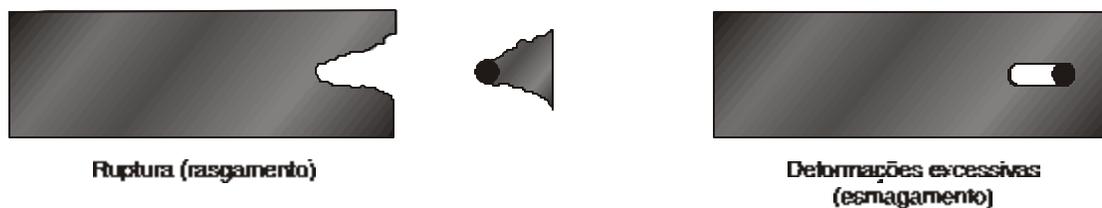
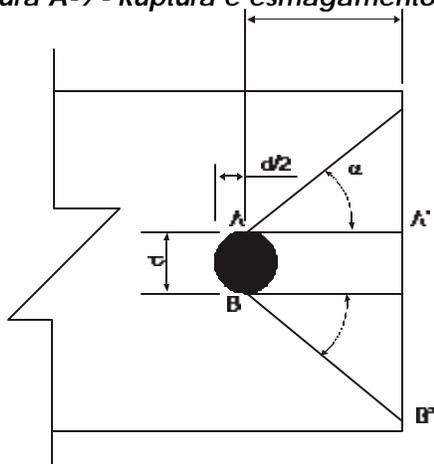


Figura A-9 - Ruptura e esmagamento da placa



$\alpha_{\text{real}} \pm 40^\circ$, mas toma-se $\alpha = 0$ por simplicidade (a favor da segurança), pois $AA' < AA''$.

Neste caso, para evitar-se a ruptura da chapa, a seguinte relação deve ser respeitada:

$$\frac{l_1}{d} \geq \frac{F r n}{t \cdot d \cdot f_u}$$

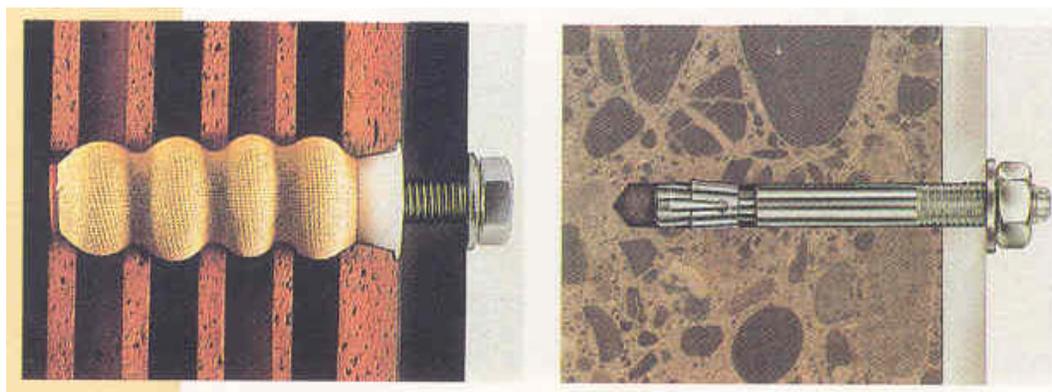
ANEXO B

ESCOLHA DOS CHUMBADORES

A correta especificação quanto às características, forma de fixação e distâncias mínimas entre chumbadores e destes com as bordas da base são fatores de fundamental importância para a estabilidade do sistema de FCGP.

Na fase de projeto, é também de fundamental importância o conhecimento dos componentes do substrato onde serão fixadas as ancoragens, podendo o projetista optar em função de cada caso por chumbadores mecânicos, químicos ou buchas de expansão.

- chumbadores mecânicos: ideais para peças de concreto e alvenaria maciça;
- chumbadores químicos: compostos por uma barra de aço rosçada, fixada com resina poliéster bi componente, ideais para componentes perfurados ou vazados;
- buchas de expansão: buchas de náilon que se expandem pela ação da introdução de um parafuso de fixação, ideais para componentes perfurados ou vazados.



(A)

(B)

**Figura B-1- Bucha de náilon de expansão (A) e chumbador mecânico (B)
(TECTÓNICA, 1995)**

As distâncias mínimas recomendadas para os diversos tipos de chumbadores, de modo a se evitar a interseção dos cones de tensões produzidos pelos chumbadores pertencentes a um conjunto de fixações encontram-se nas

Tabela B-1 e Tabela B-2. Encontram-se listadas também, as distâncias mínimas para a implantação de chumbadores próximos às bordas do substrato. Senkiw e Lancelot III (1991) atentam para o fato de que essas distâncias podem ser incrementadas no caso do uso de agregados leves na composição do concreto.

Tabela B-1 - Espaçamentos entre chumbadores e distância das arestas recomendada - para fixações sujeitas a forças cortantes (SENKIW e LANCELOT, 1991).

Profundidade da ancoragem E	Tipo A Chumbador incorporado ao concreto ainda fresco		Tipo B Por alargamento da base ²³		Tipo C e D Torque controlado ancoragem de expansão		Tipo E deformação controlada ancoragem de expansão		Tipo F ancoragem química e grauteado		Tipo G atarraxado ao concreto	
	S	m	S	m	S	m	S	m	S	m	S	m
4,0D ≤ 6,0D	3,50E	1,75E	3,50E	1,75E	3,50E	1,75E	3,50E	2,00E	2,00E	1,00E	2,00E	1,75E
6,0D ≤ 8,0D	2,00E	1,00E	3,00E	1,00E	2,00E	1,00E	3,00E	1,50E	1,50E	1,00E	1,50E	1,00E
≥8,0 D	15D	10D	15D	10D	15D	10D	20D	10D	12D	10D	12D	10D

E = profundidade de ancoragem.

D= diâmetro do chumbador.

S = distância mínima entre chumbadores.

m = distância mínima do chumbador ao bordo do substrato.

As distâncias dos chumbadores às bordas recomendadas pela Tabela B-1 e Tabela B-2, podem ser reduzidas em até 50%, desde que os valores de projeto sejam minorados com base nos fatores de redução listados na Tabela B-3, exceto para os chumbadores de expansão com deformação controlada (tipo E). Esta restrição impõe-se pelo fato de que os chumbadores tipo E, sujeitam o concreto a esforços de expansão muito elevados durante sua

²³ São ancoragens executadas a partir de um alargamento da base da furação, formando um orifício cilindro-cônico, realizado com o auxílio de um equipamento especial, no qual se introduz um chumbador de expansão.

instalação, podendo causar a ruptura da base quando implantado próximo às bordas.

Tabela B-2 - Espaçamentos entre chumbadores e distância das arestas recomendados - para fixações sujeitas a tração (P) (SENKIW and LANCELOT, 1991).

Profundidade da ancoragem E	Tipo A Chumbador incorporado ao concreto ainda fresco		Tipo B Por alargamento da base		Tipo C e D Torque controlado ancoragem de expansão		Tipo E deformação controlada ancoragem de expansão		Tipo F ancoragem química e grauteado		Tipo G atarraxado ao concreto	
	S	m	S	m	S	m	S	m	S	m	S	m
4,0D - ≤ 6,0D	3,50E	1,00E	3,50E	1,00E	3,50E	1,00E	4,00E	2,00E	2,00E	1,00E	3,500E	1,50E
6,0D - ≤ 8,0D	2,00E	1,00E	3,00E	1,00E	2,00E	1,00E	3,00E	1,50E	1,50E	1,00E	2,00E	1,00E
≥ 8,0 D	15D	6D	15D	6D	15D	6D	20D	10D	12D	6D	12D	6D

E = profundidade de ancoragem.

