

CINTIA APARECIDA DA SILVA VEDOVELLO

GESTÃO DE PROJETOS DE FACHADAS

**São Paulo
2012**

CINTIA APARECIDA DA SILVA VEDOVELLO

GESTÃO DE PROJETOS DE FACHADAS

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

**Área de Concentração: Engenharia
Civil e Urbana**

**Orientador: Professor Livre-Docente
Silvio Burrattino Melhado**

**São Paulo
2012**

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

São Paulo, 17 de junho de 2012.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Vedovello, Cintia Aparecida da Silva
Gestão de projetos de fachadas / C.A.S. Vedovello. – ed.rev. -
- São Paulo, 2012.
406 p.

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

1.Fachadas (Projeto;Administração) 2.Edifícios comerciais
3.Edificações I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Rubens da Silva (*in memoriam*) e Maria da Graça da Silva, por me ensinarem a importância do amor e da responsabilidade de cada ato meu.

Ao meu marido, Leandro Vedovello, ao meu filho Gabriel da Silva Vedovello e ao meu afilhado Raphael dos Santos Vasconcelos da Silva, pelo amor recíproco, pelo respeito, pelo apoio e principalmente por estarem ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, a Nossa Senhora e a São Judas Tadeu, pela iluminação concedida durante o desenvolvimento deste projeto.

Aos meus pais Rubens da Silva e Maria da Graça da Silva, pelo apoio de todas as horas.

Ao meu marido Leandro Vedovello, pela motivação para seguir em frente.

Ao meu afilhado Raphael dos Santos Vasconcelos, pela compreensão da minha ausência.

À Ana Rocha Melhado, que me apoiou desde a primeira vez em que eu mencionei a vontade de iniciar o mestrado.

Ao meu orientador Silvio B. Melhado, pela forma objetiva e criteriosa que conduziu a orientação desta dissertação.

À Maria das Graças Andrade, por ter cuidado do meu pequeno para que eu pudesse desenvolver as pesquisas para minha dissertação.

Ao professor Marcelo Romero, que fez uma leitura cuidadosa da qualificação e trouxe críticas valiosas e construtivas, além de recomendações bibliográficas.

À amiga Cilene Marques Gonçalves, pela revisão do inglês do *Abstract* e por diversas outras traduções da língua inglesa para fins acadêmicos, além da parceria no desenvolvimento dos trabalhos das diversas disciplinas cursadas.

À amiga Ana Cristina Gualberto, pelo apoio e também pela parceria no desenvolvimento dos trabalhos das diversas disciplinas cursadas.

Aos meus queridos amigos e arquitetos: Jessica Franco, pelas discussões construtivas sobre o tema; Ricardo Grassia, pela leitura e pelas opiniões dadas ao Capítulo 2 desta dissertação; Tatiana Jorge, que gentilmente me cedeu o material técnico do estudo de caso do empreendimento 1; Ana Paula Berrocal, que também gentilmente me cedeu o material técnico do estudo de caso do empreendimento 2; e Deviene Lopes, pelas fotos do empreendimento 2.

Aos engenheiros Eduardo Yamaguchi e Ricardo Barcia, que me forneceram informações valiosas sobre os estudos de caso do empreendimento 1 e acompanharam muitas das minhas visitas à obra.

À professora Lucia Pirró, que gentilmente me cedeu sua tese de doutorado para estudo.

À arquiteta Ana Liu, que gentilmente me emprestou alguns livros que fazem parte da bibliografia deste trabalho e me cedeu sua dissertação de mestrado, que fez contribuições valiosas a este trabalho.

Ao profissional Paulo Giafarov, pelas valiosas aulas sobre sistemas de fixação com insertos metálicos (sistema americano).

Ao arquiteto Daniel Kaufman, pelas informações cedidas durante a entrevista sobre concepção de projetos.

À amiga Andressa Veronesi, pela revisão do texto de qualificação da dissertação.

À Andreia Rangel, pela revisão do texto final desta dissertação.

RESUMO

A complexidade do subsistema fachada está relacionada à dificuldade de gerenciamento de todas as etapas que antecedem sua montagem na obra.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é propor recomendações em todas as etapas de desenvolvimento do processo de projeto da fachada para edifícios comerciais de múltiplos pavimentos ou edificações que, embora de tipologia diferente, adotem sistemas de fachadas semelhantes aos da tipologia de edificações comerciais, como é o caso do edifício hospitalar que integra o estudo de caso desta dissertação.

A proposição da metodologia foi baseada em estudos bibliográficos e comparações entre exemplos reais do processo de projeto e produção de empreendimentos em fase de construção.

Dessa forma, o desenvolvimento deste trabalho foi dividido em pesquisa dos tipos de fachadas mais utilizados em edifícios comerciais, pesquisa sobre o processo de projeto das fachadas (diretrizes para a concepção, critérios de desempenho, identificação dos agentes da cadeia produtiva), estudos de caso de empreendimentos em fase de construção, análise comparativa dos resultados desses estudos e elaboração das recomendações.

Na pesquisa foram contemplados tanto aspectos de gestão quanto de tecnologia, e incorporadas contribuições de profissionais atuantes na cadeia produtiva do desenvolvimento de projetos. As recomendações propostas consideram a melhoria do desenvolvimento do processo de projeto das fachadas nas etapas e atividades de projeto, nas etapas de integração projeto-execução e nos escopos de projeto e consultoria, abordando os aspectos de gestão do processo para projetistas, consultores, coordenadores e construtores.

Palavras-chave: fachadas, gestão de projetos, cadeia produtiva, vedações verticais.

ABSTRACT

The complexity of the façade subsystem is related to the difficulty of managing all the stages that take place before its assemblage.

Considering this context, the purpose is to propose recommendations to all the phases of the façade development design process of multi-storey commercial buildings which, no matter the different typology, adopt similar façade systems, as is the case of the hospital building under study in this dissertation.

The methodology proposed was based on the literature review and comparisons between real design process and production of projects under construction.

Thus, the development of this dissertation was divided into: research of the most used facade types in commercial buildings, research into the design façade process (conception guidelines, performance criteria, and recognition of the productive agent chain), case studies of projects under construction, comparative analyses of the results of these studies, and elaboration of the recommendations.

Management and technological aspects were considered as well as the contribution of active experts of the productive chain to the process flow.

The proposed recommendations take into account the improvement of the façade process flow during the design phase, interface design-construction and design and consultant scope, involving the management process, consultants, coordinators and the construction company.

Key words: façade, design management, productive chain, vertical walls.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: O avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo de falhas do edifício. Fonte: Hammarlund; Josephson (1992)	31
Figura 1.2: Distribuição das principais patologias dentre os empreendimentos comerciais	33
Figura 1.3: <i>Estrutura da metodologia proposta</i>	36
Figura 2.1: Tipologias de vedações verticais sob o ponto de vista construtivo, e alguns exemplos (em cinza). Fonte: Liu (2010).....	44
Figura 2.2: Esquema da secção longitudinal de fachadas-cortina constituída de várias camadas	47
Figura 2.3: Fachada-cortina convencional	48
Figura 2.4: Fachada-cortina convencional: as colunas estruturais da fachada encontram-se no lado externo e o vidro fica totalmente encaixilhado	48
Figura 2.5: Fachada-cortina pele de vidro	49
Figura 2.6: Fachada-cortina pele de vidro: as colunas da fachada são fixadas na viga pelo lado interno, mas o vidro continua encaixilhado	49
Figura 2.7: Primeira obra executada com pele de vidro no Brasil. Edifício Centro Cândido Mendes, Rio de Janeiro, RJ, em 1970. Fonte: Flickr (2010)	49
Figura 2.8: Fachada-cortina em pele de vidro	50
Figura 2.9: Fachada-cortina <i>Structural Glazing</i>	50
Figura 2.10: Fachada-cortina <i>Structural Glazing</i> : o vidro passa a ser colado com silicone estrutural, originando panos de vidro contínuos.....	50
Figura 2.11: Fachada-cortina em pele de vidro	50
Figura 2.12: Colagem do vidro no perfil	55
Figura 2.13: Colagem do vidro no perfil	55
Figura 2.14: Fachada-cortina Unitizada	62
Figura 2.15: Maquete do Edifício <i>E-tower</i> para ensaio no túnel de vento	63
Figura 2.16: Painel do Edifício <i>E-tower</i> montado na câmara de testes na AFEAL....	64
Figura 2.17: Primeira obra executada em sistema unitizado no Brasil, Edifício Berrini 500, São Paulo, SP. Fonte: Método Engenharia (2010)	64
Figura 2.18: Componentes do sistema: 1 - Elemento de fixação dos painéis (ancoragem); 2 - Base soldada ao inserto para apoio da ancoragem; 3 - Gancho para encaixe do caixilho ao elemento de fixação. Fonte: Machado (2004).....	65
Figura 2.19: As figuras (a), (b) e (c) ilustram a sequência de fixação do vidro no módulo com silicone estrutural. Fonte: Arquivos cedidos pela Construtora Método (2010).....	68
Figura 2.20: Local de colagem dos vidros, no canteiro de obras	68
Figura 2.21: Instalação dos módulos unitizados na fachada.....	69
Figura 2.22: Sequência de instalação do painel unitizado do edifício <i>E-tower</i>	70
Figura 2.23: Fixação de alinhamento	74

Figura 2.24: Detalhe de fixação dos painéis pré-moldados na estrutura da edificação	76
Figura 2.25: Detalhe da ancoragem de fixação do granito no painel pré-moldado de concreto	77
Figura 2.26: Detalhe da ancoragem de fixação do painel pré-moldado de concreto na estrutura (laje e fundo de viga). Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008).....	78
Figura 2.27: Fachada em sistema pré-moldado de concreto. Hotel Hyatt, São Paulo	80
Figura 2.28: Fachada do Banco Citibank	84
Figura 2.29: Foto do sistema de fixação metálico na alvenaria de vedação	85
Figura 2.30: Detalhe básico de fixação com inserto metálico.	86
Figura 2.31: Foto dos insertos metálicos que são fixados à estrutura com chumbadores de expansão inoxidáveis. Fonte: Revista Técnica, Edição 92 (Novembro/2004)	86
Figura 2.32: Diagrama básico de escolha do subsistema de revestimento.....	90
Figura 2.33: Sistema aparafusado – Junta selada com silicone.....	98
Figura 2.34: Sistema pinado – Junta aberta (ventilada)	99
Figura 2.35: Sistema clicado – Junta selada com gaxeta	99
Figura 2.36: Sistema colado – Junta selada com gaxeta	100
Figura 2.37: Interface com caixilhos – Sistema de janela com painel inferior	100
Figura 2.38: Interface com caixilhos – Sistema de janela com painel superior	101
Figura 2.39: Representação esquemática do funcionamento da fachada ventilada: (a) efeito chaminé; (b) junta aberta. Fonte: Aliva (2008)	106
Figura 2.40: Fachada ventilada, com revestimento em pedra e revestimento laminado.....	107
Figura 2.41: Fachada ventilada, com revestimento em cerâmica extrudada	107
Figura 2.42: Corte esquemático de uma fachada dupla ventilada.....	108
Figura 2.43: Fluxo de água e calor pelo espaço entre as placas (juntas)	110
Figura 2.44: Representação esquemática de uma fachada ventilada.....	112
Figura 2.45: Barreiras contra a propagação vertical do fogo.....	114
Figura 2.46: Corte vertical esquemático da fachada ventilada, mostrando o “efeito chaminé”.....	116
Figura 2.47: Visualização do objeto através do vidro transparente (a) e translúcido (b).....	125
Figura 2.48: Comportamento da luz atravessando um vidro plano liso (<i>float</i>) (a) e um vidro translúcido (b). Fonte: Caram <i>et al</i> (2007)	125
Figura 3.1: Esquema de uma maneira lógica de projetar integrando os conceitos de eficiência energética e os conhecimentos comuns dos arquitetos	130
Figura 3.2: Divisão Climática do Brasil.....	137
Figura 3.3: Zoneamento Bioclimático brasileiro.....	138
Figura 3.4: Comparação da incidência do sol estimada nos croquis incluídos no memorial do projeto e a realidade. Fonte: Vitruvius (2010).....	145
Figura 3.5: Comparação da incidência do sol estimada nos croquis incluídos no memorial do projeto e a realidade. Fonte: Vitruvius (2010).....	146

Figura 3.6: Fachada norte do Ministério de Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro. Foto Nelson Kon. Fonte: Vitruvius (2010)	146
Figura 3.7: Fachada norte do Ministério de Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro. Foto Francisco J. Martínez. Fonte: Vitruvius (2010)	146
Figura 3.8: Comparação entre o tradicional e algumas tubulações de luz natural ..	147
Figura 3.9: Variações de desenho para os tubos de luz e exemplo de um edifício com o sistema de tubulação de luz. Fonte: Yeang (2008)	148
Figura 3.10: Proporções ótimas de edifícios	149
Figura 3.11: Porcentagem requerida de sombreamento e calor solar.....	149
Figura 3.12: Transmissão da radiação nos fechamentos opacos e transparentes..	151
Figura 3.13: Inércia térmica (amortecimento e retardo)	152
Figura 3.14: Desenhos esquemáticos de sistemas de iluminação natural	154
Figura 3.15: Vidro cortado em obra.....	161
Figura 3.16: Vidros cortados em obra	161
Figura 3.17: Vidros com indicações das patologias em vermelho.....	162
Figura 3.18: Croqui de vidros cortados após a laminação (deve-se garantir corte de vidro antes da laminação). Fonte: Croqui cedido pelo consultor em agosto de 2009	162
Figura 3.19: Ilustrando angulação do cavalete.....	164
Figura 3.20: Ilustrando a fissura ocasionada por quebra térmica (perpendicular ao vidro)	164
Figura 3.21: Fluxo de informações de compatibilização de projetos sugerido pelo entrevistado.....	167
Figura 3.22: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, concedida ao edifício da Caixa Econômica Federal em Curitiba apresentando níveis de eficiência A	177
Figura 3.23: Gráfico da influência do projeto nos custos do empreendimento ao longo das etapas de desenvolvimento do empreendimento	186
Figura 3.24: Ilustração dos três vértices de desenvolvimento que forma o subsistema de um edifício	187
Figura 3.25: Etapas da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio	202
Figura 4.1: Modelo de coordenação de projetos para os três estudos de caso desta dissertação	210
Figura 4.2: Etapas do desenvolvimento do projeto e execução do projeto	212
Figura 4.3: Implantação do empreendimento “R” com as delimitações das três fases de construção. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008).....	215
Figura 4.4: Empreendimento “R”, torres A e B	216
Figura 4.5: Empreendimento “R”, maquete virtual com as 4 torres	216
Figura 4.6: Projeto da fachada das torres A e B – Empreendimento “R”	219
Figura 4.7: Fluxograma do Processo de projeto das fachadas	223
Figura 4.8: Planta baixa dos edifícios do empreendimento “R” com a numeração das fachadas.....	225
Figura 4.9: Painel de concreto com granito incorporado	227
Figura 4.10: Selamento do pré-fabricado	228

Figura 4.11: Insertos pré-posicionados no painel de concreto para receber os módulos de caixilhos. Fonte: Fotos cedidas pela construtora em junho de 2008....	228
Figura 4.12: Desenho das vedações com a aplicação de silicone selante em dois cordões entre o contramarco e o pré-fabricado.....	229
Figura 4.13: Módulo unitizado localizado nos cantos - Planta baixa	230
Figura 4.14: Detalhe ampliado, ambos representando o módulo unitizado com ângulo de 90°	230
Figura 4.15: Detalhe do isolamento térmico entre os caixilhos e da barreira cortafogo	231
Figura 4.16: Encontro de módulos unitizados em quina e detalhe da gaxeta projetada para vedar o encontro dos dois módulos. Fonte: Projeto básico de caixilharia cedido pela construtora (2008)	232
Figura 4.17: Manta plástica colocada entre o concreto e a placa de granito, com o objetivo de evitar o contato entre os dois	234
Figura 4.18: Armação dos insertos no painel de concreto	235
Figura 4.19: “Tira” de concreto preenchendo a junta no trecho do encontro do granito com o caixilho unitizado. Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009	237
Figura 4.20: Junta de 35 mm entre os módulos de granito	239
Figura 4.21: Selamento das juntas entre painéis de concreto no canto	240
Figura 4.22: Junta de 35 mm entre os módulos de granito com fixação do retentor do cabo para a fixação de equipamento de lava-fachadas	245
Figura 4.23: Corte que ilustra a colocação das pedras de granito, o retentor e a fixação do painel de concreto apoiada na viga para as fachadas verticais. Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008).....	245
Figura 4.24: Mesmo corte da Figura 4.23, projetado para a fachada inclinada. Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008).....	246
Figura 4.25: Trilho do lava-fachadas instalado na cobertura.....	246
Figura 4.26: Gôndola lava-fachadas instalado na cobertura das torres A e B em movimento.....	247
Figura 4.27: Gôndola lava-fachadas estacionada na cobertura	247
Figura 4.28: Vista da estrutura da torre D no início da fase de execução das fachadas.....	248
Figura 4.29: Vista da estrutura da torre D no início da fase de execução das fachadas.....	249
Figura 4.30: Vidros em cavaletes adequados para transporte – torres A e B	250
Figura 4.31 Local de armazenamento dos vidros e caixilhos – torre D	250
Figura 4.32: Local de armazenamento dos vidros e caixilhos – torres A e B	251
Figura 4.33: Vidros estocados na obra – torres A e B.....	251
Figura 4.34: Ancoragem com calço para suporte do caixilho	252
Figura 4.35: Ancoragem do caixilho com alteração de posição ou altura do suporte	252

Figura 4.36: Ancoragens da fachada inclinada (torre D)	253
Figura 4.37: Processo de colagem – posicionamento do vidro	253
Figura 4.38: Processo de colagem – aplicação de silicone	254
Figura 4.39: Processo de colagem – raspagem do excesso de silicone	254
Figura 4.40: Processo de colagem – limpeza fina do excesso de silicone	255
Figura 4.41: Processo de colagem – esquadrias prontas para serem instaladas ...	255
Figura 4.42: Caixilho entrevãos – instalação de contramarcos	256
Figura 4.43: Fachada inclinada caixilho entrevãos – instalação de contramarcos ..	256
Figura 4.44: Caixilho entrevãos – colocação de gaxeta para garantir a vedação ...	257
Figura 4.45: Caixilho entrevãos – colocação de gaxeta	257
Figura 4.46: Caixilho entrevãos – colocação de gaxeta	258
Figura 4.47: Montagem da pele de vidro (torre D).....	259
Figura 4.48: Pele de vidro (torre D)	259
Figura 4.49: Módulo unitizado	260
Figura 4.50: O caixilho foi suspenso por um motor elétrico, e colocado próximo à posição de encaixe. Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009	260
Figura 4.51: Módulo unitizado sendo instalado na fachada (torre D) e balancim para instalação	261
Figura 4.52: encaixes para a fachada em pele de vidro	261
Figura 4.53: Borracha de vedação da pele de vidro	262
Figura 4.54: Pele de vidro – para o encaixe do caixilho superior, outra borracha de vedação deve ser inserida. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)	262
Figura 4.55: Pele de vidro – cantoneira em alumínio acrescentada acima da borracha de vedação para fixação dos dois caixilhos	263
Figura 4.56: Torres A e B do empreendimento “R”	263
Figura 4.57: Placa de granito sendo perfurada para fixação no painel de concreto (torres A e B)	265
Figura 4.58: Placas de granito armazenadas na fábrica dos painéis de concreto ..	266
Figura 4.59: Placas de granito armazenadas na fábrica dos painéis de concreto ..	266
Figura 4.60: Processo de fabricação dos painéis de concreto	267
Figura 4.61: Detalhe do apoio do painel de concreto sobre estrutura	268
Figura 4.62: Vista interna do painel de concreto pré-fabricado apoiado na estrutura	268
Figura 4.63: Painel de concreto pré-fabricado instalado na fachada inclinada	269
Figuras 4.64 (a) e (b): Maquetes eletrônicas do empreendimento	276
Figura 4.65: Vista da área externa do empreendimento	277
Figura 4.66: Imagens dos espelhos d’água.....	277
Figura 4.67: Croqui dos <i>brises</i> da fachada.....	279
Figura 4.68: Estudo dos <i>brises</i> da fachada	279
Figura 4.69: <i>Brise</i> da fachada estocado na obra.....	280
Figura 4.70: Imagem do andar tipo demonstrando a posição do core junto à fachada norte	281
Figura 4.71: Implantação do edifício em relação a orientação solar	281