D = diâmetro do chumbado.

S = distância mínima entre chumbadores.

m = distância mínima do chumbador ao bordo do substrato.

Do mesmo modo, não é recomendada a instalação a menos de 50% dos valores propostos pelas Tabela B-1 e Tabela B-2 para chumbadores dos tipos C e D, ou chumbadores por alargamento da base (em inglês - *undercut*), sendo que quando uma aplicação requerer que a distância à borda seja inferior a este limite, devem ser utilizados chumbadores incorporados ao concreto ainda fresco (tipo A), ou chumbadores químicos, tipo F, devendo-se realizar ensaios "in loco" para se verificar sua real adequação ao projeto.

Tabela B-3 - Fatores de redução (SENKIW e LANCELOT, 1991)

	Força de tração		Força Cortante		
	Espaçamento (S) e distância aos bordos (m)	Fator (F _t)	Espaçamento (S) e distância aos bordos (m)	Direção do carregamento	Fator (F _v)
Chumbadores de expansão (tipos B,C,D e E)*	$S_{\min}=0,50S$	0,7	$m_{\min}=0,50m^{**}$	em direção ao bordo	0,5
	$m_{\min}=0,50m^{**}$	0,7	$S_{\min}=0,50S$	em outra direção qualquer direção	0,6 0,6
Ancoragem química (tipo F)*	$S_{\min}=0,50S$	0,7	$S_{\min}=0,50S$	qualquer direção	0,6
	$m_{\min}=0,50m$	0,7	$m_{\min}=0,7m$	em direção ao bordo	0,5
			$m_{\min}=0,50m$	em outra direção	0,6
				em direção ao bordo	0,25
			em outra direção	0,4	

* - Utiliza-se de interpolação linear para distâncias de 0,5m a 1,0m do bordo e espaçamento entre ancoragens de 0,5S a 1,0S.

1. No caso da utilização de três ou mais ancoragens o fator de redução de espaçamento deve ser associado. Quando duas ou mais distâncias ao afetarem o desempenho do sistema, os fatores de redução devem ser multiplicados.

** - Não é recomendável a redução do distanciamento ao bordo para ancoragens tipo E.

A BS 8298 (1994) trata a obtenção dos fatores de segurança quanto à ruptura dos chumbadores, afirmando que para se minimizar a possibilidade de deformações permanentes quando membros estruturais de aço são solicitados acima do limite proporcional, e para se evitar a necessidade do uso de cálculos de flexão inelástica, é recomendado que 59% do valor seja utilizado para o cálculo das tensões admissíveis. Isto representa um coeficiente de segurança de 1,55, o que implica numa probabilidade de falha da ordem de 0,2%.

As propriedades mecânicas dos chumbadores de aço inoxidável podem ser observadas nas Tabela B- 4, Tabela B- 5 e Tabela B- 6.

Tabela B- 4 - Propriedades mecânicas mínimas dos aços inoxidáveis austeníticos série 300 (BS 8298, 1994)

Classe	0,2% prova de carga $Y_{0,2}$	Limite a tração U_s	Resistência de trabalho a tração	Resistência de trabalho ao cisalhamento	Tensão de trabalho para chumbador inseridos em furos P_{bs}
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
303 S31	190	510	123	74	-
304 S15/S16	195	480 (500) ¹⁾	126	75	291 ²⁾
304 S11	180	480	116	70	277 ²⁾
316 S31	205	510	132	79	300 ²⁾
316 S11	190	490	123	74	285 ²⁾
321 S31	200	510 (500) ¹⁾	129	77	294 ²⁾

¹⁾Os valores entre parênteses foram retirados da BS 1449: Part 2 e diferem dos valores constantes da BS 970: Part 1.

²⁾Essas tensões de trabalho são baseadas em valores mínimos especificados pela BS 1449: Part 2

Tabela B- 5 - Propriedades mecânicas dos aços dos chumbadores de aço inoxidável austenítico (BS 8298, 1994)

Classe	Propriedades de classe	Chumbadores		Porca
		Tensão correspondente a 0,2% da deformação plástica $Y_{0,2b}$	Limite a tração U_{sb}	Prova de carga
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
A1, A2 e A4	50	210	500	500
	70	450	700	700
	80	600	800	800

Tabela B- 6 - Tensão de trabalho para chumbadores em perfuração desobstruída (BS 8298, 1994)

Classe	Propriedades de classe	Resistência de trabalho ao cisalhamento p_{sb} N/mm ²	Tensão de trabalho a tração p_{bb} N/mm ²	Tensão de trabalho p_{tb} N/mm ²
A1, A2 e A4	50	93	330	112
	70	200	534	241
	80	248	650	320

i- Falhas na fixação

As falhas de fixação podem ocorrer antes ou após a cura do concreto, sendo estas últimas, as de maior interesse para o caso das fixações por chumbadores.

As falhas de fixação podem ser ocasionadas por efeito estrutural devido às cargas de projeto, cargas acidentais, limitação da deformação devido à retração, movimentações higrotérmicas, variações sazonais de temperatura; além de outras ações físicas ou químicas. A Figura B- 2 mostra esquematicamente as diversas causas que podem levar à falhas na fixação.

Segundo Senkiw e Lancelot III (1991), as falhas dos sistemas de fixação ocorrem de quatro diferentes formas: por escorregamento do mecanismo de fixação; por ruptura do concreto em formato cônico; por flexão na base de concreto; por ruptura do corpo do chumbador, ou ainda, por uma combinação desses modos de falha que se encontram ilustrados pela Figura B- 43.



Figura B- 2- Causas das falhas de fixação (SENKIW e LANCELOT III, 1991).

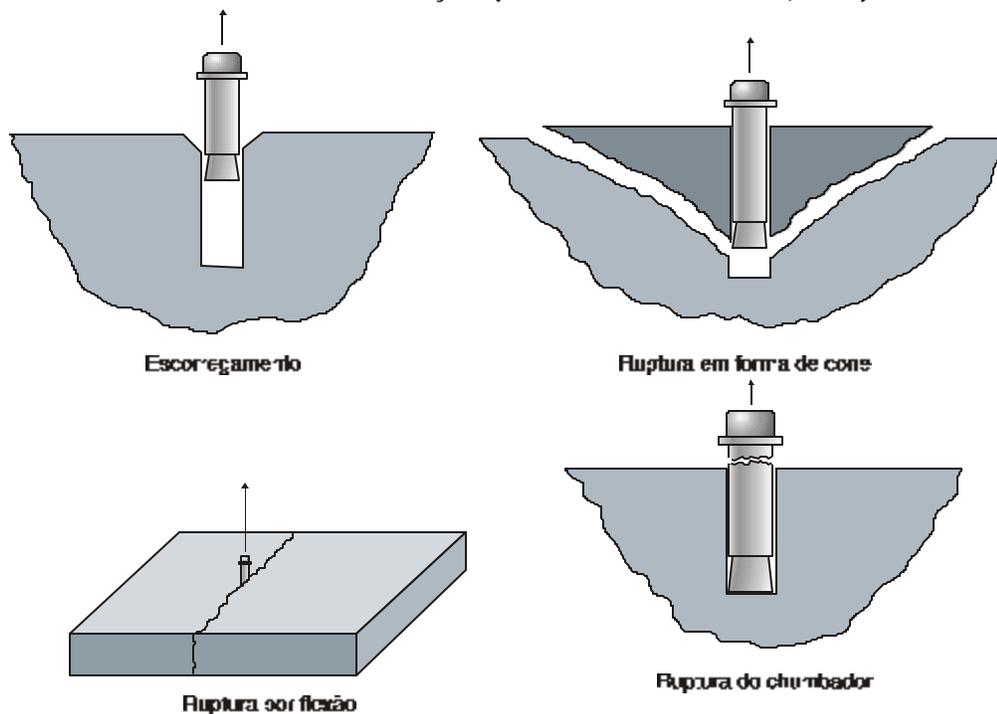


Figura B- 3- Tipos típicos de falha de chumbadores por expansão submetidos à tração (SENKIW e LANCELOT III, 1991).

a) Ruptura cônica da base de concreto

Quando um fixador de expansão é submetido a um carregamento, a tensão gerada por este, é transmitida do chumbador para o mecanismo de expansão, geralmente localizado em sua base, dando origem a uma força lateral normal ao eixo longitudinal de furação em que está inserido o mecanismo de fixação. Esta força normal é a responsável pelo desenvolvimento da força de atrito indutora da tensão de ancoragem introduzida ao sistema de fixação (SENKIW e LANCELOT III, 1991).

Ainda segundo Senkiw e Lancelot III (1991), quando a força aplicada ao dispositivo de fixação aumenta, uma superfície de tensão principal se desenvolve no interior do concreto, irradiada pelo mecanismo de expansão, em direção à superfície livre do concreto. O ângulo medido a partir do eixo longitudinal do chumbador, definido pela orientação da superfície principal de tensão encontra-se entre 45° e 60° , tendendo a decrescer com o aumento da penetração efetiva.

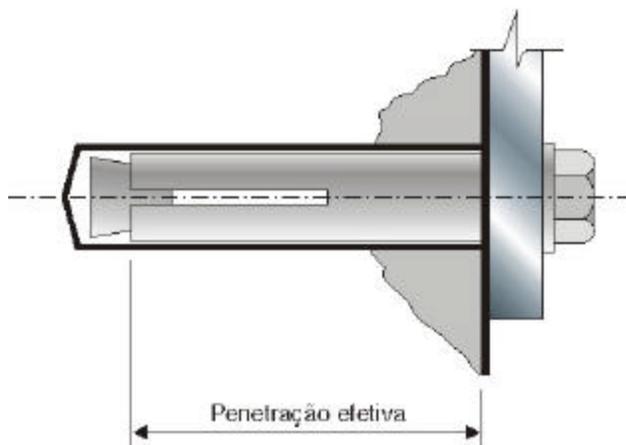


Figura B- 4- Penetração efetiva para chumbadores por expansão (BS 8298, 1994).

Estes autores afirmam que nos casos em que a profundidade de fixação (penetração efetiva) está compreendida entre 4,5 e 6,0 vezes o diâmetro do chumbador, eventualmente, a tensão ao longo dessa superfície pode

exceder a resistência característica do concreto, levando-o à ruptura que se dá em forma de cone, com um raio medido a partir do eixo longitudinal do chumbador, compreendido entre 0,8 e 1,0 vez sua profundidade de ancoragem.

b) Ruptura por rachadura na base de concreto

Neste tipo de falha a peça de concreto sofre ruptura por flexão, sendo comum sua ocorrência em fixações instaladas em estruturas esbeltas, peças de concreto não armadas ou fixações implantadas próximas à borda ou aresta da peça.

c) Falha por escorregamento do mecanismo de fixação

É observada quando o concreto em contato com o mecanismo de fixação do chumbador incorporado ao concreto ou com o mecanismo de expansão de chumbadores pós-perfurados, falha a compressão, permitindo que o conjunto seja sacado para fora do furo.

d) Falha por ruptura do corpo do chumbador

Comum nos chumbadores por alargamento da base; químico, incorporados ao concreto ainda fresco e chumbadores por expansão muito solicitados. Neste tipo de falha, o concreto se mantém íntegro, ocorrendo a ruptura no corpo do chumbador quando o aço é solicitado acima de sua tensão última de ruptura. Normalmente a ruptura na peça de aço se dá quando a fixação é feita a uma profundidade maior ou igual a nove vezes o diâmetro do chumbador.

ANEXO C

CÁLCULO DO EFEITO CHAMINÉ E DIMENSIONAMENTO DA
CÂMARA DE AR (CAVITY)

Os cálculos para troca de calor entre a fachada ventilada e o ambiente externo são baseados nos princípios do “efeito chaminé” que serão a seguir explanados com base no trabalho elaborado por Faist (1998).

A fachada ventilada é formada por uma câmara de ar com espessura d , altura H , abertura inferior A_{inf} e abertura superior A_{sup} , geralmente dadas por metro quadrado por metro linear de fachada.

O ar entra pela abertura inferior à temperatura T_B e é aquecido por ganhos solares até alcançar a temperatura T_H , gerando uma zona de baixa pressão na base da câmara e uma zona de alta pressão em sua sessão superior.

A distância do topo da câmara até a “zona neutra” (local onde as forças se anulam, ou seja, a pressão interna à câmara é exatamente igual à pressão externa) é chamada de h_t .

Admitindo que o movimento do ar na câmara segue a lei de conservação de energia (Lei de Bernoulli) e que o fluxo aglomerado é conservado até as aberturas mais baixas A_B e A_H , pode-se calcular a distância h_t da zona neutra para o topo da câmara por meio da equação:

$$h_t = \frac{H}{1 + \left(\frac{T_B}{T_H} \right) \left(\frac{A_{sup}}{A_{inf}} \right)^2}$$

onde:

T_B (absoluta) é a temperatura na base da câmara

T_H (absoluta) é a temperatura no topo da câmara

$A_{sup} = C_{d,H} \cdot A_H$; $A_{inf} = C_{d,B} \cdot A_B$

A_H e A_B são as aberturas geométricas e $C_{d,H}$ e $C_{d,B}$ os correspondentes coeficientes de descarga.

h_t é a distância da zona neutra até o topo da câmara

A parte acima da zona neutra é a zona de alta pressão e a parte abaixo desta é a zona de baixa pressão.

Optando-se por $A_{\text{sup}} < A_{\text{inf}}$, a zona neutra é abaixada, provocando a ampliação da zona de alta pressão; por outro lado, fazendo-se $A_{\text{sup}} > A_{\text{inf}}$, a zona neutra sobe, provocando o aumento da zona de baixa pressão.