Figura 4.72: Croqui do sistema de limpeza das fachadas.....	282
Figura 4.73: Projeto do sistema de limpeza das fachadas – planta e corte	283
Figura 4.74: Projeto do sistema de limpeza das fachadas – corte	283
Figura 4.75: Mostra a relação do empreendimento com o entorno	284
Figura 4.76: <i>Mock-up</i> da fachada-cortina em sistema unitizado montado para ser ensaiado no ITEC. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (dezembro de 2010)	289
Figura 4.77: Figuras (a) e (b) – Suporte e acessórios do elemento de sombreamento – <i>brises</i>	289
Figura 4.78: <i>Brisés</i> vistos de cima.....	290
Figura 4.79: Mapeamento das cargas de vento nas elevações do edifício	292
Figura 4.80: Conclusão da estrutura de concreto.....	293
Figura 4.81: Fixação das ancoragens nas lajes	296
Figura 4.82: Vista ampliada da ancoragem	296
Figura 4.83: Vista da fachada com andamento da colocação dos módulos.....	297
Figura 4.84: Alinhamento, nível, e prumo dos perfis	297
Figura 4.85: Embutimento da ancoragem da estrutura no gancho de ancoragem do caixilho	298
Figura 4.86: Vista da fachada com aproximadamente 1/4 dos módulos instalados	298
Figura 4.87: Vista interna da fachada.....	299
Figura 4.88: Vista da fachada com aproximadamente 2/4 dos módulos instalados	299
Figura 4.89: Vista da fachada com aproximadamente 3/4 dos módulos instalados	300
Figura 4.90: Vista da fachada com aproximadamente 3/4 dos módulos instalados	300
Figura 4.91: Vista da fachada com a grua.....	301
Figura 4.92: Vista da fachada – face Norte	301
Figura 4.93: Arruelas denteadas desalinhadas	306
Figura 4.94: Sapata feita com <i>grout</i>	306
Figura 4.95: Ancoragem fora de nível	307
Figura 4.96: Ancoragem desalinhada com suporte de fixação no canto da mesma	307
Figura 4.97: Contraporca sem o devido aperto	308
Figura 4.98: Lã de rocha mal fixada	308
Figura 4.99: Junção dos perfis painel sem vedação	309
Figura 4.100: Junção dos painéis sem luva e cantoneira vedação	309
Figura 4.101: Galpão totalmente encharcado de água	310
Figura 4.102: Quadro com o vidro sendo colado apoiado no chão de maneira inadequada.....	310
Figura 4.103: Ancoragem com parafuso de fixação curto que deve ser substituído ou soldado na porca. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)...	311
Figura 4.104: Manutenção corretiva das proteções dos painéis	311
Figura 4.105: Suporte de fixação dos <i>brises</i> nos painéis de canto fora de prumo com referência aos já instalados.....	312
Figura 4.106: O material instalado nas juntas internas entre módulos está danificado	312
Figura 4.107: O material de isolamento deverá ser trocado, pois contém umidade	313
Figura 4.108: Maquete eletrônica do empreendimento 3	314

Figura 4.109: Cerâmica extrudada.....	323
Figura 4.110: Planta baixa da fachada ventilada instalada.....	325
Figura 4.111: Corte genérico da fachada ventilada.....	326
Figura 4.112: Detalhe do peitoril metálico.....	327
Figura 4.113: Planta Baixa da fachada ventilada instalada.....	328
Figura 4.114: Corte genérico da fachada ventilada instalada.....	328
Figura 4.115: Detalhe do peitoril metálico.....	329
Figura 4.116: Vista frontal do edifício.....	331
Figura 4.117: Não conformidades encontradas na obra da Keragail.....	332
Figura 4.118: Vista frontal do edifício.....	333
Figura 4.119: Não conformidades encontradas na obra da Keragail.....	334
Figura 4.120: Corte da cerâmica que será instalada a 45 graus.....	336
Figura 4.121: Fluxo dos envolvidos na confecção do edital das fachadas.....	339
Figura 4.122: Modelo (maquete) em escala 1:250, construído para os ensaios.....	343
Figura 4.123: Detalhe de uma fachada do modelo.....	343
Figura 4.124: Vista frontal do painel <i>mock-up</i> montado para o ensaio.....	345
Figura 4.125: Vista posterior do painel <i>mock-up</i> montado para o ensaio.....	346
Figura 4.126: Vista da câmara de ensaio e do <i>mock-up</i> montado para o ensaio.....	346
Figura 4.127: Detalhes do painel de cerâmica extrudada instalado no <i>mock-up</i>	346
Figura 4.128: Detalhes do painel de cerâmica extrudada instalado no <i>mock-up</i>	347
Figura 4.129: Detalhes da subestrutura do <i>mock-up</i>	347
Figura 4.130: Detalhes da subestrutura do <i>mock-up</i>	347
Figura 4.131: Vista posterior do painel com os medidores de deflexão colocados.....	348
Figura 4.132: Vista dos medidores de deflexão com perfil auxiliar para colocação do medidor no centro da placa.....	349
Figura 4.133: Vista aproximada dos medidores de deflexão.....	349
Figura 4.134: Vista dos medidores de deflexão (relógios comparadores).....	350
Figura 4.135: Fachada totalmente vedada para o ensaio de cargas de vento.....	351
Figura 4.136: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio.....	352
Figura 4.137: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio.....	352
Figura 4.138: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio.....	353
Figura 4.139: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio.....	353
Figura 4.140: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade sem carga de vento. Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011.....	354
Figura 4.141: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade sem carga de vento. Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011.....	354
Figura 4.142: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade sem carga de vento. Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011.....	355
Figura 4.143: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade com aplicação de carga de vento.....	355
Figura 4.144: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade com aplicação de carga de vento.....	356
Figura 4.145: Ancoragem instalada nos nichos do <i>steel deck</i>	360

Figura 4.146: Ancoragem da fachada instalada na mesa superior da viga metálica e grouteada Fonte: Foto tirada pela autora em agosto de 2011	360
Figura 4.147: Vista da fachada em sistema unitizado	361
Figura 4.148: Fachada unitizada e vedação em placa cimentícia para a área que receberá a fachada ventilada. Fonte: Foto tirada pela autora em agosto de 2011..	362
Figura 4.149: Vista da lateral da fachada ventilada com o pilarete de fixação do caixilho	367
Figura 4.150: Croqui dos pilaretes e da verga para execução em alvenaria.....	367
Figura 4.151: Pilaretes 10 cm maiores que o especificado com a verga metálica ..	368
Figura 4.152: Vista interna do vão onde será instalado o guarda-corpo em vidro com os pilaretes de fixação.....	368
Figura 4.153: Vista interna do vão onde será instalado o guarda-corpo em vidro com os pilaretes de fixação.....	369
Figura 4.154: Instalação da cerâmica extrudada na subestrutura e, sob ela, a manta Tyvek.....	369
Figura 4.155: Manta Tyvek com a subestrutura perfurando-a.....	370

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1: Consumo desagregado dos setores residencial e comercial	28
Quadro 2.1: Classificação das fachadas expostas neste capítulo	44
Quadro 2.2: Classificação das fachadas-cortinas conforme item 2.1	52
Quadro 2.3: Classificação das fachadas unitizadas conforme item 2.1	62
Quadro 2.4: Classificação das fachadas em painéis de concreto conforme item 2.1	71
Quadro 2.5: Itens que caracterizam o sistema pré-moldado de concreto	79
Quadro 2.6: Itens que caracterizam o sistema	94
Quadro 2.7: Principais vantagens e inconvenientes da fachada ventilada.....	114
Quadro 3.1: Fases, Etapas, Produtos e Conteúdos de um projeto de fachadas (construção)	131
Quadro 3.2: Tipos climáticos e as respostas do projeto – Adaptado e traduzido da tabela <i>Climatic Types and Bioclimatic Urban Design Responses</i>	136
Quadro 3.3: Medidas de economia de energia pelas regiões globais - adaptado e traduzido da tabela <i>Energy-saving Measures by Global Regions</i>	137
Quadro 3.4: Diretrizes construtivas para cada zona bioclimática apresentada no mapa da figura 3.3.	139
Quadro 3.5: Identificação dos profissionais entrevistados	156
Quadro 3.6: critérios para obtenção dos pontos de cada categoria	172
Quadro 3.7: Quadro das categorias avaliadas pela certificação AQUA	174
Quadro 3.8: Fatores dos requisitos de desempenho estrutural para as fachadas. Adaptado do quadro da norma de desempenho	189
Quadro 3.9: Quadro de condições de tolerância ao ruído	197
Quadro 3.10: Agentes da cadeia produtiva envolvidas no subsistema fachada.....	206
Quadro 4.1: Denominação dos agentes da cadeia produtiva do subsistema fachada do empreendimento “R”	213
Quadro 4.2: Quadro de áreas das edificações	214
Quadro 4.3: Quadro de áreas das fachadas	217
Quadro 4.4: Índices especificados para os vidros	242
Quadro 4.5: Quadro de problemas identificados por agentes da cadeia produtiva.	271
Quadro 4.6: Denominação dos agentes da cadeia produtiva do subsistema fachada do empreendimento “I”	275
Quadro 4.7: Índices especificados para os vidros de controle solar.....	291
Quadro 4.8: Quadro de problemas identificados pelos consultores de fachada	303
Quadro 4.9: Denominação dos agentes da cadeia produtiva do subsistema fachada do empreendimento “H”	315
Quadro 4.10: Quadro de áreas da alternativa original das fachadas	317
Quadro 4.11: Índices especificados para o vidro de controle solar	318
Quadro 4.12: Quadro de áreas da alternativa das fachadas em cerâmica extrudada ventilada. Fonte: Dados concedidos pela construtora (2011)	320

Quadro 4.13: Quadro das ocorrências, causas e origens, soluções adotadas e ações corretivas.....	363
Quadro 4.14: Agentes da cadeia produtiva envolvidas no subsistema fachada.....	373
Quadro 4.15: Quadro resumo dos problemas de ocorrência comum entre os três estudos de caso	379

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Tabela de tolerâncias exigidas pela NBR9062 (2006). Trecho da tabela de tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados no que diz respeito a painéis	82
Tabela 2.2: Tolerâncias admitidas pela ABNT NBR 15446:2006 para painéis compostos	105
Tabela 2.3: Tolerâncias admitidas pela NBR 15446 (2006) para painéis de chapas sólidas	105
Tabela 2.4: Parâmetros de cálculo do ganho de calor através dos vidros planos, no horário de pico. Fonte: Caram <i>et al</i> (2007).....	126
Tabela 2.5: Parâmetros de cálculo do ganho de calor através dos vidros refletivos, no horário de pico. Fonte: Caram <i>et al</i> (2007).....	126
Tabela 4.1: Tolerâncias dimensionais da cerâmica extrudada.....	324

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACM	<i>Aluminium Composite Material</i>
AFEAL	Associação Nacional de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEM	Balanco Energético Nacional
AHS	Ângulo Horizontal de Sombreamento
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVS	Ângulo Vertical de Sombreamento
BEPAC	<i>Building Environmental Performance Assessment Criteria</i>
BPLD	<i>Bétons Préfabriqués du Lac</i>
CET	Companhia de Engenharia de Tráfego
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction CII Construction Industry Institute</i>
CTS	Classe de Transmissão Sonora
E	Leste
EEE	Eficiência Energética das Edificações
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer (M-class) rubber
GRFC	<i>Glass Fiber Reinforced Concrete</i>
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental</i>
MME	Ministério das Minas e Energia
N	Norte
NE	Nordeste
NW	Noroeste
HQE	Referencial francês de certificação de edificações sustentáveis
NBR	Norma Brasileira

PCI	Prestressed Concrete Institute
PMBOK	Project Management Body of Knowledge
PMI	Project Management Institute
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
PEO	Preparação para execução da obra
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
RAC-C	Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
S	Sul
SE	Sudeste
SW	Sudoeste
SEHAB	Secretaria da Habitação
SGE	Sistema de Gestão Ambiental
SMT	Secretaria Municipal de Transportes
SPDA	Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas
TGP	Tecnologia e Gestão da Produção
USP	Universidade de São Paulo
W	Oeste
WWR	<i>Window Wall Ratio</i> (indica o coeficiente entre as áreas de envoltentes transparentes e envoltentes opacas)
WSGBC	<i>World Green Building Council</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

lux	Lux
m	Metro
%	Porcentagem
m ²	Metro quadrado
m ³	Metros cúbicos
m/s	Metros por segundo
cm	Centímetros
min	Minutos
MPa	Mega Pascal
fck	Resistência característica do concreto à compressão
KN/m ²	Quilo-Newtons por metro quadrado
Kgf/m ²	Quilogramas-força por metro quadrado
w/m ²	<i>Watts</i> por metro quadrado
°C	Graus Celsius
CO ²	Dióxido de carbono
°	Graus
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatt hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	27
1.1	Contexto e Justificativa	27
1.2	Objetivo.....	34
1.3	Delimitações da Dissertação.....	34
1.4	Metodologia	35
1.5	Estruturação do Trabalho.....	38
2	Tipos de Fachadas, Sistemas e componentes	40
2.1	Classificação das Fachadas.....	41
2.1.1	<i>Quanto à densidade</i>	41
2.1.2	<i>Quanto ao revestimento</i>	42
2.1.3	<i>Quanto à estrutura</i>	42
2.1.4	<i>Quanto à continuidade superficial</i>	43
2.2	Sistemas de Fachada.....	45
2.2.1	<i>Fachada-cortina</i>	45
2.2.1.1	<i>Definição</i>	45
2.2.1.2	<i>Quanto às especificações</i>	56
2.2.1.3	<i>Quanto à normatização</i>	58
2.2.2	<i>Sistema Unitizado</i>	60
2.2.2.1	<i>Definição</i>	60
2.2.2.2	<i>Quanto à normatização</i>	65
2.2.2.3	<i>Quanto à execução e controle</i>	66
2.2.3	<i>Painéis pré-moldados de concreto</i>	71
2.2.3.1	<i>Definição</i>	71
2.2.3.2	<i>Quanto às especificações</i>	74
2.2.3.3	<i>Quanto à normatização</i>	81
2.2.4	<i>Sistema de fixação metálico (placas de rocha)</i>	83
2.2.4.1	<i>Definição</i>	84
2.2.4.2	<i>Quanto às especificações</i>	91
2.2.4.3	<i>Quanto à normatização</i>	95
2.2.5	<i>Painéis de alumínio</i>	96

2.2.5.1	<i>Definição</i>	96
2.2.5.2	<i>Quanto às especificações</i>	101
2.2.5.3	<i>Quanto à normatização</i>	104
2.2.6	<i>Fachada ventilada (Rain Screen System)</i>	106
2.2.6.1	<i>Definição</i>	106
2.2.6.2	<i>Quanto à normatização</i>	108
2.2.6.3	<i>Quanto às especificações</i>	109
2.3	Vidros – Um dos Principais Componentes do Subsistema Fachada	116
2.3.1	<i>Tipos de vidro</i>	117
2.3.2	<i>Valores importantes para especificação</i>	126
3	O Processo de Projeto das Fachadas	130
3.1	A Concepção do Projeto	135
3.1.1	<i>Como conceber o projeto do subsistema fachada de modo a contribuir para a eficiência energética do edifício</i>	135
3.1.2	<i>Métodos passivos por meio de dispositivos de controle solar</i>	145
3.1.3	<i>Métodos passivos por meio do enclausuramento e o projeto da fachada</i>	150
3.1.4	<i>A contribuição da fachada na iluminação do edifício</i>	153
3.1.5	<i>A decisão do uso da tecnologia</i>	155
3.2	A Prática de Mercado – Entrevista com Profissionais da Cadeia Produtiva do Empreendimento	156
3.2.1	<i>Arquiteto Daniel Kaufman</i>	156
3.2.2	<i>Consultor de fachadas</i>	160
3.2.3	<i>Coordenador de projetos – Método Engenharia</i>	166
3.2.4	<i>Gerente de projetos – Método Engenharia</i>	169
3.3	Modelos de Certificação/Avaliação de Eficiência Energética	170
3.3.1	<i>LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)</i>	170
3.3.2	<i>Certificação AQUA</i>	173
3.3.3	<i>Etiqueta PROCEL Edifica</i>	175
3.4	CrITÉrios de Desempenho	181
3.4.1	<i>Normatização</i>	184
3.4.2	<i>Outras normas</i>	195
3.5	A Cadeia Produtiva do Subsistema Fachada	198

4	ESTUDOS DE CASO.....	207
4.1	Estruturação dos estudos de caso.....	207
4.1.1	<i>Agente da cadeia de valor comum para os três estudos de caso</i>	208
4.1.2	<i>Escopo da coordenação de projetos</i>	209
4.2	Empreendimento 1	212
4.2.1	<i>Descrição do empreendimento</i>	213
4.2.2	<i>Quanto à certificação (sustentabilidade)</i>	219
4.2.3	<i>Processo de desenvolvimento do projeto</i>	220
4.2.4	<i>Projeto dos componentes do subsistema fachada</i>	224
4.2.5	<i>Produção</i>	248
4.2.6	<i>Problemas identificados</i>	269
4.3	Empreendimento 2.....	275
4.3.1	<i>Descrição do empreendimento</i>	275
4.3.2	<i>Quanto à certificação (sustentabilidade)</i>	284
4.3.3	<i>Processo de desenvolvimento do projeto</i>	285
4.3.4	<i>Planejamento e Produção</i>	291
4.3.5	<i>Problemas identificados</i>	302
4.4	Empreendimento 3.....	313
4.4.1	<i>Descrição do empreendimento</i>	316
4.4.2	<i>Quanto à certificação (sustentabilidade)</i>	317
4.4.3	<i>Processo de desenvolvimento do projeto</i>	319
4.4.4	<i>Análise técnica da Construtora</i>	321
4.4.4.1	<i>Ponto de vista do consultor</i>	334
4.4.4.2	<i>Recomendações do consultor e da construtora</i>	337
4.4.5	<i>Processo de Aquisição do sistema</i>	338
4.4.6	<i>O protótipo</i>	357
4.4.7	<i>Problemas identificados</i>	362
4.5	Análise dos Casos	371
4.5.1	<i>Análise dos agentes da cadeia produtiva x responsabilidades</i>	371
4.5.2	<i>Quanto às etapas de desenvolvimento</i>	375
4.5.3	<i>Análise do produto – quanto à fachada</i>	375
4.5.4	<i>Análise dos problemas identificados</i>	377
4.5.5	<i>Considerações finais sobre os estudos de caso</i>	380

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	383
5.1	Recomendações	383
5.1.1	<i>Etapas e atividades de projeto</i>	383
5.1.2	<i>Integração projeto-execução</i>	385
5.1.3	<i>Escopos de projeto e consultoria</i>	390
5.2	Resultados obtidos	395
5.3	Quanto à consecução dos objetivos	396
5.4	Sugestões para trabalhos futuros	397
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	398

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e Justificativa

Os edifícios comerciais representam grande parte do número de construções nas grandes metrópoles. Segundo Liu (2010):

“No Brasil, os edifícios de escritórios vistos como produto imobiliário constituem um segmento importante no mercado, principalmente nas grandes metrópoles, devido à expansão do setor terciário (de serviços) [...]”

De acordo com a mesma fonte, a cidade de São Paulo conta com uma proporção significativa de escritórios de alto padrão mercadológico em relação ao restante do país: 60% dos escritórios de alto padrão estão localizados em São Paulo.

De acordo com os dados do Balanço Energético Nacional (MME, 2011), o setor comercial, no qual se enquadram os edifícios de escritório, consome 15% da energia elétrica do país, enquanto o setor residencial consome 23,8%; o industrial, 44,2%; o público 8%; e 9% são consumidos por outros setores não identificados.

Embora o setor industrial seja o maior consumidor de energia do país (47%), é no setor comercial que o projeto arquitetônico tem maior oportunidade de criar condições que contribuam com a eficiência energética do edifício. Essa oportunidade se dá em função da porcentagem do consumo desagregado¹ dos setores residencial e comercial que pode ser verificado no Quadro 1.1 a seguir.

¹ Consumo desagregado ou consumo é a parcela do consumo total utilizada em um determinado uso final, como por exemplo, a iluminação artificial, equipamentos de escritórios, elevadores, etc.

Quadro 1.1: Consumo desagregado dos setores residencial e comercial
Fonte: Balanço Energético Nacional (MME, 2011)

Setor	CONSUMO DESAGREGADO				
	Equipamentos	Iluminação	Aquecimento de água	Refrigeração	Elevadores
Residencial	30%	20%	25%	25%	
Comercial		25%	25%	25%	25%
Industrial*	A maior porcentagem de consumo está no uso dos equipamentos				

Segundo Gonçalves (2001) ², para que seja possível construir edifícios eficientes energética e acusticamente, com custos adequados ao mercado imobiliário do Brasil, é preciso começar o projeto respeitando as exigências formais trazidas pelas técnicas passivas de climatização, como a orientação solar, a direção dos ventos, fachadas com áreas opacas e sombreadores para a proteção térmica. A implantação pode comprometer ou favorecer a economia de energia e o conforto ambiental de qualquer edifício. Um dos pontos destacados pela arquiteta é a necessidade de dar mais atenção ao desenvolvimento das fachadas.

Considerando a tipologia de edifícios comerciais, podemos dizer que o apelo estético é um recurso importante para atrair o locatário, e o subsistema que maior responsabilidade tem em agregar valor estético ao edifício é a fachada, que ao mesmo tempo também é responsável pelo desempenho quanto às exigências de segurança e habitabilidade (estanqueidade, conforto termo-acústico e lumínico, qualidade do ar e acessibilidade).

As fachadas têm um papel essencial na concepção de um edifício, dentre os quais podemos citar as funções de agregar valores estéticos, simbólicos e culturais aos empreendimentos. Pode-se dizer que as fachadas correspondem ao elemento de

² O arquiteto tem culpa pelo apagão. **Revista Projeto Design**. São Paulo, n. 257, julho, 2001. Disponível em <http://www.arcoweb.com.br/artigos/o-arquiteto-tem-culpa-pelo-apagao-energia-sete-09-08-2001.html>.

comunicação entre os meios interno e externo, que são barreiras entre estes dois meios. Nos países de clima frio, a fachada é um elemento de barreira, enquanto que nos países de clima quente (equatorial, tropical e subtropical), além de ser um elemento de barreira, também são utilizadas como elementos de comunicação entre os meios interno e externo.

Segundo Oliveira (2009), a fachada, incluindo esquadrias e revestimento, um dos mais relevantes subsistemas do edifício, é responsável pelas condições de habitabilidade e estética, contribui para a valorização do empreendimento e tem um papel importante relacionado à sustentabilidade. Além disso, os custos de execução e de manutenção da fachada são expressivos com relação aos dos outros subsistemas.