O fluxo de ar através da câmara da fachada devido a seu aquecimento, remove o calor, e a diferença de temperatura é calculado pela expressão:

$$\Delta T^3 = \left(\frac{G_{\text{ar}} \cdot H}{r \cdot c_p} \right)^2 \cdot \frac{T_B}{g \cdot H} \cdot \frac{1}{A^2}$$

$G_{\text{air}} \cdot H$ é a força total devida ao ar $(P_{\text{air}} = G_{\text{air}} \cdot H)$ [W/m_{lin}]

(por metro linear da altura da fachada)

$\rho \cdot c_p$ é a capacidade térmica do volume de ar ~1200 [J/m³K]

g é a aceleração da gravidade 9,81 [m/s²]

H é a largura da câmara [m]

A é a área total da sessão [m²]

$$\frac{1}{A^2} = \frac{1}{A_{\text{sup}}^2} + \frac{1}{A_{\text{inf}}^2}$$

O fluxo de ar através da abertura da câmara é dado por:

$$D = \frac{3600}{r \cdot c_p} \cdot \frac{G_{\text{ar}} H}{\Delta T} \cong 3 \frac{G_{\text{ar}} H}{\Delta T} = 3 \frac{P_{\text{ar}}}{\Delta T} \text{ [m}^3/\text{h m}_{\text{lin}}\text{]}$$

Para obter-se a velocidade de descarga, a taxa do fluxo do ar é dividida pela correspondente seção geométrica da abertura:

$$V_H = D/A_H ; V_B = D/A_B$$

Modelo termodinâmico para a fachada ventilada

A fachada ventilada é um mecanismo termodinâmico que trabalha dentro e fora da câmara por diferença de temperaturas, ou seja:

$$\frac{n.N.l_p.h_{pp}}{3600} \leq (A_{sup} . h_t)^{2/3} \left(\frac{g.G_{ar}}{r.c_p.T_{entr}} \right)^{1/3}$$

sendo o significado desta equação o seguinte:

$$\left[\begin{array}{l} \text{capacidade de ventilação da} \\ \text{fachada com dupla-pele-de-vidro} \end{array} \right] \sim \left[\begin{array}{l} \text{volume de} \\ \text{ar aquecido} \end{array} \right] * \left[\begin{array}{l} \text{poder de aquecimento} \end{array} \right]$$

ANEXO D

ENSAIOS

O dimensionamento dos componentes da FCGP, assim como a verificação de seu real desempenho frente às solicitações a que está sujeita, pode ser executada e/ou verificada com a realização de ensaios normalizados. Com o intuito de comentar essa alternativa, serão resumidamente descritos a seguir, os métodos bem como objetivos dos ensaios a serem empregados para essas finalidades.

Os ensaios podem ser realizados de acordo com o recomendado pela NBR 10821 (2000), ou conforme estipulado pelas normas da ASTM, entre diversas outras que tratam do assunto.

- a. Ensaio para a determinação da penetração de água em fachada-cortina devido à diferença uniforme e cíclica da pressão estática do ar (ASTM E 331-96 e ASTM E 547-96).

Este ensaio estabelece o procedimento para a determinação da resistência à penetração de água sob uma diferença uniforme ou cíclica de pressão estática do ar. Note-se que as diferenças de pressão de ar que atuam sobre o envelope do edifício variam intensamente, portanto, esses fatores devem ser considerados por completo para se especificar as diferenças de pressões que devem ser adotadas para a realização do ensaio.

O método de ensaio consiste em lacrar o corpo de prova dentro de uma câmara de teste ou contra uma de suas faces, injetando ou retirando o ar da câmara na taxa necessária para manter a diferença de pressão estabelecida do outro lado do componente, enquanto se injeta um spray de água sobre a outra face da fachada (à taxa estabelecida), observando-se qualquer penetração de água.

No Brasil, apenas a câmara de testes pertencente a Associação Nacional dos Fabricantes de Esquadrias de Alumínio (AFEAL) mostrada na Figura D- 1, é apropriada para a realização dos ensaios de fachada-cortina pelas normas ASTM E 331-96 e ASTM E 547-96.

A câmara de teste consiste em uma caixa com um painel removível ou um lado aberto no qual ou contra o qual, o componente é instalado e selado. A abertura da provisão de ar na câmara é posicionada de forma que o ar não incida diretamente sobre o componente de teste com velocidade significativa. Podem ser providos meios de acesso à câmara com ajustes que facilite observações após a instalação dos componentes.



Figura D- 1 - Câmara para ensaio de fachadas-cortina pertencente à AFEAL.

Um compressor controlável fornece ar comprimido ou esvazia o sistema (por exaustão), para prover a máxima diferença de pressão do ar através do componente. O sistema tem que prover corrente de ar essencialmente constante a uma pressão fixa para o período de teste exigido.

O spray de água deve fornecer água uniformemente contra a superfície exterior da fachada-cortina a uma taxa mínima de 3,4 l/m².min. Deve possuir

bicos espaçados uniformemente e ser ajustado para fornecer a quantidade especificada de água de tal maneira a molhar uniformemente o componente de ensaio, cobrindo todas as áreas vulneráveis à penetração de água.

O componente de teste (pano de fachada) deve ter dimensões suficientes para determinar o desempenho de todas as partes típicas do sistema de fachada. Para fachada-cortina, o componente não deve ser menor que duas unidades típicas mais a conexão e elementos de suporte de ambos os lados, e suficiente para prover o carregamento completo em pelo menos uma junta vertical típica ou em ambos os elementos. A altura não deve ser menor que a altura total da unidade, devendo incluir pelo menos uma junta horizontal inteira que acomoda expansão. Tal junta deverá estar próxima ao fundo do componente, e todas as conexões estarão no topo e fundo das unidades.

b. Método de Ensaio para a Determinação do Desempenho Estrutural de Fachada-cortina Submetida a Uma Diferença de Pressão Estática e Cíclica do Ar (ASTM E 330-97e E 1233-97).

Este ensaio tem o objetivo de determinar o desempenho estrutural de fachadas-cortina submetidas a uma diferença de pressão estática e cíclica de ar. Pretende-se com isto simular os efeitos de uma carga de vento em elementos exteriores da superfície do edifício

O carregamento atual das superfícies de edifícios é bastante complexo, variando com a direção do vento, tempo, altura do pavimento, formato do edifício, terreno, estruturas circunvizinhas, além de outros fatores. A resistência de algumas fachadas-cortina à carga do vento é também complexa e depende de um histórico completo do carregamento, magnitude, duração e repetição.

As velocidades do vento (em m/s) para projetos de fachada-cortina são estabelecidas pela NBR 10821 (2000) e NBR 6123 (1988) para cinco regiões geográficas brasileiras, mostradas na Figura 3-18, conforme sua probabilidade de ocorrência. O modo de coleta de dados para a elaboração destes mapas é medir a média do vento mais rápido durante períodos de tempo finitos dentro de cada hora. A ASTM E 330-97, cita a ASCE 7, afirmando que a duração de tempo finita usada é determinada pela equação $t = 5800/V$, onde " t " é o tempo medido em segundos e V é a velocidade de vento em quilômetros por hora. Mapas de velocidade de vento mostram, então, isopletas das médias de velocidades de vento mais rápidas durante o tempo medido, que se torna mais curto com os aumentos de velocidade de vento.

Mapas de velocidades são incrementados ou diminuídos onde apropriado pelo fator I, para refletir um critério de projeto que aceita um risco maior ou menor que o risco anual ordinário de 0,02 (2%). Também são aplicados fatores de importância às regiões propensas a furacões ao alcance de 160,9 Km do litoral. O técnico que especifica o teste tem que traduzir velocidades de vento e durações antecipadas a diferenças estáticas de pressão de ar uniformes. Complexidades de pressões de vento são relacionadas ao projeto, intensidade de vento versus duração, frequência de ocorrência, e outros fatores devem ser considerados. Sobrepostos aos ventos contínuos são os ventos de rajadas que, para períodos de tempo curtos, de fração de segundo para alguns segundos, são capazes de mudanças de velocidades consideravelmente mais altas que os ventos contínuos. Estudos de túnel de vento, simulações de computador, e análises de modelo são úteis para a determinação das pressões de vento apropriadas, mostrando como um edifício particular age sob velocidades de vento estabelecidas por outros.