Poirazis e Blomsterberg (2005) defendem que a definição das características da envoltória do edifício é fundamental para o seu bom desempenho energético e a qualidade ambiental de seus espaços, influenciando diretamente na temperatura operativa, sobretudo nas áreas próximas às fachadas. Em seu estudo, concluem que a orientação de um ambiente é determinante da temperatura operativa, sobretudo para casos de grandes áreas de fachada envidraçada.

A fachada interage e se integra ao espaço urbano, modificando e enriquecendo a paisagem das cidades, sustentada pelo avanço tecnológico da indústria de materiais de construção (CEOTTO, 2010) ³.

Segundo Ceotto (2010):

“[...] a envoltória deve cumprir a função básica de proteger o interior do edifício, ou seja, ser estanque, apresentar rigidez do material escolhido, ter durabilidade e baixo custo de manutenção. E ao mesmo tempo a fachada tem que fornecer luz, calor e ventilação ao interior da edificação.”

³ Fachadas comerciais no Brasil tendem a ser de granito e vidro. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, n. 214, p. 86, setembro/outubro. 2010.

A fachada representa um valor importante no total da obra, sendo um dos custos mais elevados do edifício. Ainda citando Ceotto (2010): “A fachada é uma das atividades que está no caminho crítico de uma obra”. Estes dois fatores devem ser levados em consideração para a escolha do sistema de fachada a ser utilizado.

Porém, para que possamos realizar uma escolha nesse sentido, devemos sempre pensar no custo total do empreendimento, ou seja, quanto cada sistema de fachada vai impactar no prazo total da obra, quais as interferências entre os sistemas de fachada e outros sistemas, e quais impactos de custo podem incorrer dessas interferências. Uma economia de tempo pode ser um atrativo para o investidor, uma vez que pode significar a melhora na taxa de retorno e no custo da manutenção, podendo representar um valor agregado para a venda/locação do empreendimento.

Uma fachada mal projetada pode impactar no uso de um sistema de climatização e iluminação que tenha um custo de operação e manutenção mais elevado, ou ainda comprometer o desempenho esperado e exigido para este e outros subsistemas relacionados.

De acordo com Lomardo (2001)⁴, um fator importante é a falta de ligação entre quem constrói (que muitas vezes objetiva o menor custo imediato) e quem compra (interesse pelo menor custo de utilização). Para ela, os prédios deveriam ser classificados e etiquetados pelo Procel⁵ ou pelo Inmetro, de modo a valorizar os que tenham investido nessa área e informar o consumidor sobre o que ele está adquirindo e quais os benefícios de se comprar ou locar um espaço em um edifício de escritórios ou um apartamento em um empreendimento eficiente energeticamente.

Fabício (2002) defende que:

⁴ O arquiteto tem culpa pelo apagão. **Revista Projeto Design**. São Paulo, n. 257, julho. 2001. Disponível em <http://www.arcoweb.com.br/artigos/o-arquiteto-tem-culpa-pelo-apagao-energia-sete-09-08-2001.html>.

⁵ Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.

“A concepção e o projeto, na construção e em outros setores, são de fundamental importância para a qualidade e a sustentabilidade do produto e eficiência dos processos.”

Segundo Franco; Agopyan (1993), “[...] é nesta fase que se tomam as decisões que trazem maior repercussão nos custos, velocidade e qualidade dos empreendimentos”.

Ainda de acordo com Fabrício (2002):

“[...] a valorização do projeto e das primeiras fases de concepção do produto é fundamental para a qualidade do produto e para eficiência do processo produtivo.”

Acredita-se que, por meio da sistematização do processo de projeto, podem-se minimizar falhas nas etapas de execução de obra, operação e manutenção do edifício. Aplicando conceitos de qualidade e quantidade de informações previstas em projeto, certamente a qualidade final do produto será ditada pela qualidade do projeto. Melhado (1994) expõe que “o projeto pode assumir o encargo fundamental de agregar eficiência e qualidade ao produto”.

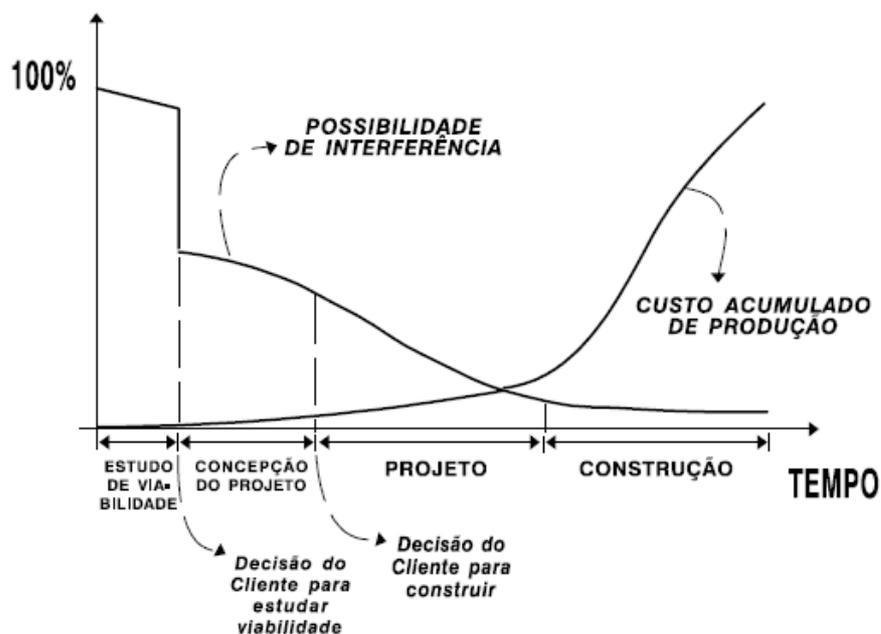


Figura 1.1: O avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo de falhas do edifício. Fonte: Hammarlund; Josephson (1992)

Segundo Gonçalves (2001), o projeto de arquitetura tem sido o principal responsável pela ineficiência no consumo de energia dos edifícios, em especial nas torres de escritórios. Com o desenvolvimento da estrutura metálica e do concreto de alto desempenho, acompanhados da iluminação artificial, do ar condicionado e dos elevadores, a arquitetura se viu livre da responsabilidade de responder ao contexto climático, deixando essa função inteiramente nas mãos da engenharia e da tecnologia.

A arquitetura, como prestadora de serviços para o setor imobiliário, acabou erroneamente substituída pela facilidade tecnológica e automação, sendo reduzida apenas à produção de imagens de fachadas, e não projetos de fachadas.

O desenvolvimento de tecnologias para o cumprimento das funções primordiais da fachada – proteção, conforto e expressão arquitetônica – acaba por trazer à tona uma especialidade de projeto relativamente nova: o projeto e a consultoria de fachadas. Em projetos de edifícios de escritório, esse aspecto é acentuado, de certa forma até influenciado, pelos edifícios ícones de cidades como Nova Iorque e Chicago, de modo que os materiais mais empregados são aqueles que dão a idéia de modernidade e poder econômico, tais como o vidro, as pedras naturais e os metais (LIU, 2010).

Outro ponto que justifica a preocupação com o subsistema fachada são as patologias. Consoante dados informados pela área de assistência técnica da empresa Método Engenharia ⁶, as patologias em caixilhos representam 14% do total de problemas construtivos em empreendimentos comerciais (Figura 1.2), fato que justifica a necessidade de aprofundamento do tema nos critérios de desempenho a serem considerados no desenvolvimento dos projetos de fachadas.

⁶ Dados fornecidos em entrevista concedida à autora em 15 de setembro de 2009.

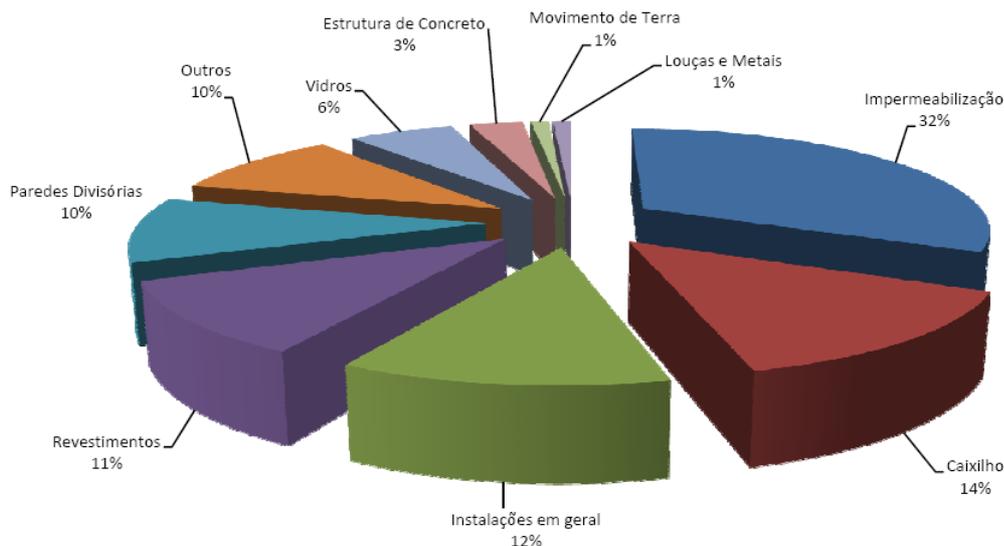


Figura 1.2: Distribuição das principais patologias dentre os empreendimentos comerciais
Fonte: Gráfico cedido pela Construtora Método (Setembro/2009)

Muitas das patologias são decorrentes de falhas na etapa de projetos. Podem ser classificadas como falhas de projeto as operações de construção ou manutenção que foram mal executadas por falta de detalhamento, omissões ou erros de projeto, tanto no que diz respeito aos materiais, quanto às técnicas construtivas e produção.

A busca de eliminação das falhas se justifica porque, na maioria das vezes, elas geram custos adicionais nas fases de execução ou de manutenção do empreendimento, custos estes que poderiam ser eliminados ou reduzidos se tais falhas fossem detectadas na fase de elaboração dos projetos, como demonstraram Hammarlund; Josephson (1992) na Figura 1.1.

As tecnologias ainda são carentes de desenvolvimentos tecnológicos mais específicos e projetos melhor elaborados. Enfim, o subsistema fachada ainda é carente de gestão em toda a cadeia produtiva, assim como a disponibilidade de documentos técnicos de referência, tais como manuais, normas técnicas e escopos de contratação que sirvam de consulta para balizar a execução e o controle do projeto e da obra, por meio do trabalho de arquitetos, engenheiros, construtores, coordenadores de projeto e coordenadores de obra.

Devido a todos os aspectos expostos acima, esta dissertação pretende trazer ao meio profissional uma visão direcionada à gestão do processo de projeto das fachadas. Para tanto, são apresentados os principais tipos de fachadas utilizados pelo mercado de edifícios comerciais, expondo seus sistemas construtivos, sua técnica e seu processo de gestão.

O trabalho também apresenta uma discussão sobre os conceitos e requisitos a serem considerados para o subsistema fachada nas etapas de concepção do projeto, e exposto à cadeia produtiva do subsistema com suas respectivas responsabilidades, além de relatar e traçar uma análise comparativa dos estudos de caso de três empreendimentos, sendo dois deles de tipologia comercial e um de tipologia hospitalar.

Esta dissertação é concluída com a proposição de uma série de recomendações para as etapas de desenvolvimento de um projeto de fachadas.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é propor recomendações, para projetistas, consultores, coordenadores e construtores quanto à melhoria da gestão do processo de projeto das fachadas nas etapas e atividades de projeto, nas etapas de integração projeto-execução e nos escopos de projeto e consultoria.

1.3 Delimitações da Dissertação

Segundo Ceotto (2010):

“As fachadas pré-fabricadas (com painéis de concreto armado, de GFRC ou metálicos com vidro ou pedra) são consideradas ideais para edifícios de escritório [...]”

“Em empreendimentos comerciais, até hoje houve uma tendência muito grande pela fachada de vidro, em função da influência dos arquitetos americanos. Acredito que a tendência seja mantida com a permanência da especificação de vidro e granito”.

Baseado nas citações acima, esta dissertação se limita a estudar o subsistema fachada para edifícios comerciais, mantendo seu foco nos sistemas construtivos mais utilizados pelo mercado brasileiro para essa tipologia de construção, sendo eles: fachadas em vidro e granito ou apenas em vidro.

Embora este trabalho possua como delimitação os edifícios comerciais, considerou-se, no estudo de caso, a escolha de um empreendimento hospitalar. O motivo dessa escolha foi a constatação da autora de que, embora as tipologias sejam completamente diferentes, quando comparadas às tecnologias de fachada utilizadas, elas se assemelham. As envolventes verticais – fachadas – fazem uso das mesmas tecnologias, uma vez que buscam agregar valores estéticos e desempenho à segurança e habitabilidade semelhantes.

1.4 Metodologia

A metodologia desta dissertação abrangeu a pesquisa nacional e internacional, sendo a primeira privilegiada especialmente no que se refere aos aspectos de gestão, leis, códigos e normas, a fim de contextualizar localmente o trabalho.

Produções estrangeiras foram consideradas nos aspectos técnicos, em decorrência da pouca influência do contexto cultural e organizacional. As pesquisas de seleção de material bibliográfico são provenientes de consulta a bibliotecas (da Escola Politécnica da USP, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP), acervo pessoal da pesquisadora, empréstimos de livros e normas de empresas, participação de eventos científicos e não científicos de assuntos pertinentes à pesquisa, e títulos disponíveis em portais da *web*, tais como periódicos da Capes (<http://www.periodicos.capes.gov.br/>); da *Science Direct* (<http://www.sciencedirect.com/>); do Infohab (<http://www.infohab.org.br/>) e do Google

acadêmico (<http://scholar.google.com.br>), além de artigos de revistas especializadas em engenharia.

A autora também fez uso de entrevistas com profissionais atuantes na cadeia produtiva do subsistema fachada (projetistas, consultores e construtores).

Além da revisão bibliográfica para desenvolvimento deste trabalho, foram selecionados três empreendimentos em fase de construção para estudo de caso, com o objetivo de somar informações referentes à prática de mercado àquelas informações verificadas por meio da revisão bibliográfica, conforme mostra a Figura 1.3.

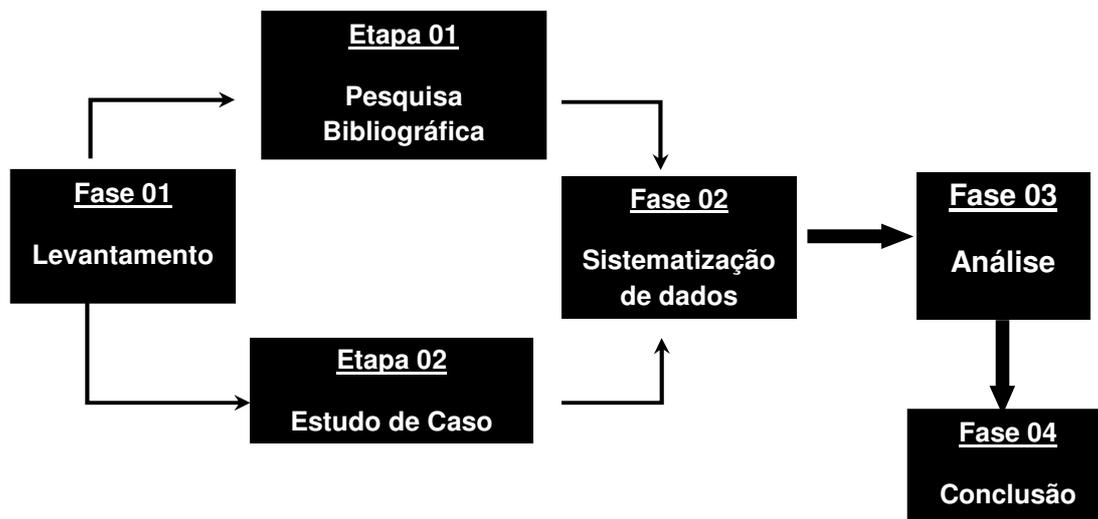


Figura 1.3: Estrutura da metodologia proposta

Para a definição do caso a ser estudado, e face à existência de inúmeros agentes envolvidos na gestão do processo de projeto do subsistema (empreendedor, construtor, projetistas, consultores, fornecedores, entre outros), optou-se por acompanhar o agente que encerra o processo, que é o construtor. Essa opção possibilita a observação do recorte específico do desenvolvimento dos projetos e do processo do subsistema fachada e da maneira pela qual as interfaces técnicas e comerciais entre agentes são montadas, principalmente aquelas relacionadas às etapas de integração projeto-execução, abrangendo o final do desenvolvimento dos projetos executivos e o início dos projetos de fabricação e montagem.

Um dos estudos selecionados proporcionou à pesquisa o alcance da etapa de conclusão da obra, possibilitando a verificação dos efeitos oriundos de todo o processo. O segundo estudo proporcionou o entendimento da importância das fases de planejamento e controle durante as etapas que antecedem à montagem da fachada na obra, e o terceiro estudo proporcionou à pesquisa a vivência durante a etapa de escolha do sistema de fachada a ser adotado e todo o processo para sua aprovação.

Processo de seleção do estudo de caso

O primeiro passo foi avaliar se o empreendimento era adequado para ser o estudo de caso desta dissertação. Para tanto, seguiu-se a sequência demonstrada por Robert K. Yin, no livro Estudos de Caso – Planejamento e Métodos (2005).

O passo seguinte foi selecionar um elo entre o estudo de caso abordado e a revisão bibliográfica pesquisada e exposta nesta dissertação.

Segundo Yin (2005):

“O estudo de caso costuma utilizar pelo menos duas técnicas de coleta de dados: a entrevista e a observação, mas pode também utilizar outras técnicas como, por exemplo, o questionário e a análise de documentos.”

Os estudos de caso desta dissertação utilizaram as duas técnicas de coleta de dados: a entrevista e a observação em campo.

Sendo assim, a metodologia prevê as seguintes técnicas de coleta de dados: a entrevista (com diversos agentes da cadeia produtiva), a observação (por meio de inúmeras visitas aos canteiros das obras durante e após a execução das fachadas) e a análise de documentos (projetos executivos e documentos relacionados ao subsistema fachada e, quando necessário, projetos de outros subsistemas que ofereçam interferência com a fachada).

1.5 Estruturação do Trabalho

Para viabilizar os objetivos propostos neste trabalho, esta dissertação foi estruturada em cinco capítulos, sendo:

Capítulo 1 – Introdução do trabalho. Subdividido em: Contexto e Justificativa; Objetivo; Delimitações da pesquisa; Metodologia e Estruturação.

Capítulo 2 – Tipos de fachadas, sistemas e componentes. Este capítulo faz uma classificação das fachadas e apresenta os principais tipos utilizados pelo mercado em edifícios comerciais. São expostos os sistemas construtivos quanto à sua definição, especificação, normatização e gestão. Além disso, o capítulo traz informações relevantes a respeito do principal componente das fachadas: o vidro.

Capítulo 3 – O processo de projeto das fachadas. O capítulo traz considerações a respeito da concepção do projeto, dos critérios de desempenho exigidos para as fachadas, relacionando normas, critérios e requisitos. Classifica os agentes do processo e suas respectivas atribuições.

Capítulo 4 – Estudos de caso. A dissertação apresenta o levantamento e a análise dos dados referentes ao projeto e, principalmente, à gestão dos projetos de três empreendimentos, sendo dois de edifícios de tipologia comercial e um de tipologia hospitalar, todos na cidade de São Paulo, incorporados por empresas distintas e fornecedores/instaladores de fachadas também distintos, mas construídos pela mesma empresa (construtora). Os estudos de caso foram denominados de Empreendimento Comercial Triplo A “R”, Empreendimento Comercial Triplo A “I” e Empreendimento Hospitalar “H”.

Após o levantamento e análise dos dados, este capítulo apresenta ainda uma análise crítica e comparativa dos três empreendimentos estudados.

Capítulo 5 – Recomendações. Nele são combinadas as informações da revisão bibliográfica com as análises realizadas nos estudos de caso, resultando na

proposição de recomendações adequadas à minimização de problemas com a gestão de um sistema tão relevante para o bom desempenho da edificação e tão significativo no caminho crítico da obra. Neste capítulo também serão apresentadas as considerações finais da autora.

2 TIPOS DE FACHADAS, SISTEMAS E COMPONENTES

“As fachadas, do ponto de vista construtivo, podem ser consideradas como a vedação envoltória do edifício, sendo que uma das faces está sempre em contato com o meio ambiente externo ao edifício” (SABBATINI et. al, 2007).

“A vedação vertical externa, também denominada de fachada, pode ser entendida como sendo um subsistema do edifício constituído por elementos que compartimentam e definem os ambientes internos dos externos, controlando a ação de agentes indesejáveis, sendo, portanto o invólucro do edifício” (OLIVEIRA, 2009).

Segundo Oliveira (2009), é possível classificar as fachadas sob diversos aspectos: quanto à **densidade**: leves e pesadas, e quanto ao **revestimento**: incorporado, posteriormente aderido ou sem revestimento.

Segundo Sabbatini (2002), também é possível classificar as fachadas quanto à **estrutura**: autoportante ou estruturada, e quanto à **continuidade superficial**: visibilidade das juntas: monolítica e modular.

Este capítulo tem como objetivo mostrar os sistemas de fachadas mais utilizados no mercado da construção civil, e foi estruturado da seguinte forma:

- Explicação detalhada do sistema: definição, requisitos, desempenho, montagem, acabamento, vedação, manutenção.
- Normatização.
- Gestão do processo de projeto e da produção.
- Manutenção e reparo.