Se o desempenho estrutural sob ambas as cargas (contínua e de rajada) é verificado, enquanto o ensaio é executado deveriam ser administradas cargas contínuas e carga de rajada a pressões estáticas diferentes e para a duração de tempo apropriado a cada uma delas.

A duração da carga de teste aplicada é capaz de impor sérios efeitos em materiais usados no componente de teste. A maioria dos materiais tem força ou características de deflexão que são dependentes do tempo. Por isso, efetua-se teste para a duração de tempo da qual um componente será exposto a uma carga contínua ou de rajada, ou ambos, conforme discutido anteriormente. Observações e práticas foram realizadas para requerer um período de teste mínimo de 10 segundos de ensaios para cargas específicas igual para 1,5 vezes a pressão de projeto, a menos que fossem especificadas exigências em contrário. Assim incorpora-se um fator de segurança ao ensaio. Com cargas de teste mais altas e durações de tempo maiores, o projetista deve considerar também que fatores de segurança são essenciais, particularmente com respeito a cargas de vento de rajada. Cargas de vento de rajada são de relativa curta duração, de forma que se deve ter o cuidado de não especificar cargas com longas durações desnecessárias para o propósito de testar a resistência da estrutura para rajadas de vento.

O método de ensaio consiste em lacrar o componente dentro ou contra uma face da câmara de teste, injetando ou retirando o ar da câmara de acordo com o programa específico de teste de carga, na taxa necessária para manter a diferença de pressão estabelecida do outro lado do componente, e observando, medindo, e registrando as deflexões, e a natureza de quaisquer distúrbios ou falhas do componente.

A câmara para ensaio é a mesma mostrada na Figura D- 1.

O sistema deve possuir um soprador controlável reversível projetado para prover a máxima diferença de pressão de ar necessário através do componente. O sistema deverá promover uma diferença de pressão de ar essencialmente constante para o período de teste exigido.

Deve-se medir a diferença de pressão de teste dentro de uma tolerância de $\pm 2\%$ ou 2,5 Pa, qualquer que seja maior, medindo também, as deflexões dentro de uma tolerância de $\pm 0,25\text{mm}$.

Componentes de testes devem ter dimensões suficientes para determinar o desempenho de todas as partes típicas do sistema de fachada e para carregar todos os elementos verticais e horizontais do sistema, incluindo-se as arestas, detalhes e juntas finais. Para fachada-cortina, o componente não deve ser menor que duas unidades típicas mais a conexão e elementos de suporte de ambos os lados, e suficiente para prover o carregamento completo em pelo menos uma junta horizontal típica ou em ambos os elementos. A altura não será menor que a altura do pé-direito ou a altura da unidade (adotando-se a maior), o componente deverá incluir todas as juntas de expansão, conexões, ancoragens e elementos de suporte, incluindo os de topo, os de baixo e os de ambos os lados dos elementos. Onde o sistema maior, ou parede do edifício, é menor que o requerido, o sistema maior, ou toda a parede do edifício, serão testadas (ver Figura D- 2 e Figura D-3).

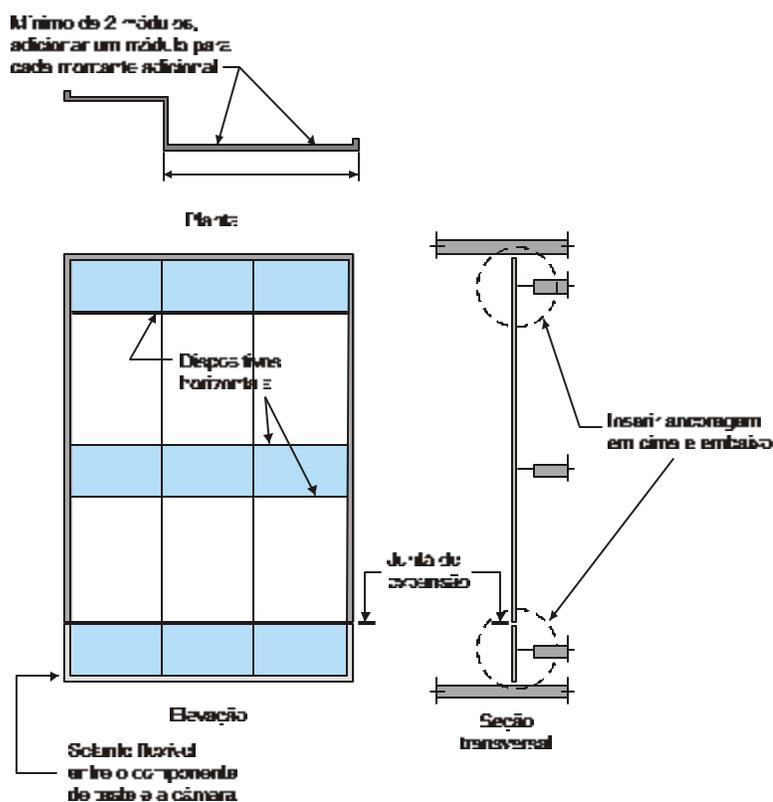


Figura D- 2- Componente de Ensaio (Opção 1)

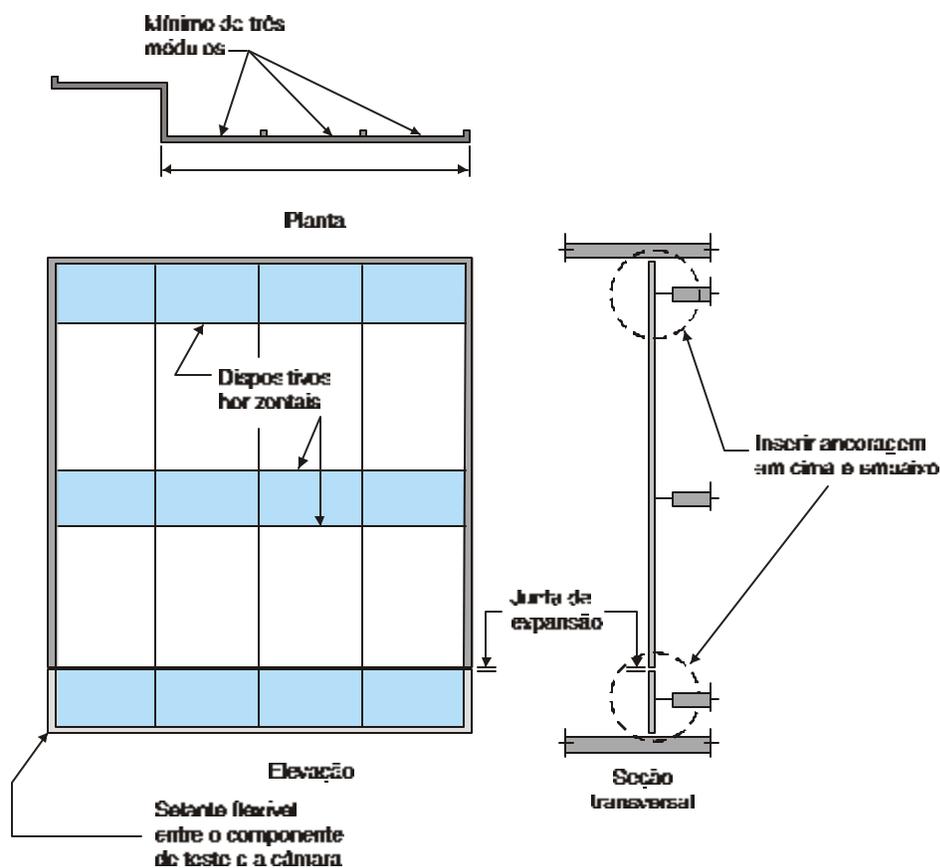


Figura D- 3- Componente de Ensaio (Opção 2)

- c. Ensaio para a determinação do desempenho de fachada-cortina exposta a um diferencial cíclico de pressão, atingida por um corpo.

Projetos estruturais de fachadas-cortina são essencialmente baseados em modelos de pressão positivas e negativas, para resistir a pressões baseadas na velocidade do vento com um baixo período de recorrência (usualmente de 25 a 100 anos) que desejam relacionar níveis de confiança estrutural e são apropriados para o tipo e importância da edificação. A adequação do projeto estrutural pode ser comprovada por outros métodos de ensaio (ASTM

E 330 e E 1233) que discutem provas de cargas como fatores somados à segurança.

Algumas vezes, estes métodos de ensaio não levam em consideração outros fatores como o impacto de destroços carregados pelo vento seguidos de flutuação de pressões associadas a severas tempestades de vento. O desempenho de fachadas-cortina em áreas propensas a severas tempestades de vento dependem de vários fatores. Investigações de danos causados por tempestades de vento mostram que o impacto de destroços seguido por repetidas cargas cíclicas de vento é a principal causa de avarias nos edifícios.

Neste método de ensaio, os componentes são preliminarmente submetidos a um impacto de um corpo especificado, seguido da aplicação de um número específico de ciclos de pressão estática diferencial positivas e negativas. Os componentes precisam satisfazer (passar ou falhar) ao critério de estabilidade estabelecido por norma.

Os destroços gerados durante uma severa tempestade de vento, variam bastante, dependendo da velocidade do vento, altura a partir do nível do terreno, estruturas circunvizinhas, além de "fontes" de destroços.

Destroços típicos presentes em tempestades de vento são: telhas, folhas de metal, pedaços de madeira, etc. Na faixa de 9 m/s a 30 m/s, os impactos de corpos sobre estruturas residenciais são considerados de velocidades médias, os corpos e sua gama de velocidades usadas neste ensaio são selecionados para representar razoavelmente os destroços típicos produzidos por uma tempestade de vento.

Para determinar um modelo de carga de vento, a média da velocidade do vento é traduzida em diferenças de pressões do ar. As rajadas são sobrepostas às médias de vento calculadas cuja agregação para curtos períodos de tempo (variando de fração de segundos a alguns segundos), podem induzir a um aumento considerável de velocidade se comparado à

média. Pressões de vento relacionadas ao projeto do edifício, intensidade do vento versus duração, frequência de ocorrência e outros fatores são considerados.

O ensaio consiste na montagem de um componente de teste, que será atingido pelo impacto de um corpo e submetido a uma pressão cíclica diferencial pelo componente de ensaio de acordo com um programa de carregamento especificado, observando, medindo as condições do componente e informando os resultados.

A deflexão máxima²⁴ do membro mais longo da armação durante impacto ou a máxima pressão diferencial de ar especificada não devem exceder $L/360$, onde L significa o comprimento sem suporte mais longo de um membro da armação de montagem. Deverão ser feitas medidas de deflexão normal ao plano do componente no ponto de deflexão máxima. A armação de montagem deverá ser integrante da câmara de teste ou capaz de ser instalada na câmara antes do impacto do corpo seguinte, devendo ser ancorada para não se mover quando o componente sofre o impacto.

A câmara para ensaio é a mesma mostrada na Figura D- 1.

O dispositivo de propulsão de corpos é qualquer dispositivo capaz de impelir o corpo a uma velocidade especificada, orientação, e impacto devido à força de gravidade ao longo de uma linha normal ao componente. Exemplos de dispositivos de propulsão de corpo comumente usados pode ser visto na Figura D- 4.

Os corpos usados para o ensaio serão um ou mais dos seguintes:

- *corpo pequeno*: Uma bola de aço sólida com massa de $2g \pm 5\%$, com 8mm de diâmetro nominal, e um impacto entre 0,40 e 0,75 da velocidade de vento básica.

²⁴ Observar que a deflexão máxima admitida pela NBR 10821 é de $L/175$.

- corpo grande*: Um N. 2 Southern Yellow Pine or Douglas Fir 50X100 cm. De madeira definido pela American Lumber Comitê Standard com massa de entre $2050g \pm 100g$ e $6800g \pm 100g$ e tendo um comprimento entre $1,2m \pm 10mm$ e $4,0m \pm 100mm$ e uma velocidade de impacto entre 0,10 e 0,55 da velocidade de vento básica. O projétil não terá nenhum defeito, inclusive nós, divisões, ou mingua dentro de 30cm do fim de impacto. O fim de impacto deve ser aparado por um quadrado conforme certificado pelo American Lumber Standard Committee.

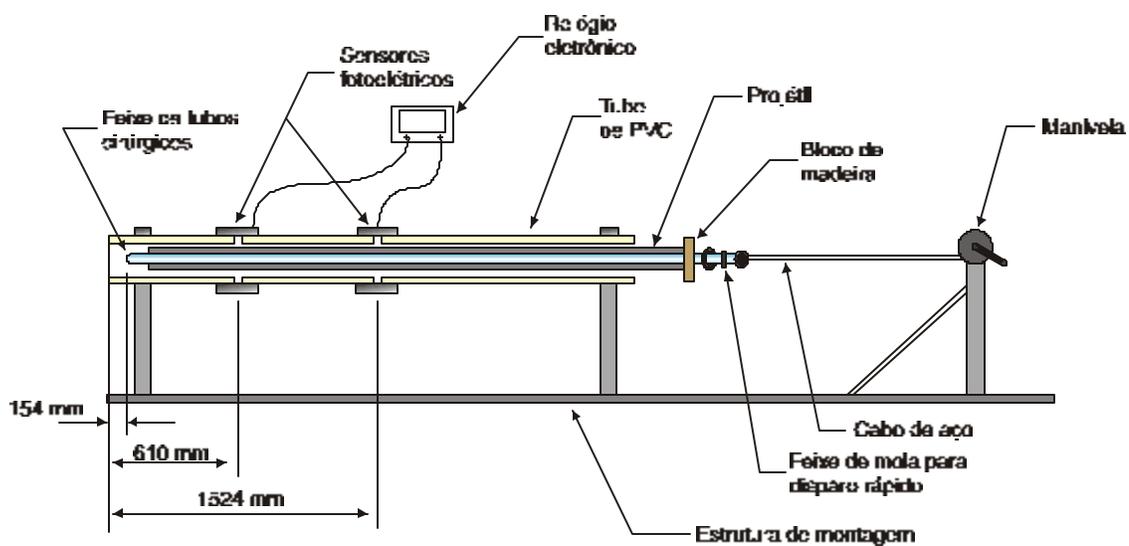


Figura D- 4- Aparelho para impacto de corpos (ASTM E 1886-97)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO (ABRACO) www.abraco.org.br. Acesso em 10 de abr. de 2002.

ALCOA - *Como obter um real desempenho de caixilhos em edificações*. São Paulo, (s.d.).