2.1 Classificação das Fachadas

2.1.1 Quanto à densidade

Segunda Oliveira (2009), há uma forma de classificação para as fachadas que se refere à sua densidade superficial como vedação vertical, podendo ser:

- Leve: vedação vertical não estrutural, constituída de elementos de densidade superficial baixa, cujo limite aproximado é 100 kgf/m².
- Pesada: vedação vertical que pode ser estrutural ou não, constituída de elementos de densidade superficial superior ao limite pré-determinado de aproximadamente 100kgf/m².

Podemos considerar exemplos de fachadas leves as vedações em esquadrias e as fachadas-cortinas, que serão tratadas mais adiante neste mesmo capítulo.

- Fachada-cortina: fachada leve, constituída de uma ou mais camadas, posicionada totalmente externa à estrutura do edifício (à face exterior das lajes de borda), formando uma pele sobre o mesmo. Em inglês, esta classificação é conhecida pela expressão *curtain wall* (detalhada no item 2.2.1).
- Fachada semicortina: fachada leve, constituída de uma ou mais camadas, onde a camada exterior é posicionada externa à estrutura do edifício e a camada interior interna e entre pavimentos. Esta norma considera que a camada interior não obrigatoriamente deve ser leve, existindo casos em que a camada interior da fachada semicortina é uma parede em alvenaria ou em concreto, e a camada exterior um revestimento não aderido.

Podemos considerar exemplos de fachadas pesadas os painéis pré-moldados de concreto, que serão tratadas mais adiante neste mesmo capítulo.

2.1.2 Quanto ao revestimento

“As fachadas podem ser classificadas em função do momento em que o acabamento é incorporado a elas” (OLIVEIRA, 2009).

- Vedação com revestimento incorporado: são as vedações verticais que são posicionadas em seus lugares definitivos acabadas, sem a necessidade de aplicação posterior de revestimentos. Exemplo: painéis pré-moldados de concreto com granito aderido (detalhado no item 2.2.3).
- Vedação com revestimento posteriormente aderido: são as vedações executadas em seus lugares definitivos, sem a aplicação prévia de revestimentos. Como exemplo, temos as alvenarias comuns que receberão revestimentos aderidos ou não aderidos.
- Vedação sem revestimento: são as vedações verticais que não necessitam da aplicação de revestimentos. Pode ser utilizada de forma aparente, receber uma única pintura, ou ainda ser uma fachada envidraçada.

2.1.3 Quanto à estrutura

Segundo Sabbatini (2002), quanto à estruturação, as fachadas podem ser:

- Autoportantes: quando não possuem estrutura complementar, ou seja, a própria vedação se sustenta; é o caso da alvenaria estrutural;
- Estruturadas: quando a vedação necessita de uma estrutura reticulada para suportar os componentes de vedação, por exemplo: vedação de gesso acartonado, alvenaria de vedação.

As paredes de alvenaria podem ser feitas de diversos materiais: bloco de concreto, bloco cerâmico, bloco sílico-calcário, bloco de concreto celular, bloco de solo cimento, entre outros.

2.1.4 Quanto à continuidade superficial

Ainda de acordo com Sabbatini (2002), as fachadas podem ser classificadas em monolítica ou modular; essa classificação diz respeito à visibilidade das juntas:

- Monolítica: é aquela sem juntas aparentes, como as vedações de alvenaria e gesso acartonado;
- Modular: é aquela onde as juntas são aparentes, como por exemplo, os painéis pré-fabricados de fachada.

Sob o ponto de vista construtivo, também é possível organizar as tipologias de vedações verticais, e conseqüentemente de fachadas, pela combinação de duas classificações: por conformação ou por acoplamento a seco, conforme Figura 2.1 (LIU, 2010).

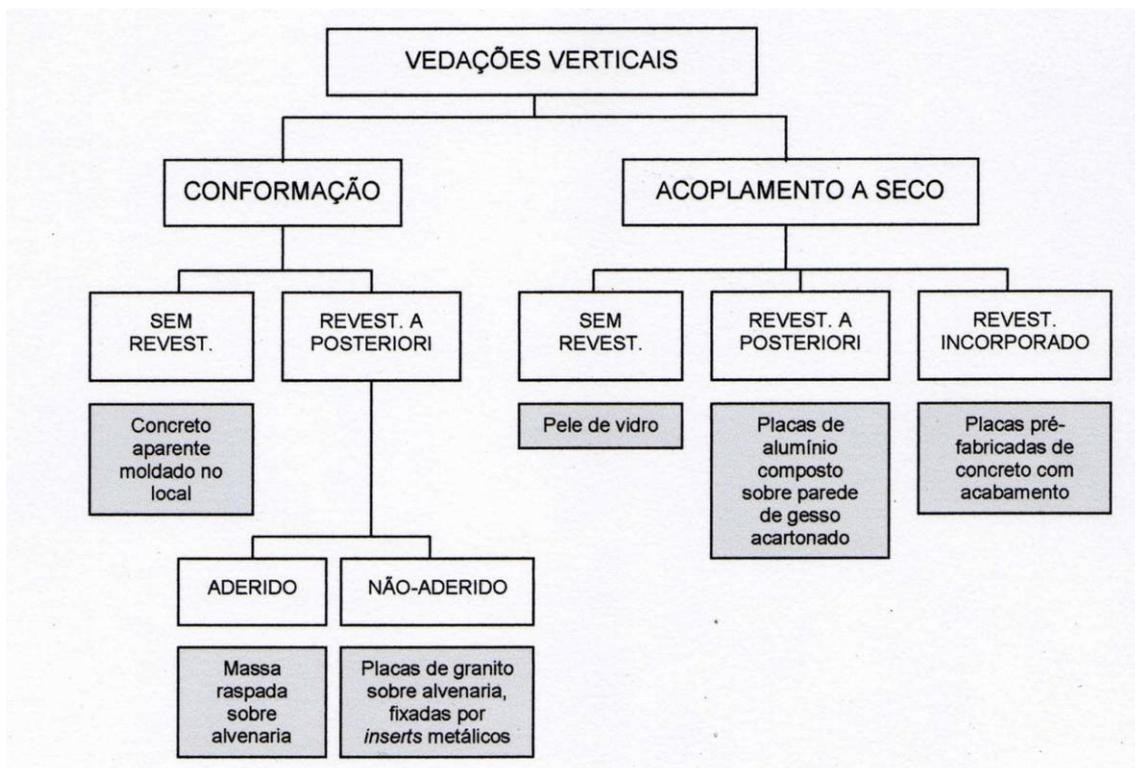


Figura 2.1: Tipologias de vedações verticais sob o ponto de vista construtivo, e alguns exemplos (em cinza). Fonte: Liu (2010)

Considerando a classificação acima os sistemas de fachadas que serão expostos no decorrer deste capítulo estão relacionadas no quadro 2.1 abaixo:

		Fachada Cortina	Sistema Unitizado	Painéis pré-moldados de concreto	Sistema de fixação metálico	Painéis de Alumínio	Fachada Ventilada
Densidade	Leve	X	X		X	X	X
	Pesada			X			
Revestimento	Incorporado	X	X	X			
	Posteriormente aderido				X	X	X
	Sem revestimento						
Estrutura	Autoportantes			X			
	Estruturadas	X	X		X	X	X
Continuidade Superficial	Monolítica						
	Modular	X	X	X	X	X	X

Quadro 2.1: Classificação das fachadas expostas neste capítulo

2.2 Sistemas de Fachada

2.2.1 Fachada-cortina

O sistema de fachada-cortina é fabricado a partir de perfis extrudados de alumínio. Por meio da extrusão do alumínio são obtidos perfis com seções transversais muito complexas, o que permite o desenvolvimento de esquadrias e fachadas.

Segundo Reis (2006), a extrusão possibilita a otimização de perfis e conjuntos de perfis sob diversos aspectos, tais como: comportamento estrutural, facilidade de fabricação e montagem, vedação, boa aparência e funcionamento.

O alumínio é considerado pelo mercado um material nobre e de estética agradável, transferindo tais características para as esquadrias, fachadas e revestimentos em edifícios que pretendem transparecer aspectos de desempenho, qualidade e boa aparência. Para garantia de sua qualidade estética, o alumínio pode receber três tipos de acabamentos de superfície: anodização, jateamento com anodização e pintura eletrostática a pó. Todos os tipos de acabamento respeitam normas específicas de garantia quanto à durabilidade, de acordo com os meios onde se encontram.

2.2.1.1 Definição

Segundo Oliveira (2009), a fachada-cortina é constituída de uma ou mais camadas, sendo posicionada de forma totalmente externa à estrutura do edifício, ou seja, à face exterior da laje de borda, formando uma pele sobre o edifício (Figura 2.2).

A norma brasileira de esquadrias externas para edificações NBR 10821⁷ (ABNT, 2011) define como:

“Esquadrias interligadas e estruturadas com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou da largura na fachada da edificação, sem interrupção, por pelo menos dois pavimentos.”

Para Siqueira Junior (2003), fachada-cortina é “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 exterior de uma edificação”.

Segundo Khoury (2002):

“A fachada-cortina é um sistema de caixilhos contínuos e autossustentáveis diferente de elementos de preenchimento tais como: janelas e revestimento de alvenarias. Ela precisa proteger a estrutura da ação do tempo, separar o ar circulante no interior das condições externas, controlar a intensidade da luz, permitir a visualização da paisagem e mover-se junto com a estrutura de acordo com os critérios adotados para seu uso, já que a estrutura do edifício é afetada por mudanças de temperatura, carga acidentais ventos e eventos sísmicos.”

A fachada-cortina pode se apresentar sob as seguintes formas:

- Fachada-cortina convencional: a coluna de sustentação dos vidros fica do lado externo da edificação e o vidro é encaixilhado e fixado mecanicamente por meio de perfis de alumínio e guarnições de EPDM (Figuras 2.3 e 2.4).
- Fachada-cortina pele de vidro: as colunas de sustentação dos vidros são fixadas nas vigas, enquanto o vidro permanece encaixilhado; o resultado é que, apesar de manter a marcação de linhas horizontais e verticais da caixilharia, o vidro se destaca, embora os perfis estruturais sejam vistos pelo lado interno do ambiente. Os vidros são fixados mecanicamente através de perfis de alumínio e guarnições de EPDM (Figuras 2.5 a 2.8).

⁷ NBR 10821 Esquadrias externas para edificações

- Fachada-cortina *Structural Glazing*: o vidro é colado externamente na coluna de sustentação dos vidros com silicone estrutural ou fita adesiva estrutural dupla face nos perfis de alumínio. O silicone/fita suporta o peso próprio do vidro e de todas as demais cargas atuantes na fachada, e a estrutura fica oculta na face interna (Figuras 2.9 a 2.11).

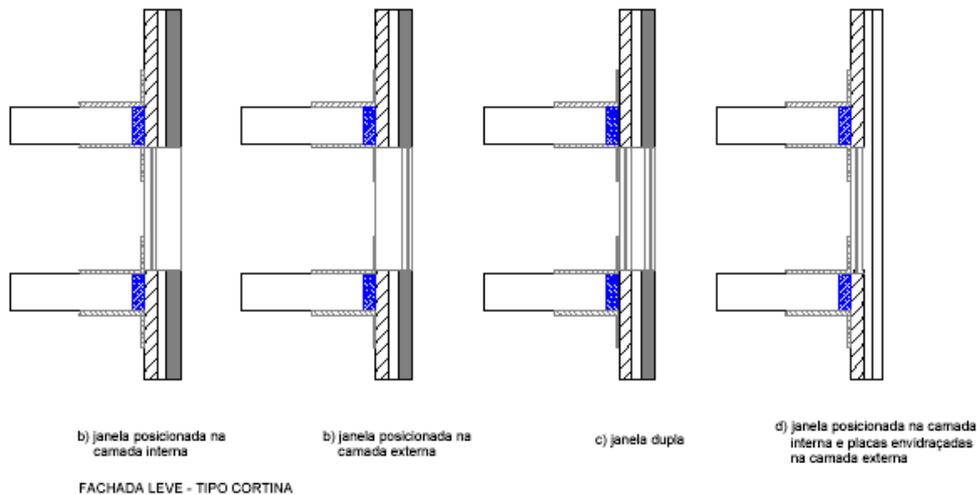


Figura 2.2: Esquema da secção longitudinal de fachadas-cortina constituída de várias camadas
Fonte: Oliveira (2009)

Khoury (2002) divide os sistemas de fachada-cortina em duas categorias básicas: sistema *stick* ou sistema unitizado, e explica os sistemas conforme segue:

- Fachada-Cortina *Stick*: o sistema é composto por componentes individuais enviados desmontados ao local de aplicação, onde são montados e instalados. O sistema está disponível tanto em projetos padronizados quanto em desenhos sob medida. Estruturalmente falando, este tipo de fachada-cortina é baseado no princípio que simula um sistema de vigas contínuas, distribuindo a carga ao longo do perímetro do edifício. Os montantes verticais são apoiados nos painéis do piso com peças de junção ou conectores preferencialmente alocados sobre o piso na dimensão de $\frac{1}{4}$ do vão vertical, dando assim uma integridade estrutural otimizada aos montantes. O sistema necessita mão de obra especializada para transporte, montagem e instalação, além de espaço suficiente para armazenamento.

- Fachada-Cortina em Sistema Unitizado é o método preferido para a execução de fachadas-cortina. A popularidade do sistema está atribuída ao controle realizado fora do local da montagem dos componentes, especialmente à aplicação do silicone estrutural e à eliminação de danos com a perda de materiais (mitigação da perda de materiais).

O projeto estrutural do sistema unitizado é muito semelhante, em princípio, ao do sistema *stick*. A principal diferença é que os montantes têm seções compostas de formas abertas que estão unidos para compartilhar a carga; a dimensão dos montantes pode ser maior em largura e profundidade se comparada ao sistema *stick*. A profundidade, largura e formato do sistema dependem de requisitos de desempenho e estética.

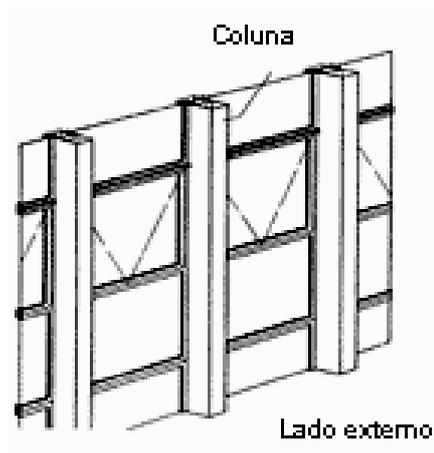


Figura 2.3: Fachada-cortina convencional
 Fonte: Reis (2006)

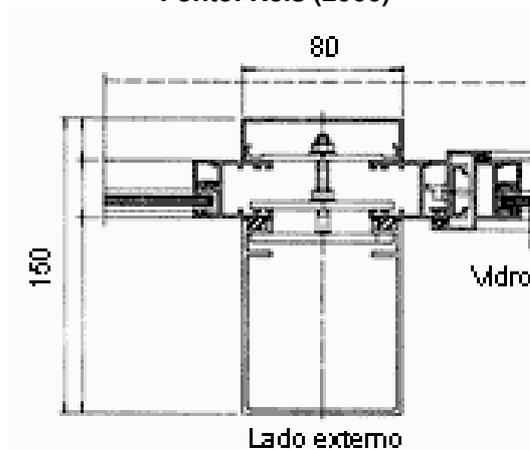


Figura 2.4: Fachada-cortina convencional: as colunas estruturais da fachada encontram-se no lado externo e o vidro fica totalmente encaixilhado
 Fonte: Alusistem (2010) - <http://www.alusistem.com.br/>

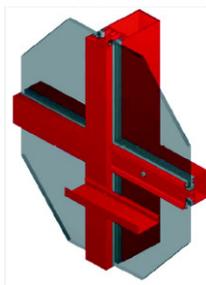


Figura 2.5: Fachada-cortina pele de vidro
Fonte: Reis (2006)

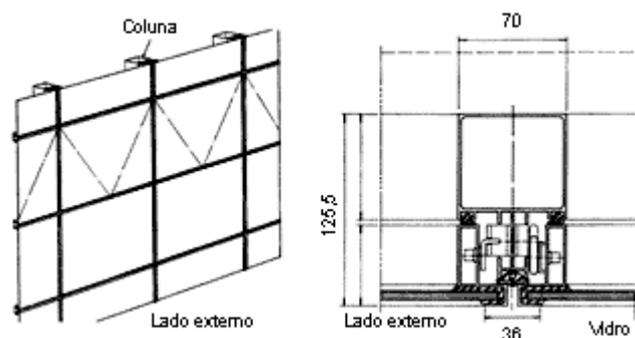


Figura 2.6: Fachada-cortina pele de vidro: as colunas da fachada são fixadas na viga pelo lado interno, mas o vidro continua encaixilhado
Fonte: Alusistem (2010) - <http://www.alusistem.com.br/>



Figura 2.7: Primeira obra executada com pele de vidro no Brasil. Edifício Centro Cândido Mendes, Rio de Janeiro, RJ, em 1970. Fonte: Flickr (2010)

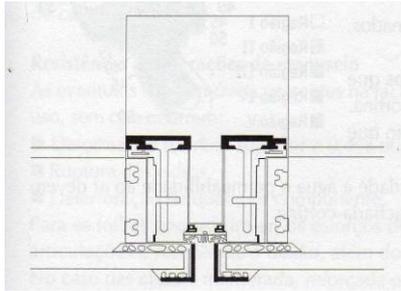


Figura 2.8: Fachada-cortina em pele de vidro
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

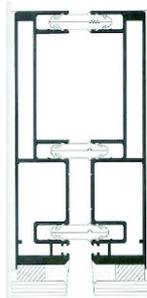


Figura 2.9: Fachada-cortina *Structural Glazing*
Fonte: Reis (2006)

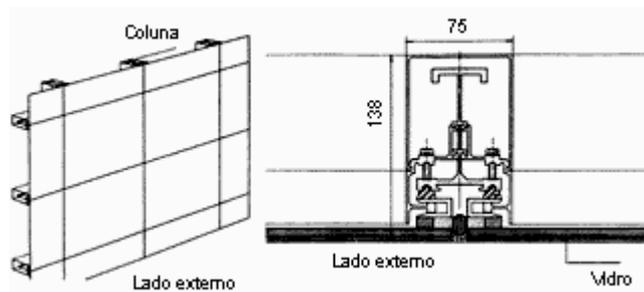


Figura 2.10: Fachada-cortina *Structural Glazing*: o vidro passa a ser colado com silicone estrutural, originando panos de vidro contínuos
Fonte: Alusistem (2010) - <http://www.alusistem.com.br/>

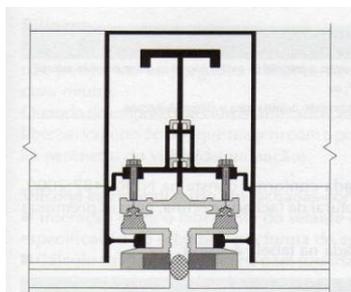


Figura 2.11: Fachada-cortina em pele de vidro
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

Resumindo a classificação descrita no item 2.1, a fachada-cortina pode ser classificada como mostra o Quadro 2.1, ou seja, leve, incorporada, estruturada e modular.

Quadro 2.2: Classificação das fachadas-cortinas conforme item 2.1

Quanto à:		
Densidade		
	Leves	X
	Pesadas	
Revestimento		
	Incorporadas	X
	Posteriormente aderido	
	Sem revestimento	
Estrutura		
	Autoportantes	
	Estruturadas	X
Continuidade superficial		
	Monolítica	
	Modular	X

Segundo Oliveira (2009):

As fachadas leves, apesar de serem formadas por componentes pré-fabricados, também podem ser classificadas segundo seu processo de montagem e montadas no local ou pré-fabricadas. As fachadas montadas no local (*stick*) são aquelas onde as estruturas secundárias e os outros componentes da fachada são montados no seu local definitivo, ou seja, os montantes, as travessas e os componentes de fechamento são unidos entre si diretamente no seu local definitivo. Já as fachadas leves pré-fabricadas são aquelas cujos componentes são unidos em unidade fabril (seja em fábrica ou em canteiro de obras), formando painéis modulares (denominados pelo mercado brasileiro de módulo unitizado), que são transportados para seu local definitivo com o auxílio de equipamento de transporte/vertical (gruas, guindastes, etc.) e são fixados à estrutura do edifício por meio de dispositivos de fixação.

Informações relevantes são aquelas que tratam da máxima carga devido ao vento, das classes de utilização de estanqueidade à água e da permeabilidade ao ar. Devem ser informadas pelos agentes da cadeia de valor, responsáveis diretamente pela fachada: o consultor de vidros e caixilhos (uma vez que no Brasil não se utiliza o termo projetista de fachada e sim consultores para sistemas específicos, como por exemplo, consultor de rochas, consultor de sistema não aderido de fachadas, consultor de vidros e caixilhos, consultor de argamassa, entre outros) e o fornecedor/ fabricante, ou seja, o executor da fachada.

Essas informações devem também estar disponibilizadas a todos os agentes responsáveis pela fachada e para os demais agentes da cadeia, em função dos subsistemas que têm interferência com a fachada: estrutura, cobertura e instalações prediais.

Vedantes

Existem três tipos de vedantes para uso nas fachadas-cortina: silicone estrutural, silicone de vedação e fita adesiva estrutural dupla face. Dentre os silicones existem ainda os de cura neutra e os de cura acética.