ALLEN, G. *Fundamentals of building construction: Materials and methods*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1990.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *Standard guide for design, selection, and installation of exterior dimension stone anchors and anchoring systems* - ASTM C 1242-96b. Philadelphia, 1996.

_____. *Standard Specification for load bearing concrete masonry units* - ASTM C 90-02. Philadelphia, 2002

_____. *Standard terminology of building constructions* - ASTM E 631-93a . Philadelphia, 1998.

_____. *Standard test method for water penetration of exterior windows, curtain walls, and doors by uniform static air pressure difference* - ASTM E 331-96. Philadelphia, 1996.

_____. *Standard test method for structural performance of exterior windows, curtain walls, and doors by uniform static air pressure difference* - ASTM E 330-97. Philadelphia, 1997.

_____. *Standard test method for water penetration of exterior windows, curtain walls, and doors by cyclic static air pressure difference* - ASTM E 547-96. Philadelphia, 1996.

_____. *Standard test method for structural performance of exterior windows, curtain walls, and doors by cyclic static air pressure difference* - ASTM E 1233-97. Philadelphia, 1997.

_____. *Standard test method for performance of exterior windows, curtain walls, doors and storm shutters impacted by missile (s) and exposed to cyclic pressure differentials* - ASTM E 1886-97. Philadelphia, 1997.

ARAÚJO, L.O.C.de; SOUZA, U.E.L.de. *Produtividade da mão-de-obra no serviço de armação*. Apostila. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo. s.d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Caixilho para edificação - janela* - NBR 10821. Rio de Janeiro, 2000.

_____. *Caixilho para edificação - janela: medição da atenuação acústica. método de ensaio* - NBR 10829. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Caixilho para edificação - janela. terminologia* - NBR 10820. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Caixilho para edificação - Janela. terminologia* - TB-354. Rio de Janeiro, 1989.

_____. *Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. procedimento* - NBR 14762. Rio de Janeiro 2001.

_____. *Divisórias leves internas modulares*. NBR 11685. Rio de Janeiro 1990.

_____. *Execução de piso com revestimento cerâmico* - NBR 9817. Rio de Janeiro 1987.

_____. *Execução e inspeção de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha*. NBR 13708. Rio de Janeiro 1996.

_____. **Forças devidas ao vento em edificações. Procedimentos** - NBR 6123. Rio de Janeiro, 1988.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento. Classificação** - NBR 13817. Rio de Janeiro 1997.

_____. **Placas cerâmicas para revestimento. especificação e métodos de ensaios** - NBR 13818. Rio de Janeiro 1997.

_____. **Projeto de revestimento de paredes e estruturas com placas de rocha** - NBR 13707. Rio de Janeiro 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE ALUMÍNIO (ABAL). **Estruturas: perfis, chapas e telhas, guia técnico do alumínio**. São Paulo, 2001. v.5

AVELLANEDA, J. *La construcción de fachadas de piedra. Tectónica cerramientos pesados: Aplacados y Panales – Envolvertes (II)*. Barcelona, n.2, 1995.

BARROS, E.O. **Controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva**. 2001. 135 pg. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

BEALL, C. **Masonry design and detailing for architects, engineers and builders**. 2.ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987.

BECAM **Chapas 100% alumínio para coberturas y revestimientos. manual técnico**. www.becam.com.uy. Acesso em 30 de mar. de 2002.

BOND DO BRASIL - www.bonddobrasil.com.br. Acesso em 18 de dez. de 2000.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **Code of practice for design and installation of natural stone cladding and lining** - BS 8298. England, 1994.

_____. *Code of practice of joints and jointing in building construction* - BS 6093. England, 1981.

_____. *Design of non-loadbearing external vertical enclosures of buildings* - BS 8200. England, 1985.

BUILDNET Soluciones para la construcción y la arquitectura. *Hueco en um muro de fabrica de doble hoja*. www.buildnet.es. Acesso em 12 de maio de 2002.

BULSON, P.S. *Aluminium structural design. recent european advances*. London: Elsevier Applied Science, 1991.

CAMPANTE, E.F. *Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada*. 2001. 407 pg. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo

CENTRO CERÂMICO DO BRASIL (CCB) - *Boletim da Qualidade* - São Paulo, ago. de 2000.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). *Optimizing lightweight double-kin facade performances*. Paris, 2000.

COSTA, E.C. da; *Física aplicada à construção: conforto térmico*. Porto Alegre: Edgard Blucher, 1974.

CROSET, M. *Humedad y temperatura en los edificios*. Barcelona: Técnicos Asociados, S.A, 1970.

CENTRO DE TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES (CTE). *Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras*. São Paulo: CTE/Sinduscon-SP/Sebrae-SP, 1994.

CEUSA Revestimentos Cerâmicos; LEME. *Manual de montagem: Instruções para a montagem do sistema CEUSA/LEME de fachadas ventiladas*. 2002.

50pg. Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN). **Cladding for external walls, ventilated at rear - Part 1: requirements, principles of testing** - DIN 18516-1. Germany, 1999.

_____. **Thermal insulation in buildings; quantities and units** - DIN 4108 - 1. Germany, 1981.

_____. **Thermal insulation in buildings; indexes, list of subjects** - DIN 4108 - Beiblatt 1. Germany, 1982.

_____. **Thermal insulation and energy economy in buildings - thermal bridges: examples for planning and performance** - DIN 4108 - Beiblatt 2. Germany, 1998.

_____. **Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 2: minimum requirements to thermal insulation** - DIN 4108-2. Germany, 1999.

_____. **Thermal insulation and energy economy in buildings - Part 3: protection against moisture subject to climate conditions; requirements and directions for design and construction** - DIN 4108-3. Germany, 2001.

Dorfman, G. **A Flexibilidade como balizadora do desenvolvimento das técnicas de edificação no século XX**. 2002. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília

EIRAS, C.Q. **Cerramientos Pesados. Tectónica Cerramientos Pesados: Aplacados y Paneles – Envolvertes (II)**. Barcelona, n.2, p.12-27, 1995.

FAIST, A. P. **Double-skin walls**. France: École Polytechnique Fédérale de Lausanne/ Institut de Technique du Batiment Departament D'Architecture, 1998.

FISHER FIXING SYSTEMS *Advanced curtain wall technique*. German: FISCHER, 1999.

FLAIN, E.P. *Tecnologia de produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas*. 1995. 180 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

FRANCO, G.; MAGRINI, A. *Building envelopes and environmental sustainability: design criteria according to european standards*. Genova, 1999. DIPArC - Facoltà di Architettura di Genova; Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale; Facoltà di Ingegneria Pavia. <http://www.iris.ba.cnr.it/sksb/PAPERS/15-04o.pdf>. Acesso em 12 de jan. de 2001.

FRANCO, L.S. *Desempenho estrutural do elemento parede de alvenaria empregado na alvenaria estrutural não armada, quando submetido a esforços de compressão*. 1983. 136 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

FRUCHTENGARTEN, J. *Projeto de elementos de aço*. São Paulo: Apostila da disciplina PEF 405 - Estruturas metálicas e de madeira. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. s.d.

GRANITI FIANDRE. Pareti Ventilati. Italy s.d.

HILTI BRASIL AS. www.hilti.com/br. Acesso de 01 de fev. de 2002.