De acordo com o livro (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)⁸, o silicone estrutural e a fita adesiva dupla face se mostram mais eficientes em perfis anodizados, enquanto que, para perfis pintados, recomenda-se o uso de fixações mecânicas complementares, além da colagem. Quando a aderência for insatisfatória, recomenda-se o uso do primer.

Tanto a anodização quanto a pintura eletrostática devem ser submetidas a ensaios, a fim de que se verifique a aderência do perfil ao selante estrutural.

Os silicones aplicados à fachada-cortina para colagem dos vidros laminados devem ser os silicones estruturais de cura neutra, jamais os de cura acética, pois estes liberam vapores ácidos que reagem com o PVB (polivinilbutiral), causando manchas e descolamento próximo ao perímetro do vidro. Este fenômeno denomina-se delaminação.

Utiliza-se também a aplicação de primer para acelerar o processo de cura do silicone.

⁸ Alternativas tecnológicas para edificações. São Paulo: PINI, 2008. 237p. v.1.

Determinados fatores condicionam o uso correto do silicone estrutural:

- Para a especificação correta do silicone é necessário que as empresas fabricante e aplicadora estejam capacitadas.
- É necessário calcular as juntas para suportar o peso e as dimensões dos vidros, e as cargas de vento definidas e informadas no projeto da fachada. Esses cálculos devem ser realizados e informados por um dos seguintes agentes: projetista de fachada, consultor de fachadas ou fabricante do silicone. A atribuição de responsabilidade pode variar de acordo com a forma de contratação dos agentes conforme o processo de projeto adotado.
- O dimensionamento da largura e espessura do cordão de colagem deverão ser calculados em função da dimensão dos painéis de vidro, da espessura dos vidros, do tipo de perfil e acabamento do mesmo, cargas dinâmicas (ação dos ventos), ângulo de inclinação da superfície do vidro. Existem casos onde é especificado o perfil com aba, cujo objetivo é eliminar o peso do vidro.
- Além dos silicones, há as fitas adesivas dupla face empregadas em fachada-cortina *structural glazing*. Existem itens que condicionam a correta utilização da fita: é necessário que o projetista, as empresas fabricante e a instaladora trabalhem com as mesmas informações, e de forma integrada entre eles.
- A largura e a quantidade de fita deverão ser definidas considerando-se o perfil estrutural, acabamento, dimensão dos painéis e localização do edifício.
- Prever abas ou esperas para que o vidro tenha mais segurança de montagem.

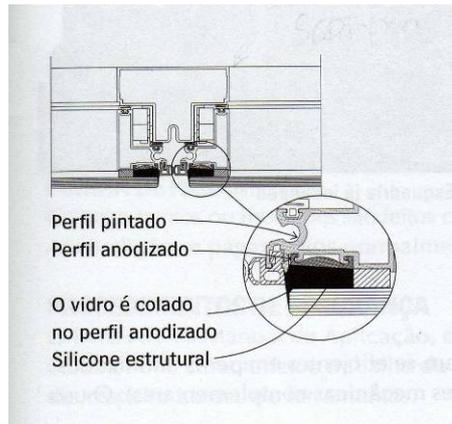


Figura 2.12: Colagem do vidro no perfil
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

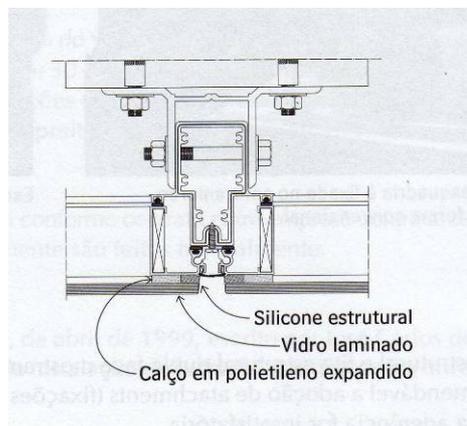


Figura 2.13: Colagem do vidro no perfil
Fonte: Souza (2008)

Fixação

A fixação da fachada-cortina no edifício é feita por meio de ancoragens de alumínio, fixadas nas vigas por chumbadores químicos ou de expansão. As ancoragens devem ser calculadas e dimensionadas para resistir aos esforços de ação dos ventos, peso próprio e cargas acidentais. Recomenda-se o emprego de chumbadores de aço inoxidável. A capacidade de resistência de todos os parafusos empregados deve ser verificada. Recomenda-se sempre a utilização de parafusos de aço inoxidável (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008).

Juntas

Existem dois tipos de juntas na fachada-cortina: junta estrutural e junta de união.

As juntas estruturais deverão ter sua espessura projetada de forma a permitir os movimentos de expansão e retração que ocorrem com a variação da temperatura, sendo que a espessura e largura mínimas são de 6,4 mm e a proporção entre a largura e a espessura da junta é de 1:1 até 3:1. A espessura da junta estrutural reduz o esforço resultante da diferença da movimentação térmica. Sua espessura facilita a instalação do selante.

As juntas de união, também chamadas de juntas de movimentação, são as que absorvem maior movimentação na fachada-cortina, e acontecem geralmente a cada 4 m ou 5 m do caixilho.

2.2.1.2 Quanto às especificações

Conforme o livro (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008), o projeto da fachada-cortina deverá considerar os seguintes itens no desenvolvimento de suas especificações:

- Estanqueidade ou permeabilidade à água;
- Resistência às cargas de vento;
- Resistência aos esforços de uso (se houver folhas móveis);
- Durabilidade;
- Isolamento sonoro;

- Resistência ao fogo;
- Recebimento e armazenamento em obra;
- Controle da instalação;
- Fixação;
- Custo.

O projeto deverá ainda apresentar os seguintes dados para execução:

- Especificação da classe e região;
- Detalhamento das interfaces do subsistema fachada-cortina com o subsistema estrutura;
- Detalhamento das interfaces do subsistema fachada-cortina com o subsistema instalações (quando houver);
- Detalhamento das ancoragens, proteções corta-fogo, proteções acústicas, encontro com vedações internas (quando houver);
- Dimensões de suas peças e suas tolerâncias admitidas;
- Especificações de todos os componentes: perfis estruturais e secundários, chumbadores e sistemas de fixação, quadros, vidros, acessórios, produtos de vedação (gaxetas, escovas e selantes);
- Especificação de acabamentos;
- Quantificação de todos os componentes;

- Especificações quanto à forma de recebimento e armazenamento em obra;
- Sequência executiva;
- Especificações de manutenção e limpeza.

2.2.1.3 Quanto à normatização

Os requisitos gerais definidos pela ABNT NBR 10821:2011 determinam que:

- A esquadria deve ser fornecida com todos os componentes necessários ao seu funcionamento e características do produto ensaiado, conforme projeto.
- Os componentes devem ser de materiais compatíveis com aquele utilizado na fabricação da esquadria, atendendo as normas específicas de cada componente, e não podem sofrer alterações químicas, físicas ou mecânicas que prejudiquem o seu desempenho durante os ensaios previstos nesta norma. As guarnições, quando elastoméricas, devem ser em EPDM, conforme ABNT NBR 13756⁹.
- Os contatos bimetálicos devem ser evitados. Caso eles existam, deve-se prever isolamento ou utilização de materiais cuja diferença de potencial elétrico não ocasione corrosão galvânica.
- Os perfis devem ser adequados à fabricação das esquadrias e atender às exigências de normas específicas.

Além dos requisitos gerais, as normas determinam requisitos específicos quanto à:

⁹ GGGGG

- Estanqueidade da fachada à água quando submetida a determinada vazão mínima.
- Resistência às cargas uniformemente distribuídas. Recomenda-se que o contratante exija o projeto estrutural da fachada-cortina, com as premissas de cálculo, incluindo as cargas consideradas.
- Permeabilidade ao ar, determinando resistência térmica mínima, vazão máxima de ar, dependendo do tipo de ambiente (condicionado ou climatizado), localização (estado do Brasil) e classe de utilização.

Para o desempenho da fachada-cortina é preciso considerar as exigências quanto à resistência ao fogo e conhecer os coeficientes globais de transmissão de calor para vidros (isolamento térmico), transmitância à radiação solar e transmitância luminosa, fator solar dos vidros e transmissão sonora.

Quanto à resistência ao fogo, conforme ABNT NBR 14432:2001¹⁰, deverá haver um peitoril interno de 1,20 m (considerando a espessura da laje), em material resistente ao fogo, como por exemplo, a chapa do *dry wall* rosa, que apresenta características resistentes ao fogo e é admissível pelos regulamentos do Corpo de Bombeiros.

Os coeficientes globais, definidos de acordo com o tipo de material empregado na fachada, são apresentados em tabelas conhecidas e utilizadas mundialmente. No caso da fachada-cortina, os coeficientes aplicáveis são os dos tipos de vidro (simples, incolor, colorido, duplo, triplo, monolíticos e laminados).

No caso da fachada-cortina é preciso prestar atenção aos critérios de durabilidade da camada de anodização dos perfis de alumínio, que devem atender a ABNT NBR 12609:2009¹¹, que trata da anodização para fins arquitetônicos, indicando as espessuras e limites de aceitabilidade para camada anódica.

¹⁰ NBR 14432 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações

¹¹ NBR 12609 Alumínio e suas ligas – Tratamento de superfície – Anodização para fins arquitetônicos

A pintura dos perfis de alumínio deverá atender a ABNT NBR 14125:2009¹², que considera a liga do alumínio utilizado, a tinta a ser aplicada e o processo de aplicação.

2.2.2 Sistema Unitizado

2.2.2.1 Definição

O sistema unitizado é um conceito americano que divide a fachada em módulos produzidos individualmente e instalados separadamente nos vãos. Consiste em formar um conjunto de vidro e caixilho promovendo a instalação conjunta de colunas “subdivididas”. A fachada é modular. Cada módulo tem uma coluna desmembrada em macho e fêmea e a altura do pé-direito. A instalação pode ser feita pelo lado interno da obra, garantindo velocidade na produção e instalação, além de excelente relação custo-benefício, representando significativos ganhos no cumprimento de prazos.

Khoury (2002) expõe que o sistema unitizado exige menos trabalhadores para a montagem e um grau elevado de controle de qualidade na fábrica. No entanto, exige equipes de instalação qualificadas no local de montagem, com o objetivo de proteger as ancoragens e definir as unidades a serem instaladas na fachada (Figuras 2.14 e 2.15).

Segundo Machado (2004), as maiores vantagens observadas no sistema unitizado são a velocidade de instalação e o controle de qualidade feito no solo, o que resulta maior eficácia e a possibilidade de execução simultânea com a estrutura do prédio.

¹² Alumínio e suas ligas – tratamento de superfície – Revestimento orgânico para fins arquitetônicos

Conforme a descrição no item 2.1, conclui-se que o sistema unitizado pode ser classificado conforme Quadro 2.2, ou seja, leve, incorporada, estruturada e modular.

Quadro 2.3: Classificação das fachadas unitizadas conforme item 2.1

Quanto à:		
Densidade		
	Leves	X
	Pesadas	
Revestimento		
	Incorporadas	X
	Posteriormente aderido	
	Sem revestimento	
Estrutura		
	Autoportantes	
	Estruturadas	X
Continuidade Superficial		
	Monolítica	
	Modular	X

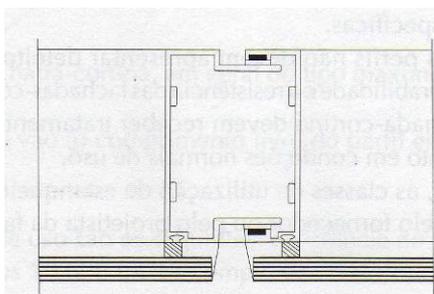


Figura 2.14: Fachada-cortina Unitizada
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

O sistema unitizado pode ser utilizado tanto no entrevão quanto no sistema de fachada-cortina. Quando utilizado no entrevão, é necessária a execução de uma

parede de vedação em alvenaria ou painel estruturado, como por exemplo, os painéis de concreto. O módulo unitizado é instalado entre essa vedação e a viga.

Segundo Machado (2004), no edifício *E-tower*, construído em 2004 no município de São Paulo, os painéis unitizados possuem, em uma única peça, elementos de vidro e granito. O *E-tower* foi o primeiro do Brasil a empregar painéis pré-fabricados de alumínio com granito e vidro em uma única peça.

Ainda citando Machado (2004):

“Os perfis que compuseram os painéis foram dimensionados a partir dos resultados obtidos em ensaio em túnel de vento, que determinou os esforços atuantes na fachada, nos laboratórios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Para verificação de atendimento aos requisitos de permeabilidade ao ar, impermeabilidade e resistência ao vento, foi executado um ensaio na câmara de testes do Centro Tecnológico do Alumínio, na AFEAL, Associação de Fabricantes de Esquadrias de Alumínio, em São Paulo, a partir de um painel protótipo executado conforme o projeto do edifício *E-Tower*.” (Figura 2.16)



Figura 2.15: Maquete do Edifício *E-tower* para ensaio no túnel de vento
Fonte: Machado (2004)



Figura 2.16: Painel do Edifício *E-tower* montado na câmara de testes na AFEAL
Fonte: Machado (2004)



Figura 2.17: Primeira obra executada em sistema unitizado no Brasil, Edifício Berrini 500, São Paulo, SP. Fonte: Método Engenharia (2010)

Outro fator positivo é a possibilidade de montar vários módulos de forma independente, aplicando a cada um os elementos de fechamento da fachada que

correspondam à sua posição, de acordo com o projeto arquitetônico (MACHADO, 2004).

O sistema unitizado é composto pelos seguintes tipos de materiais: perfis estruturais de alumínio – insertos e ancoragens, parafusos para as esquadrias, gaxetas, mantas de borracha e fitas isolantes, selantes e vidros ou qualquer outro acabamento a ser definido em projeto, granito, placas de alumínio, cerâmica, entre outros.

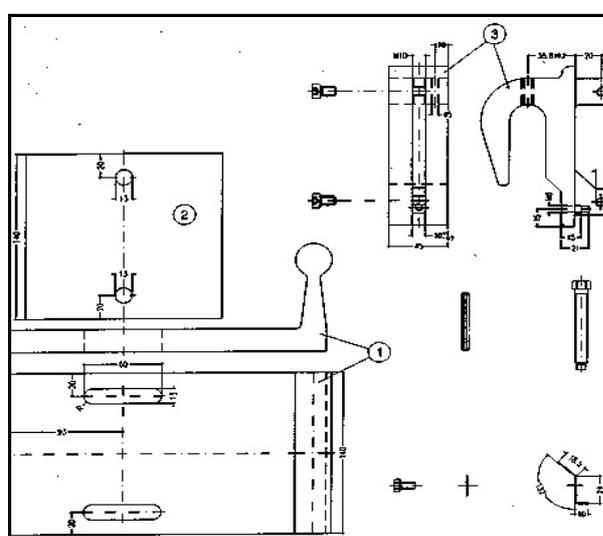


Figura 2.18: Componentes do sistema: 1 - Elemento de fixação dos painéis (ancoragem); 2 - Base soldada ao inserto para apoio da ancoragem; 3 - Gancho para encaixe do caixilho ao elemento de fixação. Fonte: Machado (2004)

2.2.2.2 Quanto à normatização

Não existe norma específica para o sistema unitizado, mas exige-se que ele siga as orientações referentes à vidros, presentes na ABNT NBR 7199:1989¹³ – projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil.

¹³ Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil

2.2.2.3 Quanto à execução e controle

A execução do sistema se resume em quatro etapas:

- a. Instalação das ancoragens.
- b. Montagem dos marcos.
- c. Colagem dos vidros ou outros revestimentos.
- d. Instalação dos painéis unitizados.

Para que essas etapas sejam realizadas com sucesso, os projetos de fabricação e montagem deverão estar devidamente analisados, compatibilizados com os demais subsistemas que tenham interferência com a fachada (estruturas, vedação, impermeabilização, etc.) e validados. Também deverá ser verificado se as condições de limpeza e armazenamento dos materiais estão em conformidade com as orientações feitas pelo consultor de fachadas (vidros e caixilhos) nos relatórios desenvolvidos para a obra. Além disso, é necessário que a equipe de execução faça a locação e liberação dos eixos topográficos.

Após análise e verificação dos itens acima, tem-se a seguinte sequência para realização dos serviços:

1) Mapeamento da estrutura

- O mapeamento da estrutura é a conferência do nivelamento da estrutura (cota da laje nos pontos de fixação) antes da fixação das ancoragens, ajustando possíveis desvios com *grout* e/ou calços. Serve para verificar o alinhamento vertical da estrutura, conforme a tolerância do sistema de fachada adotado, corrigindo defeitos com apicoamento do concreto e executando proteção adequada, quando a armadura ficar exposta (Figura 2.23).

- As descidas de arames fachadeiros fazem o rastreamento da estrutura, indicando locais que necessitem de ajustes.

2) Instalação das ancoragens

- Fixam-se as ancoragens diretamente na estrutura, por soldagem ou por meio de chumbadores químicos ou de expansão, conforme o projeto.
- Os arames fachadeiros também podem auxiliar a locação das ancoragens quanto ao eixo horizontal, fazendo a conferência dos vidros e marcos antes da montagem.
- Antes da fixação dos vidros nos marcos, deve-se verificar a integridade e limpeza dos mesmos, isto é, se eles não estão quebrados e se estão livres de materiais que podem vir a danificar a pintura do alumínio e manchar os vidros com respingos de argamassa, tinta, poeira e substâncias oleosas.

3) Instalação dos vidros

- A fixação dos vidros nos marcos pode ser feita com o uso de silicone estrutural, fita adesiva estrutural dupla face ou fixações mecânicas complementares. A sequência pode ser verificada nas Figuras 2.20 (a), (b) e (c).



(a) Colocação do vidro sobre o módulo



(b) Aplicação do silicone estrutural



(c) Retirando o excesso de silicone

Figura 2.19: As figuras (a), (b) e (c) ilustram a sequência de fixação do vidro no módulo com silicone estrutural. Fonte: Arquivos cedidos pela Construtora Método (2010)

- Conferir se o vidro foi montado corretamente (etiqueta do fabricante indica usualmente o lado externo).
- Eliminar todo o excesso do material de fixação imediatamente.

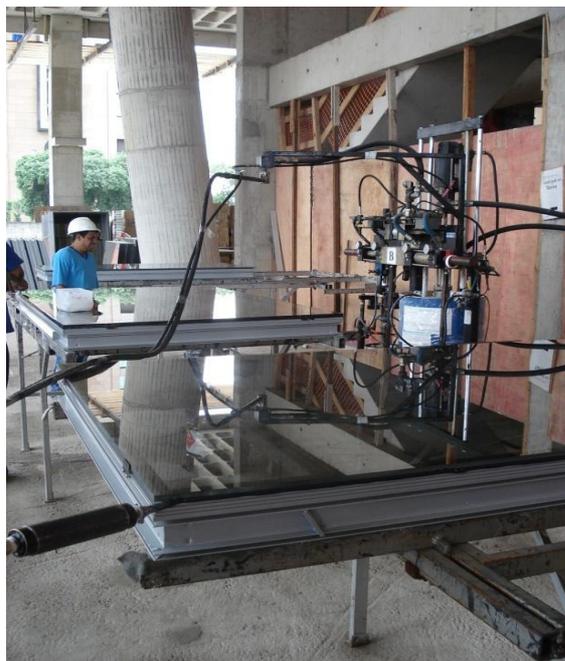


Figura 2.20: Local de colagem dos vidros, no canteiro de obras
Fonte: Arquivos cedidos pela Construtora Método (2010)

4) Instalação dos painéis da fachada

- Impermeabilizar e pintar a estrutura (impermeabilização é item obrigatório tecnicamente, enquanto que a pintura é opcional).
- Definir o plano de ataque da montagem dos painéis e da logística para transporte e armazenamento interno.
- Dependendo do sistema adotado, a instalação pode utilizar andaime fachadeiro, grua, balancim ou ser instalado a partir do interior do edifício (Figura 2.22).
- Sempre verificar o alinhamento, nível, prumo, embutimento da ancoragem da laje no gancho de ancoragem do caixilho, encaixe e dimensão da junta entre os caixilhos.



Figura 2.21: Instalação dos módulos unitizados na fachada
Fonte: Arquivos cedidos pela Construtora Método (2010)

5) Aplicação do selante

- Se especificada em projeto, a aplicação do selante deve ser realizada seguindo as orientações do fabricante, de modo a garantir a estanqueidade e desempenho adequado.

6) Limpeza final/Teste de estanqueidade

- Os perfis e caixilhos devem ser limpos com esponja macia e detergente neutro diluído a 5% em água. Vidros devem ser limpos com produtos específicos.



(a) Içamento do painel pelo vão da laje



(b) Instalação do painel na fachada



(c) Içamento externo



(d) Instante em que o painel é fixado

Figura 2.22: Sequência de instalação do painel unitizado do edifício E-tower
Fonte: Machado (2004)

2.2.3 Painéis pré-moldados de concreto

2.2.3.1 Definição

“Os painéis pré-moldados de concreto, também chamados de painéis pré-fabricados de concreto (pesados), consistem em uma vedação obtida por acoplamento de placas pré-fabricadas de grande massa. As placas só podem ser transportadas com a utilização de equipamentos mecânicos pesados. Os painéis podem ou não ter função estrutural, ser modulares e autoportantes.” (SABBATINI, 2002)

Segundo Liu (2010), efeitos interessantes em edifícios de escritórios também podem ser obtidos com fachada pesada, construída por acoplamento a seco e revestimento incorporado.

Segundo a descrição do item 2.1, conclui-se que os painéis pré-moldados de concreto podem ser classificados conforme Quadro 2.3, ou seja, pesados, incorporados, autoportantes e modulares.