HUNT JR, W.D. *The contemporary curtain wall: its design, fabrication, and erection*. New York: AIA F.W. Dodge Corporation, 1958.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Crítérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social*. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *Ceramic tiles - definitions, classification, characteristics and marking* - ISO 13006. Switzerland, 1998.

KAJIMOTO, Z.P.; ALMEIDA, N.L. de; SIQUEIRA, F.J.S. de. *Corrosão atmosférica de metais no Estado de São Paulo*. São Paulo: Boletim 57. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991.

KISS, P. *Pulmões Prediais*. *Téchne*. São Paulo, v. 8, n. 39, pg 36-38, mar/abr, 1999.

MÄNTYLÄ, A.A. *Technical references to kerasteel ventilated facades with large ceramic slabs*. (s.d.) <http://www.rannila.com/kstech.html>. Acesso em 15 de dez. de 2001.

MARAZZI TECNICA ENGINEERING. *Parete ventilata*. Italy, 1997.

MEDEIROS, J.S. *Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto*. 1993. 449p. Dissertação (Mestrado) -Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

MEDEIROS, J.S. *Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios*. 1999. 458p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo

MEDEIROS, J.S.; BARROS, M.M.S.B. *TG 006 Tecnologia de produção de revestimentos*. (Apostila do Curso MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo). São Paulo, 2000.

MELHADO, S.B.; FABRÍCIO, M.M. *Projetos da produção e projetos para produção na construção de edifícios: discussão e síntese de conceitos*. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Florianópolis, 1988. *Anais*. Editores Denise Antunes da Silva, Roberto Lamberts,

Carlos Torres Formoso, Ercília Hirota. Florianópolis: NPC/ECV/CTC/UFSC. Florianópolis, 1988.

MENEGAZZO, A.P.M.; *Estudo da correlação entre microestrutura e propriedades finais de revestimentos cerâmicos do tipo grés porcelanato*. 2000. Qualificação (Doutorado) - Comissão Nacional de Energia Nuclear - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. NR 18 - *Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção*. Brasília, 1995.

MIRAGE ENGINEERING. *Manual*. Italy, (s.d.).

NARAYANAN, R. *Aluminum structures. advances, design and construction*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON STEEL AND ALUMINUM, Cardiff, UK, 1987. Elsevier Applied Science, London and New York, 1987.

NASH, W.A. *Resistência dos materiais: resumo da teoria, problemas resolvidos, problemas propostos, traduzido por Jaime Ferreira da Silva*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil; Brasília, 1973.

NOVAES, C.C. *A modernização do setor da construção de edifícios e a melhoria da qualidade do projeto*. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Florianópolis, 1988. **Anais**. Editores Denise Antunes da Silva, Roberto Lamberts, Carlos Torres Formoso, Ercília Hirota. Florianópolis: NPC/ECV/CTC/UFSC. Florianópolis, 1988.

PANEK, R.J.; COOK, J.P. *Construction sealants and adhesives*. U.S.A: Wiley Series of Practical Constructions Guide, 1992.

PARÍCIO, I. *La fachada de ladrillo*. Bardelona: Bisagra, 2000.

PATÓN,V. *El nacimiento de una técnica. Tectónica Cerramientos Pesados: Aplacados y Panales – Envolvertes (II)*. Barcelona, v. n.2, p.4-11, 1995.

ROUSSEAU, M.Z. *Facts and fictions of rain-screen Walls*. Canada: . Originally published in "Construction Canada" 32(2), 1990.

SABBATINI, F. H. A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade empresarial. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS. São Paulo, 1998. **Anais**. F.H. Sabbatini, M.M.S.B. de Barros, J.S. Medeiros., EPUSP/PCC. São Paulo 1998.

SABBATINI, F.H. *Desenvolvimento de métodos, processo e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia*. 1989. 336 pg. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SABBATINI, F.H. *O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural sílico-calcária*. 1984. 298 pg. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SABBATINI, F.H. *TG 004 Tecnologia de produção de vedações verticais. A industrialização na produção de vedações: inovações e tendências*. (Slides de aula do curso MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo). São Paulo, 2002.

SABBATINI, F.H. *TG 002 Tecnologia de produção de vedações verticais*. (Apostila do Curso MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo). São Paulo, 2000.

SABBATINI, F.H.; FRANCO, L.S. *Tecnologia de vedações verticais*. São Paulo, 1997. Notas de aula da disciplina de pós-graduação - PCC 5012. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. Não impresso

SABBATINI, F.H.; SELMO, S.M.S.; SILVA, M.M.A.; *Conceitos básicos sobre a execução de revestimentos argamassados*. Projeto EPUSP/ENCOL-01. São Paulo, 1988.

SELMO, S.M.S. ***Dosagem de argamassas de cimento portland e cal para revestimento externo de fachada dos edifícios.*** 1989. 206pg. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SENKIW, A.G.; LANCELOT III, H.B. ***Anchors in concrete – design and behavior.*** Detroit: American Concrete Institute , 1991.

SHILDAN USA INC. ***Argeton Terra-cotta Cladding*** www.shildan.com. . Acesso em 20 de mar. de 2002.

SILVA JR., J.F. ***Resistência dos materiais.*** 2 ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico; Brasília, Instituto Nacional do Livro Técnico, 1972.

SILVA, V.G. da. ***Diretrizes para o projeto de painéis de fachada com cimento reforçado com fibras de vidro.*** 1998. 145 pg. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SIQUEIRA JR, A.A. de; ***Análise da viabilidade técnico-econômica de fachadas ventiladas com placas de grês porcelanato.*** 2001. 107 pg. Monografia (MBA) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SORIANO, R.V. ***Aplacados pétreos em fachadas ventiladas.*** Collegi d'Arquitectes de Catalunya. Catalunya, 1999. http://www.coac.net/escolasert/gent_gran/exemples/ortega/ortega_2_e.htm . Acesso em 09. de dez. de 2000.

SOUZA, A. L. R. de; ***O projeto para a produção das lajes racionalizadas de concreto armado de edifícios.*** 1996. 367p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SOUZA, A. L. R. de; ***Preparação e coordenação de obras: Transposição da experiência francesa para a construção brasileira de edifícios.*** 2001. 440p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SOUZA, U.E.L.; FRANCO, L.S.; PALIARINI, J.C.; CARRARO, F.; **Recomendações gerais quanto à localização e tamanho dos elementos do canteiro de obras.** Boletim Técnico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997

STRAUBE, J.; BURNETT, E. **A review of rain control and design strategies.** U.S.A.: Journal of Thermal Insulation and Building Envelopes, 1999.

TEBECHERANI, C.T.P. **Aços inoxidáveis.** ciropiza@osite.com.br. Acesso em 10 de mar. de 2002.

Tectónica Cerramientos Pesados: Aplacados y Panales – Envolvertes (II). Barcelona, n.2, 1995.

TERMOARCILLA. **La fachada ventilada: la formación de huecos.** www.termoarcilla.org. Acessado em 12 de maio de 2002.

UNE 41957-1: 2000. **Anclajes para revestimientos de fachadas de edificios. Parte 1: subsistemas para revestimientos ligeros.** Barcelona, 2000.

UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS (UAF). **Exterior ventilated cladding.** Alaska: University Alaska Fairbanks, 2000.

UUTTU, S. **Study of current structures in double-skin facades.** Helsinki: Helsinki University of Technology, 2001.

WOLYNEC, S. **Corrosão de metais: definição e principais tipos.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. São Paulo, 1988. **Anais.** Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1988.