Quadro 2.4: Classificação das fachadas em painéis de concreto conforme item 2.1

Quanto à:		
Densidade		
	Leves	
	Pesadas	X
Revestimento		
	Incorporadas	X
	Posteriormente aderido	
	Sem revestimento	
Estrutura		
	Autoportantes	X
	Estruturadas	
Continuidade Superficial		
	Monolítica	
	Modular	X

Em 1993, a empresa Stamp de São Paulo, em parceria com a empresa BPDL – *Bétons Préfabriqués du Lac*, introduziu no Brasil os painéis pré-fabricados em concreto arquitetônico (VEFAGO, L.; BARTH, F. 2007).

Segundo Vefago e Barth (2007):

“Os painéis arquitetônicos são realizados com concretos especiais reforçados por armaduras cujos acabamentos superficiais são incorporados no seu processo de fabricação, de modo a reduzir consideravelmente a mão de obra correspondente à aplicação de revestimentos e pinturas nas fachadas convencionais.”

Os painéis pré-moldados de concreto utilizam pedras naturais ou regionais, areia natural, cimento de alta resistência, pigmentos, aço de armadura, aditivos tecnológicos, e são fixados às estruturas (de concreto ou de aço) por meio de insertos metálicos embutidos nos painéis (chapas, tubos, peças especiais de montagem). O acabamento pode ser colorido por intermédio da adição de pigmentos inorgânicos e estáveis, por agregados coloridos, ou receber revestimento de granito ou mármore. Neste caso, as pedras são incorporadas aos painéis durante o processo produtivo.

Ainda citando Vefago e Barth (2007), existem também as texturas obtidas por meio de moldes que simulam diferentes revestimentos, tais como: pedra natural, bloco de concreto, lambris de madeira, alvenaria de tijolos aparentes, etc.

De acordo com o livro (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008), os painéis de concreto têm espessura que varia de 10 a 15 cm, e preenchem os requisitos de desempenho requeridos, como o isolamento sonoro, por exemplo. Com dimensões que permitem sua fabricação, seu transporte e fixação nas obras, a altura varia entre 1,2 e 3,0 m, mas geralmente é definida pelo pé-direito do edifício. Seu comprimento não deverá exceder 12 m, devido ao transporte. Quanto à espessura de cobrimento de concreto sobre a armadura, devem-se observar os seguintes fatores:

- Agressividade do meio;

- Características do concreto;
- Dimensão máxima do agregado;
- Resistência ao fogo requerida.

Os dispositivos de fixação são as partes mais importantes dos painéis de concreto, pois são eles os responsáveis pela sua interação com a estrutura, garantindo a segurança no edifício. São essas fixações que suportam o peso próprio do painel mais revestimento, cargas de tensões de vento e movimentações diferenciais. Portanto, tudo deve ser projetado de maneira a garantir, além da segurança, o desempenho, a durabilidade e os aspectos de construtibilidade.

Os painéis são solidarizados à estrutura, o que torna os dispositivos de fixação responsáveis por transferirem as cargas provenientes do painel para a estrutura.

Durante a concretagem dos painéis são fixadas ancoragens que permitem o içamento necessário para conduzi-los até as fachadas onde serão instalados.

Segundo a ABNT NBR 9062:2006¹⁴:

“Após a montagem dos elementos, as alças de içamento devem ser sempre cortadas e a armadura deve ser tratada de maneira a evitar pontos de corrosão. Caso seja prevista a permanência da alça, esta deve ser tratada de maneira a não sofrer danos por corrosão. Permite-se a permanência da alça nas peças compostas ou mistas, desde convenientemente envolvidas pelo concreto moldado no local.”

No encontro entre os painéis são projetadas juntas de silicone de acordo com os critérios de desempenho relativos à estanqueidade à água e ao ar, e à capacidade de absorver deformações sem a inserção de tensões extras nos painéis.

¹⁴ NBR 9062 Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado

Os fixadores existentes entre o painel e a estrutura podem ser: fixações de alinhamento de apoio vertical e lateral, parafusadas ou soldadas. A fixação parafusada pode ser pré-ancorada ou pós-ancorada, sendo que, no primeiro caso, os fixadores são colocados no painel antes da concretagem, e no segundo, após a desforma.

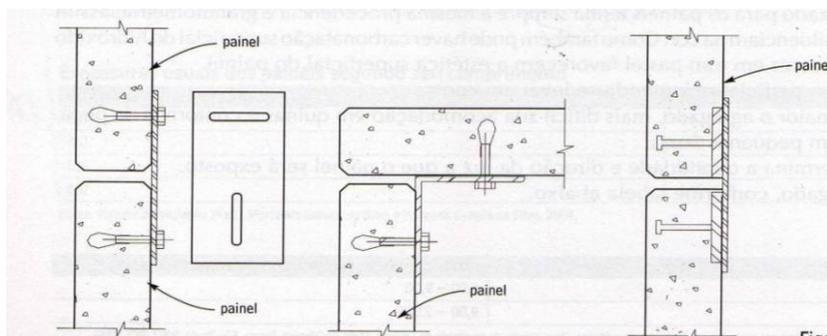


Figura 2.23: Fixação de alinhamento
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

2.2.3.2 Quanto às especificações

Na fase de elaboração dos projetos das fachadas, deve-se pensar em uma paginação ditada pelo uso de juntas entre os painéis arquitetônicos, podendo-se também fazer uso de juntas falsas incorporadas ao painel. A utilização de formas repetitivas faz com que projetos com formas complicadas se tornem economicamente viáveis, dada a sua flexibilidade em termos de dimensões e modulações, de maneira que se consegue obter as expressões estéticas desejadas.

De uma forma geral, o painel tem uma espessura média de 100 mm e suas dimensões são limitadas em função da altura da carga permitida no trajeto da fábrica ao canteiro de obra, além da limitação de peso, em média 300 kg por metro quadrado.

Devido à alta massa específica do concreto utilizado em sua fabricação, e dependendo da espessura, os painéis apresentam adequado desempenho acústico.

Quanto ao isolamento térmico, ficam condicionados ao habitual revestimento de *dry wall*, geralmente executado pelo lado interno. Isso reduz a carga térmica dentro do edifício, trazendo vantagens ao sistema de ar condicionado.

Quanto à estanqueidade, outra das ações que torna o sistema eficiente é a vedação das juntas entre painéis, necessária para evitar a entrada de água no edifício. Além destas, quando o painel é revestido de mármore ou granito, recomenda-se também a vedação das juntas entre as placas de rocha, a fim de evitar eventuais processos de carbonatação.

A durabilidade dos painéis minimiza os custos decorrentes de patologias, o que pode comprometer a imagem do construtor e incorporador junto ao mercado. Porém, é necessária atenção quanto à manutenção do sistema, pois a substituição de uma ou mais placas de rocha não é uma tarefa simples. É necessário que a placa seja quebrada e retirada, a superfície preparada, os ganchos devem ser colocados pelo tardo e, só então, deve-se efetuar a colagem. Essa operação demanda tempo.

Os painéis são fixados às estruturas (de concreto ou de aço) por meio de insertos metálicos embutidos (chapas, tubos, peças especiais de montagem). Esses sistemas são especificamente desenvolvidos para cada obra, levando-se em consideração as especificidades das estruturas e distribuição das cargas.

A equipe de engenharia do fabricante desenvolve os tipos de fixação adequados à montagem e segurança do sistema. Normalmente utiliza-se insertos de aço SAC-41, que apresenta maior resistência à corrosão. Além disso, os insertos são submetidos a galvanizações a quente e a frio, deixando os sistemas de fixação devidamente protegidos em função da elevada expectativa de vida intrínseca ao produto.

Quanto aos acabamentos, podem ser feitos por meio da adição de pigmentos inorgânicos e estáveis, bem como pela utilização de agregados coloridos, ou ainda serem revestidos com pedras naturais: mármore e granito. As pedras são incorporadas aos painéis durante o processo produtivo.

As placas de granito são montadas uma a uma nos painéis que, posteriormente, são colocados na fachada, tornando as peças extremamente pesadas, o que dificulta o controle de prumo e alinhamento. Esse sistema não é totalmente eficiente, pois o ajuste dimensional não é tão fino.

Os painéis de concreto maciço são fixados à estrutura por meio de um sistema mecânico baseado em solda. As placas de granito medem cerca de 30 mm de espessura e são fixadas no concreto por meio de grampos especiais de aço inox. Os materiais são separados por uma lona transparente e impermeável. Os painéis arquitetônicos pré-fabricados são produzidos com concreto de 35 MPa.

No momento da concretagem das lajes, suportes metálicos são devidamente posicionados, servindo de apoio e engastamento para os painéis que chegam prontos da fábrica. Os suportes metálicos deverão receber tratamento anticorrosivo.

Os inibidores de corrosão são substâncias que atuam sobre as superfícies metálicas dificultando as reações anódicas e/ou catódicas. Os inibidores anódicos formam uma película de óxido de ferro (Fe_2O_3) que passiva as armaduras, criando uma barreira à corrosão do metal. Os inibidores anódicos mais frequentemente utilizados são o nitrito (NO_2Na) e o cromato (CrO_4K_2) (BARTH e VEFAGO, 2007).

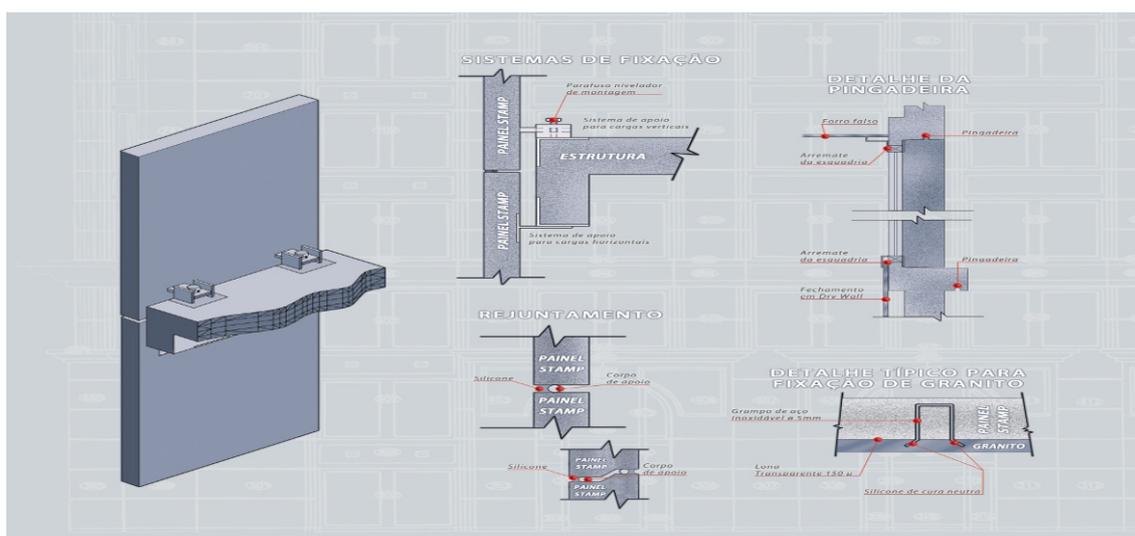


Figura 2.24: Detalhe de fixação dos painéis pré-moldados na estrutura da edificação
Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

Os dispositivos de fixação da rocha no painel devem ser de aço inox 304. Para cada tipo de rocha deve ser considerado um coeficiente de segurança que varia de dois a três. A fixação do dispositivo na rocha deve ser feito com furos inclinados a 30°, no tardo da placa.

A espessura padrão para revestimentos em fachadas é de 3,0 cm. A lona transparente impede o contato entre a rocha e o concreto, evitando assim o surgimento de manchas indesejáveis (Figura 2.31).

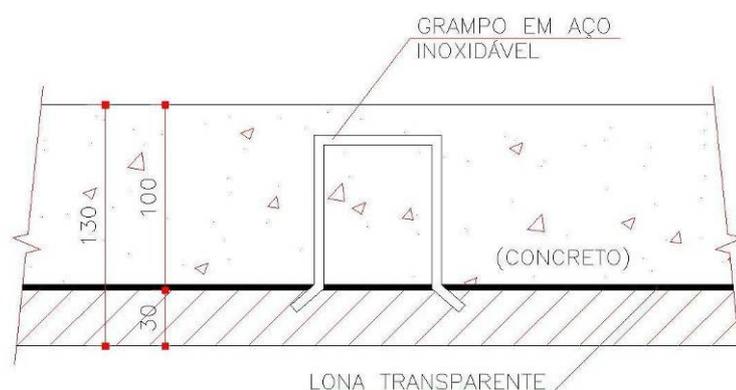


Figura 2.25: Detalhe da ancoragem de fixação do granito no painel pré-moldado de concreto
Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

O afastamento entre o substrato e a face acabada da rocha é de 18 cm. O peitoril e o fundo de viga são concretados juntamente com as placas frontais. As ancoragens de fixação dos painéis devem ser em aço A-36 ou SAC 41, tratados com pintura epóxi (Figura 2.27).

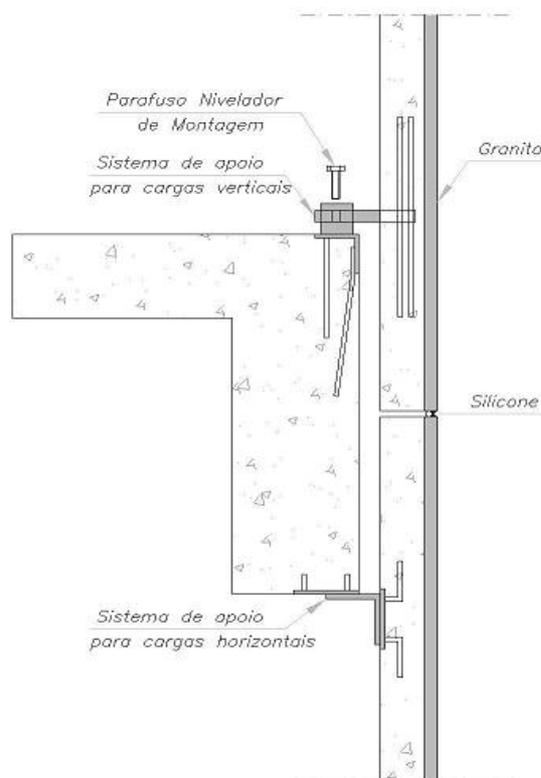


Figura 2.26: Detalhe da ancoragem de fixação do painel pré-moldado de concreto na estrutura (laje e fundo de viga). Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

O controle sobre o alinhamento e a espessura das juntas entre as placas de rocha, no mesmo painel, apresentam qualidade adequada, uma vez que a produção acontece na fábrica. Entretanto, este controle sobre as juntas entre painéis fica prejudicado pelo peso das peças, das grandes dimensões, o que impossibilita qualquer tipo de ajuste fino.

O Quadro 2.4 apresenta algumas particularidades do sistema quanto a nove itens importantes que caracterizam as vantagens e desvantagens do sistema.

Quadro 2.5: Itens que caracterizam o sistema pré-moldado de concreto
Fonte: Adaptação do quadro da DGG – Assessoria Ltda. (2008)

Item	Característica
Montagem	Realizada em grupos de 3 a 4 placas por vez
Substrato	Concreto
Carga adicional na estrutura	Concreto + alvenaria + <i>dry wall</i> (~250 kg/m ²) Rocha + concreto + alvenaria + <i>dry wall</i> (~300 kg/m ²)
Acabamento	Variações substanciais na largura das juntas entre painéis no mesmo plano e em planos diferentes
Vedação das juntas	É obrigatória
Velocidade de montagem	Alta
Substituição de placas após conclusão dos serviços	Este tipo de operação é muito complicado e agrega desvantagem ao sistema
Equipamento de movimentação na obra	Existe a necessidade de utilização de grua em devido ao peso final da placa
Interferência com os serviços internos da obra	É grande, pois é necessário que a fachada esteja finalizada para que possam ser executados os serviços internos, que necessitam de cobertura e nivelamento, entre outros

Uma das vantagens mais citadas do sistema é a velocidade de montagem da fachada, já que os painéis são produzidos na fábrica e já chegam na ordem de colocação na obra. Entretanto, isso exige um efetivo planejamento da produção, pois caso aconteça algum problema que altere a frente de operação, será necessário mudar toda a programação de produção dos painéis na fábrica.

Quanto à interferência com os serviços internos, o edifício fica praticamente aberto; assim, poucos serviços podem ser executados antes do término da fachada. Isso não é problema para os serviços de instalações, uma vez que os serviços de acabamento ficam paralisados até a colocação final dos painéis.

Segundo o manual do fabricante de painéis de concreto (manual de instalação de uma empresa fornecedora do sistema), quanto à interface com os caixilhos, os painéis deverão ser executados com folgas em relação às medidas dos caixilhos

que constam em projetos. Uma medida segura consiste na fabricação dos caixilhos após a instalação dos painéis, para que possa ter certeza do vão luz. Porém, ela não favorece o cronograma da obra. Para otimização do tempo, as folgas dos painéis deverão ser controladas tanto no processo de fabricação quanto no de instalação. É recomendável que as juntas entre painéis sejam posicionadas em regiões diferentes das de onde estão as juntas entre os caixilhos.

Segundo o mesmo manual, as folgas entre o painel e a estrutura moldada “*in loco*” deverá ser de 35 mm (em planta), e para estruturas pré-fabricadas deverá variar entre 10 e 20 mm. O vazio resultante entre a fachada e a laje, característico deste sistema, deverá ser preenchido com material incombustível e resistente ao fogo (*fire stop*), como por exemplo, a aplicação de painéis de lã de rocha, fixados à laje com suportes em aço galvanizado, garantindo, assim, a estabilidade da selagem mesmo após eventual falência da fachada. Acima da lã de rocha, aplica-se uma argamassa isolante para evitar a passagem de gases quentes.



Figura 2.27: Fachada em sistema pré-moldado de concreto. Hotel Hyatt, São Paulo
Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

De acordo com a ABNT NBR 9062: 2006, os desenhos de execução devem apresentar as dimensões e posições dos elementos pré-moldados, assim como das armaduras, insertos, furos, saliências e aberturas projetadas. Os desenhos devem ser elaborados com vistas à produção e montagem da estrutura, facilidade do controle de execução, além de conter referências, quando for o caso, a outros desenhos relacionados. No caso de alteração de um desenho, todos os outros

desenhos devem ser devidamente corrigidos, mantendo-se, assim, o registro das modificações.

A norma dispõe ainda que os desenhos devem conter as seguintes informações:

- O tipo de concreto e a resistência prevista FCK.
- A resistência do concreto, exigida para manuseio e transporte.
- Os tipos de aços com suas dimensões, bitola, quantidades, formas, detalhes de soldas e das emendas.
- O cobrimento da armadura e dos insertos em todas as faces.
- As tolerâncias dimensionais.
- Os tratamentos superficiais adicionais para atender as classes de maior agressividade do ambiente.
- Todos os cuidados necessários ao transporte devem ser especificados, a montagem e eventual solidarização, de modo a garantir a segurança da estrutura.
- O detalhamento do sistema de içamento adotado.

2.2.3.3 Quanto à normatização

Os painéis de concreto pré-fabricados para fachadas seguem as regulamentações gerais da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) para estruturas de concreto pré-moldado, e as normas específicas do *Prestressed Concrete Institute* (PCI), além dos parâmetros internacionais.

“No projeto de estruturas compostas de elementos pré-moldados, é necessário estabelecer folgas e tolerâncias e dimensionar os elementos e as ligações levando-se em conta os desvios de produção, de locação, de verticalidade da obra e de montagem dos elementos. De acordo com as definições, o ajuste é igual à tolerância global somada com as variações inerentes e a folga. A partir do ajuste são determinadas as dimensões nominais de fabricação.” (ABNT NBR 9062:2006)

Quanto à fabricação, a tolerância dos elementos pré-moldados deve estar de acordo com a classificação da tabela da ABNT NBR 9062:2006. A Tabela 2.1 demonstra as tolerâncias de fabricação para painéis pré-moldados.

Tabela 2.1: Tabela de tolerâncias exigidas pela NBR9062 (2006). Trecho da tabela de tolerâncias de fabricação para elementos pré-moldados no que diz respeito a painéis
Fonte: ABNT NBR 9062:2006

Grupo de elementos pré-moldados	Seção ou dimensão	Tolerância	
Painéis e tolerâncias em placas	Comprimento	$L \leq 5 \text{ m}$	+ ou – 10 mm
		$5\text{m} < L \leq 10 \text{ m}$	+ ou – 15 mm
		$L > 10 \text{ m}$	+ ou – 20 mm
	Espessura		-5 mm + 10 mm
	Planicidade	$L \leq 5 \text{ m}$	+ ou – 3 mm
		$L > 5 \text{ m}$	+ ou – L/1000
	Distorção	Largura ou altura $< \text{ou} = 1 \text{ m}$	+ ou – 3 mm a cada 30 cm
		Largura ou altura $> 1 \text{ m}$	+ ou – 10 mm
	Linearidade		+ ou – L/1000
	Onde L é o comprimento do elemento pré-moldado		

Além disso, devem ser respeitadas durante a fabricação as seguintes tolerâncias:

- Posicionamento individual do cabo de protensão: + ou – 10 mm.
- Posicionamento do centro resultante da protensão: + ou – 5 mm.
- Locação de insertos concretados na peça: + ou – 15 mm.

Quanto às ligações de painéis com a estrutura, a ABNT NBR 9062:2006 coloca que:

- Quando não houver a possibilidade de inspeção e manutenção da ligação dos painéis entre si e com a estrutura, no caso de ligações através de dispositivos metálicos, deve-se utilizar aço inoxidável.
- A utilização de elementos metálicos nos painéis deve seguir o critério de ancoragem da ABNT NBR 6118¹⁵, sendo obrigatória a proteção contra corrosão.

2.2.4 Sistema de fixação metálico (placas de rocha)

O desenvolvimento de um projeto bem elaborado é importante para garantir um processo de produção definido e racionalizado, evitando improvisos nos canteiros de obra e facilitando a coordenação dos executores.

Grande parte do desempenho, segurança e eficiência das rochas está relacionada à correta especificação do revestimento e de sua forma de instalação.

Os sistemas de revestimento não aderido de fachada são caracterizados por não estarem integrados à vedação. Nesse aspecto, podem-se citar três deles já introduzidos no Brasil: o sistema de fixação metálico ou sistema americano, as fachadas em pré-moldados de concreto e as cortinas de vidro, sendo que os dois últimos já foram descritos neste capítulo. Estes três sistemas têm funções de vedação e revestimento, além de eliminarem patologias comuns dos revestimentos aderidos. As fachadas de revestimentos não aderidos podem ser ventiladas ou não ventiladas.

O consultor em fachadas para sistemas não aderidos¹⁶ afirmou, em entrevista concedida à autora em 29 de março de 2009, que, atualmente, os revestimentos

¹⁵ NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto

externos em rochas ornamentais no Brasil são realizados, em sua quase totalidade, por meio do sistema de fixação metálico ou do sistema de painéis pré-moldados de concreto.

O primeiro sistema de revestimento não aderido foi introduzido no Brasil por Paulo Giafarov e Maurício Kogan em 1984, para a execução da fachada do Banco Safra no Rio de Janeiro. A ideia era solucionar as patologias frequentes em revestimentos de edifícios comerciais, cujos proprietários têm uma visão mais clara da avaliação do custo global da edificação, e não somente do seu custo inicial.

Em seguida, o sistema trazido, chamado sistema americano, foi utilizado em São Paulo, nas fachadas do Banco Safra e Citibank.



Figura 2.28: Fachada do Banco Citibank
Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

2.2.4.1 Definição

¹⁶ O profissional entrevistado é consultor de fachadas em sistema de fixação metálico, sistemas não aderidos e revestimentos em rochas.

Esse sistema comumente é composto por pedras naturais (principalmente granitos) e insertos metálicos, também chamados de dispositivos de fixação.

O sistema de fixação metálico consiste, basicamente, em suportes metálicos de formatos diversos, que têm a função de ancorar, mecanicamente, placas de rochas ornamentais nas fachadas das edificações (Figura 2.30).

A espessura média para revestimentos em fachadas, via de regra, é de 3 cm, feita por insertos metálicos que deverão vencer um afastamento nominal de 10 cm (Figura 2.31), podendo corrigir um desaprumo estimado de mais ou menos 2 cm, isto é, o afastamento poderá variar de 8 a 12 cm da parede da fachada. No caso da necessidade de correção de desvios superiores ao estimado, serão previstas peças metálicas especiais.



Figura 2.29: Foto do sistema de fixação metálico na alvenaria de vedação
Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

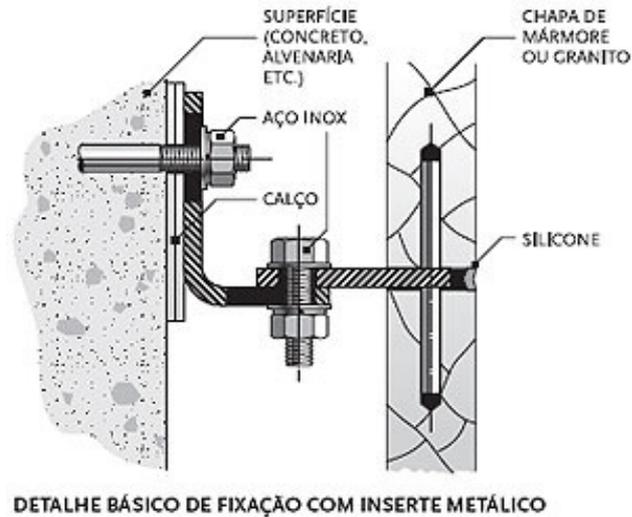


Figura 2.30: Detalhe básico de fixação com inserto metálico.
Fonte: DGG - Assessoria Ltda. (2008)

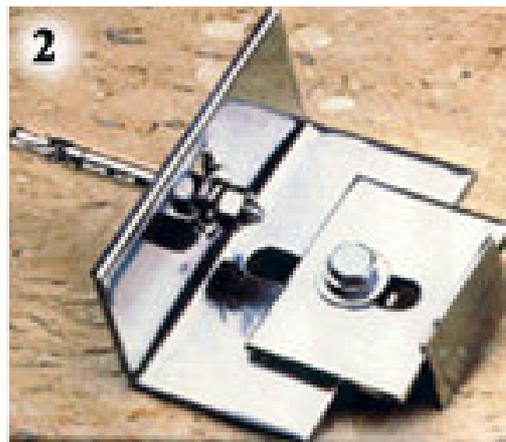


Figura 2.31: Foto dos insertos metálicos que são fixados à estrutura com chumbadores de expansão inoxidáveis. Fonte: Revista Técnica, Edição 92 (Novembro/2004)

Os dispositivos de fixação devem ser preferencialmente em aço inoxidável 304, devido a sua resistência e inalterabilidade. Para cada tipo de situação será considerado um coeficiente de segurança que varia de 3 a 4. A fixação do dispositivo no granito deve ser, preferencialmente, feita com furo na espessura da placa.

Os metais utilizados nos dispositivos de fixação variam de acordo com a atmosfera onde serão inseridos:

- Aço inoxidável (preferencialmente):

- Tipo ABNT 304: para atmosferas urbanas e industriais isentas de cloretos;
- Tipo ABNT 316: para atmosferas urbanas, marítimas e industriais que contenham cloretos.
- Aço carbono: pode ser usado, desde que esteja galvanizado conforme NBR 6323¹⁷, em peças intermediárias ou junto ao suporte. Não deverão ser utilizados em contato com a placa de rocha.
- Alumínio: deve-se utilizar liga 653-T6, 6061-T6 ou equivalente, em atmosferas marítimas e industriais.
- Cobre e suas ligas:
 - Cobre: deve ser utilizado apenas em grampos; em ambientes que contenham H₂S e amônia, o cobre deve ser evitado;
 - Latão: devem ser utilizadas ligas com teor de zinco inferior a 15%;
 - Bronze-alumínio: recomendado para atmosferas marítimas.

A associação de metais de diferentes naturezas deve ser evitada, pois há risco de corrosão galvânica.

Faz-se necessária a utilização de um substrato de concreto ou alvenaria estruturada, com resistência suficiente para suportar as cargas de vento atuantes na fachada. Recomenda-se o tratamento do substrato com produto impermeabilizante. As placas são montadas uma a uma na fachada, permitindo um melhor controle de prumos e alinhamentos, devido a um ajuste dimensional mais fino.

¹⁷ NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto

O peso a ser considerado para efeito de cálculo estrutural é da ordem de 100 kg/m² para a rocha e o sistema metálico juntos; além dessa carga, a estrutura deverá suportar o peso da alvenaria estruturada com o devido revestimento interno.

Quanto às juntas, recomenda-se a aplicação do primer em suas faces laterais com o objetivo de melhorar a aderência do selante, que deverá ser aplicado antes da secagem completa do primer.

A aplicação do selante deverá ser feita conforme especificações do projeto e recomendações do fabricante.

A posição das placas deve manter os espaçamentos também especificados em projeto.

Segundo o consultor em revestimentos não aderidos , em entrevista concedida em 29 de março de 2009, a vedação das juntas entre as placas de rocha é opcional, dependendo da “vontade estética” do projetista. A não vedação das juntas, aliada a um cuidadoso projeto de caixilho, não cria problemas de estanqueidade no edifício.

A montagem da fachada tem um prazo de execução otimizado para edifícios altos com a instalação de um balancim intermediário, possibilitando trabalhos concomitantes com a realização dos serviços nos andares superiores. Outro fator importante é a versatilidade na execução da obra, ou seja, em caso de problemas por parte da obra ou do fornecedor, pode-se alterar, rapidamente, a frente de operação.

Caso necessário, em decorrência de qualquer tipo de não conformidade, a troca de uma ou mais placas de rocha é uma tarefa bastante simples e rápida. Basta “cortar” a ancoragem de travamento, retirar a placa, substituí-la e reinstalá-la utilizando um inserto desenvolvido para tal finalidade.

A instalação das placas não necessita de nenhum tipo de equipamento especial. A descarga do material pode ou não ser feita por meio da grua, e o transporte dentro da obra pode ser realizado com carrinhos porta *pallets* e guincho de cremalheira.

Grande parte dos serviços internos da obra pode ser realizada independentemente da conclusão da fachada. A execução de pisos, paredes, forros, etc., não têm seus andamentos prejudicados.

Um item extremamente importante neste sistema é a escolha do acabamento final, a rocha. Sua escolha é feita levando-se em consideração o aspecto estético, o custo e o desempenho do material. Hoje já são utilizadas no Brasil as pedras naturais – principalmente os granitos – e as cerâmicas.

Segundo Khoury (2002), a pedra é um produto natural classificado nos seguintes tipos:

- Granito: resistente e uniforme, mais adequado para aplicação exterior e revestimento de paredes.
- *Limestone* (calcário): apesar da presença do calcário, é resistente e pode ser usada na fachada-cortina; porém, com maior espessura que o granito.
- *Sandstone* (arenito): apesar da presença do arenito, é resistente e pode ser usada para exteriores; porém, raramente é usada em fachada-cortina.
- Mármore: fraco, não recomendado para aplicação em paredes externas. Os granitos são os mais utilizados devido à: durabilidade, facilidade de manutenção e aspecto estético nobre. A Figura 2.33 refere-se ao diagrama de escolha do revestimento.



Figura 2.32: Diagrama básico de escolha do subsistema de revestimento
Fonte: DGG – Assessoria Ltda. (2008)

Os acabamentos dos granitos poderão variar entre: polido, levigado, flameado, jateado, apicoado e serrado.

De acordo com a definição de Frascá (2004):

“Polido é o acabamento plano, liso, normalmente lustroso, produzido por abrasão mecânica e polimento; Levigado é o plano não reflexivo, produzido por abrasão mecânica; Flameado é o acabamento realizado após rápida exposição do material a uma chama em alta temperatura, resultando em uma superfície rugosa e mais rústica; Jateado é o que recebe um jato de partículas abrasivas gerando uma superfície finamente rugosa; Apicoado é o acabamento obtido por meio de um martelo pneumático com cabeça em martelo e numerosas pontas, resultando em uma superfície rugosa com relevo de vários milímetros.”

No estudo da paginação do granito devem ser consideradas as dimensões das placas – para a obtenção do melhor aproveitamento possível – e o desenho dos veios.

O conhecimento dos itens abaixo é de fundamental importância para a escolha da rocha e o sistema de fixação mais adequado:

- Acabamentos;
- Dimensões das chapas;

- Sistemas de fixação.

A escolha do tipo da rocha é um dos pontos mais importantes, sendo fundamental o conhecimento de suas características e propriedades. São necessários análises e ensaios laboratoriais, em geral disponibilizados pelos fornecedores para detectar a densidade aparente do material, o coeficiente de dilatação térmica e a resistência à flexão, indicador de sua resistência a movimentos induzidos pelos ventos. As propriedades térmicas determinam as dimensões das juntas, enquanto a resistência à flexão define as dimensões – largura, altura e espessura – das placas.

Segundo Flain (1995): “Por ser um produto natural, há uma grande variedade da tonalidade e padrões das pedras, e isso merece cuidado para não comprometer o aspecto estético da fachada”.

Outro fator importante são as taxas de absorção de água aparente e por capilaridade. Para aplicação em fachadas, devido à exposição às intempéries, as pedras com menor porosidade são mais recomendadas.

A utilização dessa técnica cria um colchão de ar que auxilia o isolamento termoacústico, melhorando o conforto interno e permitindo a secagem rápida das placas em caso de chuvas, evitando manchas e eflorescência.

Ainda de acordo com Flain (1995), “nos últimos anos, houve um aprimoramento considerável do uso dos insertos, graças ao maior conhecimento técnico do sistema”. Essas melhorias focam principalmente a diminuição de peso do conjunto, a maior eficiência energética das fachadas, a ampliação da durabilidade, além da diminuição de custos.

2.2.4.2 Quanto às especificações

No momento da especificação deverão ser considerados os seguintes itens:

- Características específicas do projeto;
- Dimensões e tolerâncias das placas de rocha;
- Tipo de rocha, acabamento, tonalidade e variações estéticas admissíveis;
- Estanqueidade à água e a selantes;
- Cargas atuantes, incluindo as de vento e condições atmosféricas para definição do tipo (características físicas e mecânicas, como resistências à flexão, à compressão, as variações devidas à temperatura e absorção de água, etc.), das dimensões e da espessura das placas de rocha;
- Sistemas de fixação definidos em função das cargas atuantes e agressividade atmosférica;
- Durabilidade natural (às intempéries) e resistência aos agentes de limpeza das placas de rocha e fixadores;
- Recebimento em obra e armazenamento;
- Controle do serviço (inspeção);
- Quantidade de placas para avaliação da disponibilidade e capacidade de atendimento para o mesmo tipo de rocha, mantendo-se a estética.

As especificações dos produtos, assim como os dados do projeto, devem atender às necessidades da produção. Para isso, o projeto deve contemplar:

- Especificações das placas de rocha, dos dispositivos de fixação, das telas, das argamassas, dos rejuntas, dos acessórios, selantes e produtos de limpeza;
- Projeto arquitetônico;

- Projeto da fachada;
- Vistas das fachadas a serem revestidas, com a distribuição das placas e a posição dos dispositivos de fixação, ou dos chumbadores das telas e sua distribuição, no caso de assentamento com argamassa;
- Especificação das placas de rocha – incluindo defeitos e diferenças de cor e texturas aceitáveis;
- Detalhes típicos de singularidades presentes nas fachadas e das interfaces das fachadas com outros componentes construtivos, incluindo juntas entre as placas cerâmicas e as juntas de movimentação;
- Detalhes construtivos dos encaixes, ranhuras e furos das placas cerâmicas, componentes metálicos, fixações ao suporte, entre outros;
- Tolerância máxima permitida para desvios de prumo e planicidade do revestimento com placa de rocha;
- Roteiro e periodicidade para realização de inspeções na fase de uso e manutenção, abrangendo os estados das placas de rocha, dos selantes, os indícios de corrosão dos componentes metálicos, com recomendações de manutenção para garantia da vida útil de projeto;
- Quantificação de todos os componentes, inclusive acessórios;
- Sequência executiva;
- Acabamentos;
- Especificação de limpeza.

Segundo Flain (1995), o desempenho do revestimento de granito depende de uma especificação apoiada em um projeto de revestimentos que contenha:

- Vista frontal dos suportes com a distribuição (paginação) das placas e a posição dos componentes de fixação em escala adequada.
- Detalhes construtivos dos encaixes, ranhuras e furos das placas, componentes metálicos, juntas de dilatação e fixações ao suporte, entre outros.
- Memorial descritivo contendo as especificações dos materiais e serviços, apresentando a tolerância máxima permitida para desvios de prumo e planicidade do revestimento com placas e as exigidas para os suportes. Também devem constar do memorial roteiro e periodicidade para a realização de inspeções, abrangendo o estado dos selantes e os indícios de corrosão dos componentes metálicos.

O Quadro 2.5 apresenta algumas particularidades do sistema quanto a nove itens importantes que caracterizam as vantagens e desvantagens do sistema.

Quadro 2.6: Itens que caracterizam o sistema
Fonte: Adaptação da tabela da DGG – Assessoria Ltda.

Item	Característica
Montagem	Realizada individualmente
Substrato	Concreto ou alvenaria
Carga adicional na estrutura	Rocha + alvenaria (~100 kg/m ²)
Acabamento	Bom alinhamento das juntas entre placas no mesmo plano e em planos diferentes
Vedação das juntas	É opcional
Velocidade de montagem	Média
Substituição de placas após conclusão dos serviços	Este tipo de operação é simples
Equipamento de movimentação na obra	A necessidade de utilização de grua é opcional, pode ser utilizado apenas o guindaste
Interferência com os serviços internos da obra	É pequena, pois, na ocasião da colocação das placas de rochas nas fachadas, estas já estão fechadas com a alvenaria de vedação, o que significa que os serviços internos podem ser executados

2.2.4.3 Quanto à normatização

O processo de implantação do sistema americano no Brasil culminou com a criação de sete normas brasileiras que tratavam de revestimentos em rocha. Recentemente estas normas foram canceladas e substituídas por uma única, a ABNT NBR 15845:2010¹⁸ – Rochas para revestimento – Métodos de ensaio.

As duas normas que tratavam do projeto de revestimentos também foram substituídas pela ABNT NBR 15846:2010¹⁹ – Rochas para revestimento – Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos.

Além das normas brasileiras o sistema atende as recomendações das normas internacionais:

- ASTM, BSI e UE (mais completas).
- DIN 18516 – Instruções de instalação.

Tanto as normas brasileiras quanto as internacionais tratam dos mesmos pontos, contemplando apenas as especificidades de cada país.

Há ainda o manual internacional *MIA – Design Manual and Stone Wall Cladding Manual*, e o relatório de boas práticas *BSI – Recommended Practices for Use of Natural Stone*.

A Norma ABNT NBR 15846:2010 recomenda que, além dos aspectos estéticos, a especificação do tipo de rocha, do acabamento (superfície polida, apicoada, flameada, etc.) e das dimensões das placas, deve-se considerar também as

¹⁸ **NBR 15845:** Rochas para revestimento – Métodos de ensaio

¹⁹ **NBR 15446:** Painéis de chapas sólidas de alumínio e painéis de material composto de alumínio utilizados em fachadas e revestimentos arquitetônicos

características físicas e mecânicas da rocha, como resistência à flexão, à compressão, absorção de água, porosidade, variação dimensional, e as características petrográficas que influenciam na qualidade da rocha, quando expostas a intempérie e à ação de produtos químicos empregados na limpeza da fachada.

A espessura da placa é determinada em função de suas dimensões, das características mecânicas da rocha, do sistema de fixação empregado e das cargas atuantes, de forma analítica ou por meio de ensaios das placas e dos dispositivos.

2.2.5 Painéis de alumínio

2.2.5.1 Definição

Os painéis compostos de alumínio – denominados ACM (*aluminium composite material*), foram criados na Alemanha em 1965 pela empresa *Alusuisse Composites*. Em 2000, a empresa Alcan incorporou a *Alusuisse* e a transformou em um departamento destinado ao revestimento de fachadas.

O ACM pode ser utilizado com o objetivo de redução de custos com manutenção, pois protege a parede externa da poluição e das intempéries. Além disso, a face externa do ACM bloqueia as radiações solares e forma uma câmara de ar entre o painel e a parede do edifício. Nos sistemas de fachada ventilada, as paredes ficam protegidas das trocas bruscas de temperatura, reduzindo dilatações térmicas e impedindo riscos de fissuras.

O baixo peso proporciona a redução de cargas aplicadas na estrutura da obra, diminuindo as seções de vigas, pilares e fundações.

Sua estrutura de fixação também é leve, diminuindo a sobrecarga nas estruturas de apoio.

Segundo Oliveira (2009), as placas metálicas podem ser formadas por placas únicas ou compostas. As placas únicas são compostas por uma única placa de aço, revestida de Al-Zn (alumínio e zinco) pré-pintado com resina a base de poliéster e mais um filme protetor nas faces externas; as faces internas também recebem uma pintura protetora. As placas compostas (painel sanduíche) são constituídas por duas chapas metálicas, geralmente de alumínio, solidarizadas a um núcleo central de material termoplástico, como o polietileno (PF), poliestireno (extrudado – XPS, expandido – EPS) ou poliuretano (PUR), ou de lã mineral.

Segundo Oliveira (2009), o núcleo central das placas compostas pode ser colado, aderente ou injetado. Os núcleos termoplásticos apresentam características diferentes entre si. Por exemplo, o poliuretano e o polietileno apresentam boa resistência ao fogo, e o poliestireno (EPS ou XPS) é autoextinguível em contato com o fogo (DAVIES, 1997 *apud* OLIVEIRA, 2009).

De acordo com a conclusão desse autor, quando o projeto exige alta resistência ao fogo, o núcleo das placas metálicas compostas deve ser em lã mineral; porém, este material apresenta problemas com relação à durabilidade (degradação das lãs pela combinação de elevadas temperaturas e umidades).

Quanto ao isolamento térmico, o material mais recomendável é o poliuretano.

Observa-se a necessidade de selar as juntas entre painéis quando se utiliza o miolo em poliestireno, evitando que o fogo se espalhe entre o miolo da placa composta.

Os painéis deverão ser protegidos com filme adesivo de PVC ou polietileno, para resistência aos raios ultravioleta.

Quanto ao dimensionamento estrutural, os painéis devem ter suas dimensões calculadas de maneira a resistirem aos esforços de vento (conforme ABNT NBR

6123:1990²⁰), peso próprio, cargas originadas por variação de temperatura e demais cargas aplicadas. Não só os painéis devem ser calculados, mas também os componentes de reforço, a subestrutura de instalação e as ancoragens.

A fixação dos painéis pode se dar de quatro formas diferentes, mas em todas elas é necessário prender na parede um tubo de alumínio onde os perfis que receberão os painéis serão fixados. Abaixo os quatro tipos de fixação utilizados para os painéis:

- **Aparafusado:** os suportes são aparafusados na parede do edifício (diretamente na fachada), criando, desta forma, uma distância entre o painel e a parede, a qual permite a correção de irregularidades na superfície e protege a parede da ação direta dos raios solares (Figura 2.34).

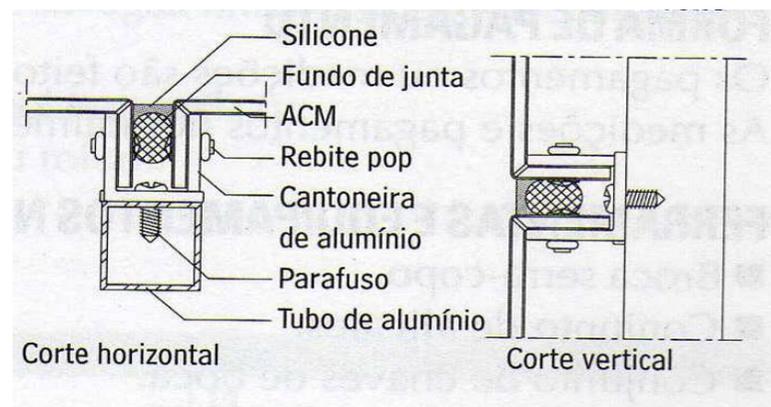


Figura 2.33: Sistema aparafusado – Junta selada com silicone
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

- **Enganchado ou pinado:** os painéis são fixados na estrutura do perfil com pinos. A desvantagem é que, no caso de manutenção dos painéis ou componentes, será necessário retirar vários painéis (Figura 2.35).

²⁰ NBR 6123 Forças devidas ao vento em edificações

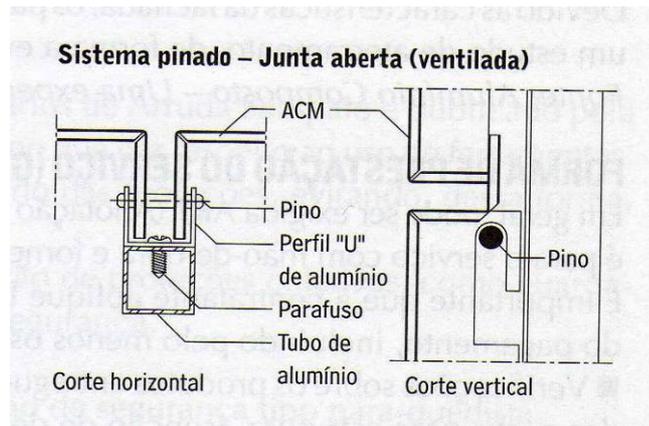


Figura 2.34: Sistema pinado – Junta aberta (ventilada)
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

- Clicado: são encaixados frontalmente a uma presilha por meio de elemento de pressão e encaixe entre as peças; as presilhas são pré-fixadas na estrutura antes do encaixe dos painéis, conforme Figura 2.36.

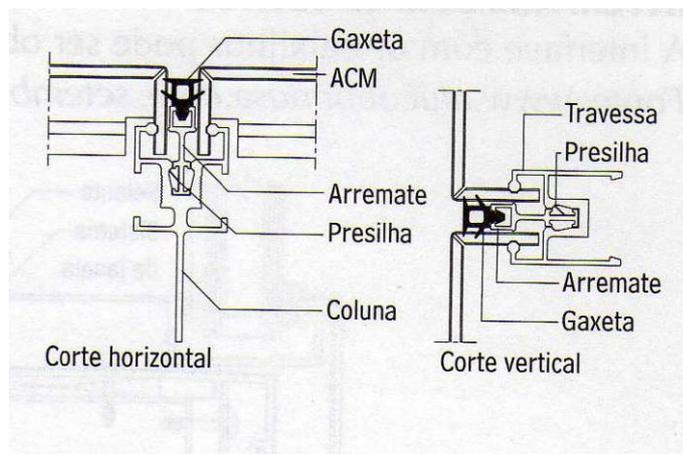


Figura 2.35: Sistema clicado – Junta selada com gaxeta
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

- Colado: os painéis são colados aos perfis com silicone ou fita adesiva dupla face (Figura 2.37).

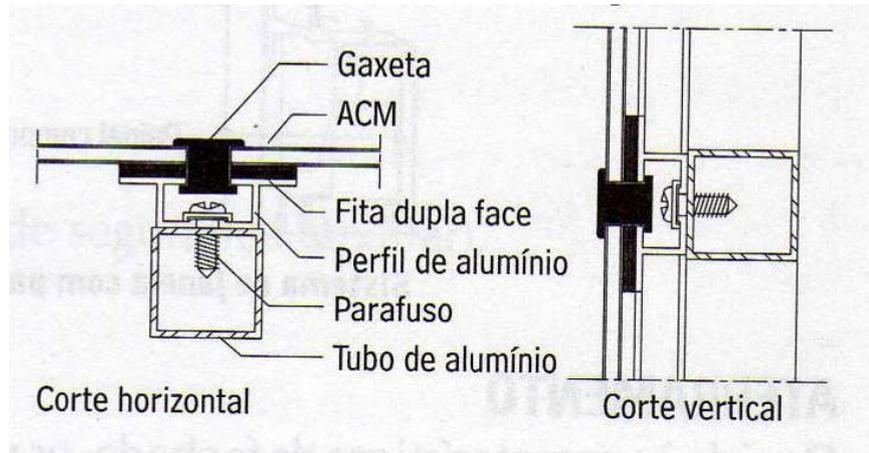


Figura 2.36: Sistema colado – Junta selada com gaxeta
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

As juntas podem ser:

- Fechadas ou secas: preenchidas com silicone neutro ou gaxetas, pois o silicone acético pode reagir com o material do núcleo dos painéis compostos.
- Abertas: neste caso, é necessária a impermeabilização da alvenaria, pois haverá circulação de água entre os painéis e a parede.

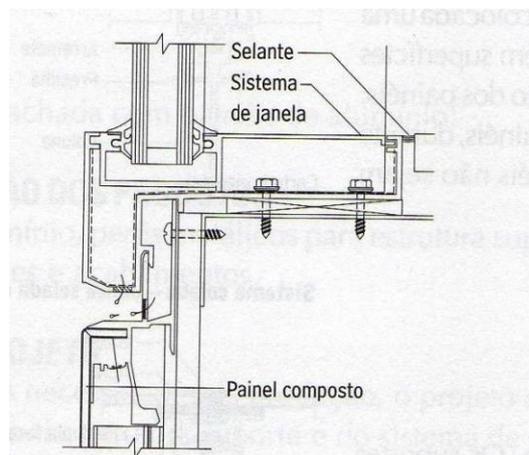


Figura 2.37: Interface com caixilhos – Sistema de janela com painel inferior
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

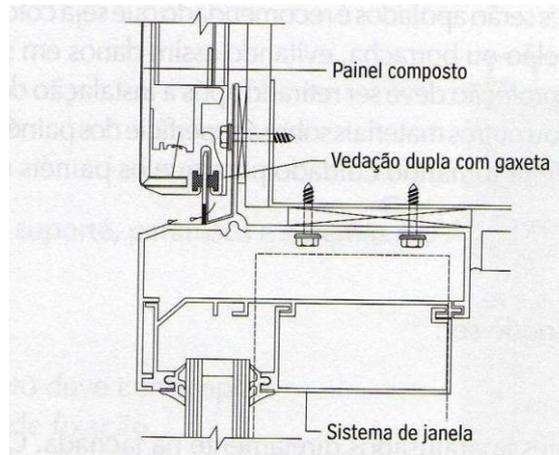


Figura 2.38: Interface com caixilhos – Sistema de janela com painel superior
Fonte: ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES (2008)

2.2.5.2 Quanto às especificações

No projeto de fabricação e montagem desenvolvido pelo fornecedor/instalador do sistema para aplicação das placas, deverá constar algumas características específicas do projeto:

- Desempenho e durabilidade;
- Dimensões e tolerâncias;
- Fixação e tipos de fixadores (segurança e durabilidade);
- Especificação e detalhamento das juntas entre painéis;
- Modulação;
- Recebimento e armazenamento;
- Resistência às cargas de vento;

- Especificação dos tipos de painéis, de suas dimensões e acabamentos;
- Especificação, projeto e detalhes construtivos da estrutura de suporte e do sistema de fixação;
- Paginação das fachadas;
- Detalhes de cortes de painéis;
- Detalhes construtivos das interfaces dos painéis com a estrutura, as paredes de vedação, caixilhos e outros componentes e equipamentos da fachada;
- Especificação das juntas e selantes;
- Quantificação dos materiais, componentes e acessórios;
- Procedimentos de instalação, proteção e limpeza.

Quanto ao acabamento superficial, temos as seguintes opções para a chapa sólida:

- Pintura;
- Anodização;
- Pintura contínua da chapa ou líquida em *spray* a base de PVDF, poliéster ou poliamida;
- Pintura eletrostática a pó de poliéster.

E as seguintes opções para o painel composto:

- Pintura;

- Anodização;
- Pintura contínua da chapa a base de PVDF, fluoropolímero duroplástico ou poliéster.

A construtora deverá contratar uma empresa especializada para a instalação dos painéis, disponibilizar local para estocagem e equipamentos para transporte vertical. Cabe à construtora o planejamento das etapas de construção e, ao projeto, a solução das interfaces, para que estas não sejam decididas no canteiro de obras, gerando problemas após a instalação dos painéis.

Os painéis compostos deverão ser produzidos por processo de laminação contínua, sendo desaconselhável a colagem de chapas de alumínio com material termoplástico em obra.

2.2.5.3 Quanto à normatização

De acordo com a ABNT NBR 15446:2006²¹ – Painéis de chapas sólidas de alumínio e painéis de material composto de alumínio utilizados em fachadas e revestimentos arquitetônicos – Requisitos, os painéis de alumínio podem ser formados por chapas de alumínio ligadas ou não por um núcleo de material termoplástico extrudado.

Existem dois tipos de painéis de alumínio para fachadas:

- Painel de chapa sólida: no qual se utiliza apenas uma chapa sólida de alumínio;
- Painel composto: no qual se utilizam duas chapas sólidas de alumínio e um núcleo de material termoplástico extrudado.

Segundo a ABNT NBR 15446:2006, as dimensões dos painéis de chapa sólida devem ter espessura entre 1,5 mm e 2 mm para aplicações externas, e entre 0,8 mm e 2 mm para aplicações internas, enquanto que, para os painéis de chapa composto, a espessura varia de 0,3 mm quando aplicadas internamente, a 0,5 mm, quando aplicadas externamente.

Quanto às tolerâncias dimensionais para os painéis compostos, o livro (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008) apresenta a Tabela 2.2.

²¹ **NBR 15446:** Painéis de chapas sólidas de alumínio e painéis de material composto de alumínio utilizados em fachadas e revestimentos arquitetônicos

Tabela 2.2: Tolerâncias admitidas pela ABNT NBR 15446:2006 para painéis compostos
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

Espessura nominal (mm)	Tolerâncias (mm)			
	Espessura	Largura	Comprimento	Esquadro
2	+ ou - 0,2	0 + 5	0 + 9,5	Desvio máximo de 6 mm
3	+ ou - 0,2	0 + 5	0 + 9,5	
4	+ ou - 0,2	0 + 5	0 + 9,5	
6	+ ou - 0,2	0 + 5	0 + 9,5	

Quanto às tolerâncias dimensionais para os painéis de chapas sólidas, ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES (2008) apresenta a Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Tolerâncias admitidas pela NBR 15446 (2006) para painéis de chapas sólidas
Fonte: (ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EDIFICAÇÕES, 2008)

Espessura nominal (mm)	Tolerâncias na espessura de acordo com a largura nominal "L" (mm)			
	L ≤ 1.000		1.000 < L ≤ 1.500	
0,8 < e ≤ 1	+ ou - 0,05		+ ou - 0,08	
1,00 < e ≤ 1,20	+ ou - 0,06		+ ou - 0,09	
1,20 < e ≤ 1,60	+ ou - 0,08		+ ou - 0,09	
1,60 < e ≤ 2,00	+ ou - 0,09		+ ou - 0,10	
Espessura nominal (mm)	Tolerâncias de acordo com a largura nominal "L" (mm)			
	L ≤ 150	150 < L ≤ 250	250 < L ≤ 1000	1000 < L ≤ 1500
0,08 < e ≤ 2,00	+ ou - 0,25	+ ou - 0,50	+ ou - 1,0	+ ou - 1,5
Espessura nominal (mm)	Tolerâncias de acordo com o comprimento nominal "C" (mm)			
	C ≤ 1000	1000 < C ≤ 2000	2000 < C ≤ 4000	4000 < C ≤ 5000
0,08 < e ≤ 2,00	+ ou - 0,25	+ ou - 0,50	+ ou - 1,0	+ ou - 1,5

Quanto à durabilidade, vida útil e garantias, deve-se atender a ABNT NBR 15575:2010²².

²² NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho

2.2.6 Fachada ventilada (Rain Screen System)

2.2.6.1 Definição

Segundo Müller (2005):

“O sistema de revestimento externo de edificações denominado fachada ventilada caracteriza-se pela existência de ventilação em uma câmara de ar. Origina-se um fluxo de ar ascendente com o aquecimento deste no interior da câmara. Além disso, diferenças de pressão no interior da câmara de ar ventilada, devido à ação do vento, também contribuem para a ventilação.”

Com o objetivo de trazer eficiência energética para os edifícios, surgiram as fachadas ventiladas, onde as camadas a serem adicionadas ao vedo existente são compostas por uma camada isolante, uma camada de ar e uma terceira externa, formada por componentes de fechamento: placas cimentícias, de rocha, de alumínio, etc. As fachadas ventiladas permitem a troca de calor entre o revestimento e a vedação, propiciando um conforto térmico na edificação.

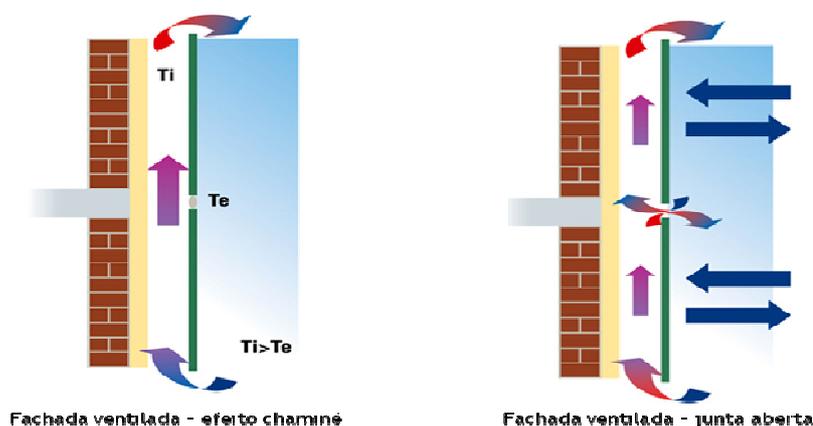
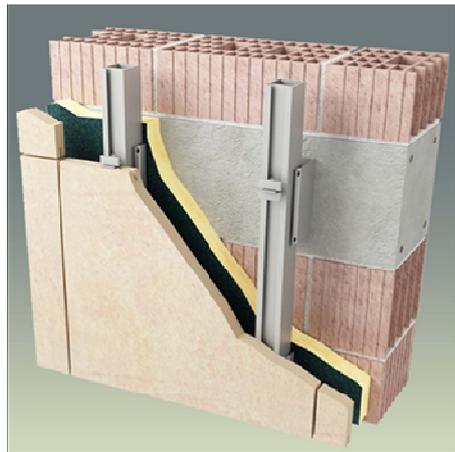
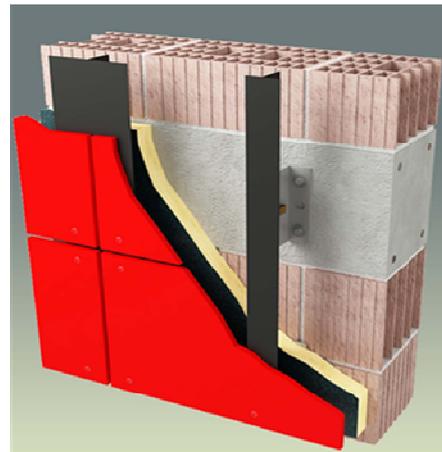


Figura 2.39: Representação esquemática do funcionamento da fachada ventilada: (a) efeito chaminé; (b) junta aberta. Fonte: Aliva (2008)



Fachada ventilada - pedras



Fachada ventilada - laminados

Figura 2.40: Fachada ventilada, com revestimento em pedra e revestimento laminado
Fonte: Aliva (2008)

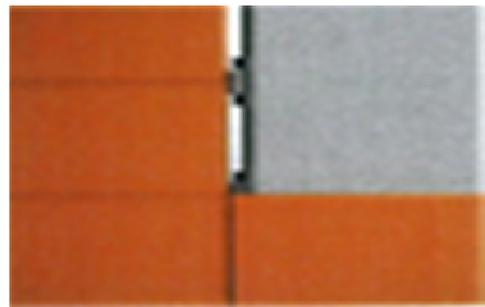
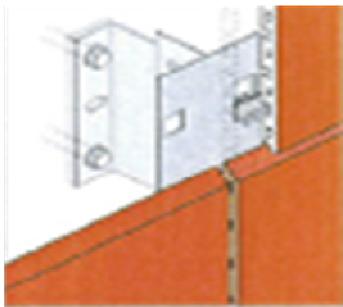


Figura 2.41: Fachada ventilada, com revestimento em cerâmica extrudada
Fonte: Aliva (2008)

Segundo Liu (2010):

“As fachadas-cortina e semicortina com múltiplas camadas podem ainda ser compostas de maneira que exista uma camada de ar, que pode ser estanque ou não. Neste caso, elas são consideradas fachadas duplas e, quando o ar do espaço pode circular para o ambiente externo, elas são consideradas fachadas ventiladas” (Figura 2.43).

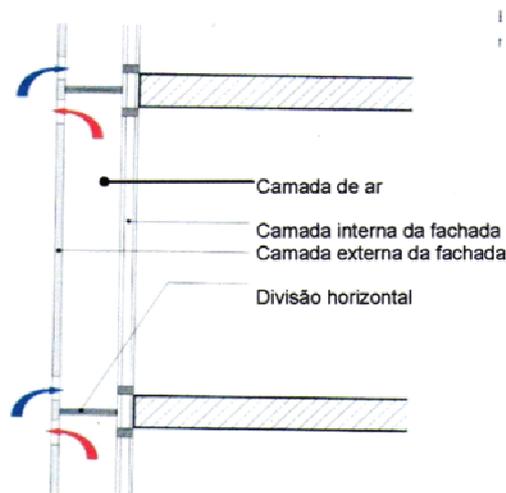


Figura 2.42: Corte esquemático de uma fachada dupla ventilada
Fonte: Liu (2010)

Quanto às vantagens do sistema, de acordo com Müller (2005), destaca-se a melhoria do isolamento térmico da fachada de edificações. Além disso, o sistema possibilita a utilização de placas cerâmicas de grandes dimensões em fachadas.

No sistema de fachada ventilada podem ser empregados diferentes materiais de revestimento, tais como placas cerâmicas, placas de pedra natural (mármore, granito), etc., normalmente em grandes dimensões. Especificamente na fixação de placas cerâmicas em fachadas ventiladas, emprega-se uma estrutura metálica portante, sendo que tal estrutura é ancorada à parede externa, usando, por exemplo, parafusos chumbadores.

2.2.6.2 Quanto à normatização

A norma alemã DIN 18516: Teil 1 [5] estabelece considerações gerais em relação ao projeto, as cargas atuantes, as variações volumétricas, a execução do sistema de fachada ventilada e a realização de ensaios.

Não há normas no Brasil referentes à fachada ventilada.

2.2.6.3 Quanto às especificações

A câmara de ar da fachada-cortina pode ser projetada de forma estanque ou ventilada, e é 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 (SIQUEIRA JUNIOR, 2003).

Quanto às definições estabelecidas para as fachadas ventiladas, em artigo publicado na Revista *Téchne*, Moura (2009)²³ afirma que:

“Empregando materiais específicos e utilizando-se de princípios físicos simples, a fachada ventilada não deve, em hipótese alguma, ser confundida com a chamada fachada-cortina. Ambos distinguem-se, é verdade, das fachadas convencionais, mas têm em comum apenas o fato de criarem um invólucro separado e independente da estrutura do edifício.”

Outro fato que distingue a fachada ventilada da fachada-cortina é o fato da primeira possuir juntas abertas (MOURA, 2009).

Com a evolução dos materiais, a fachada ventilada pôde receber granito, mármore, porcelanatos, cerâmicas (extrudadas, esmaltadas, *grés*, etc.) e placas compósitas de metais ou laminados melamínicos.

O espaço entre as placas (as juntas) não recebem vedação nas aberturas inferiores e superiores, possibilitando, assim, a criação da lâmina de ar na cavidade entre as duas paredes (Figura 2.44).

²³ Fachadas respirantes. **Revista *Téchne***. São Paulo, Edição 144, março, 2009. Disponível em <http://www.revistaTéchne.com.br/engenharia-civil/144/fachadas-respirantes-fachadas-ventiladas-combinam-funcoes-esteticas-com-bom-128934-1.asp>

“O fenômeno fundamenta-se em um princípio simples da física: o ar mais quente sobe e, pela diferença de pressão, suga para dentro da cavidade o ar mais fresco. O ar da cavidade é continuamente renovado e não chega a aquecer a face do corpo da edificação, que permanece protegida” (MOURA, 2009).

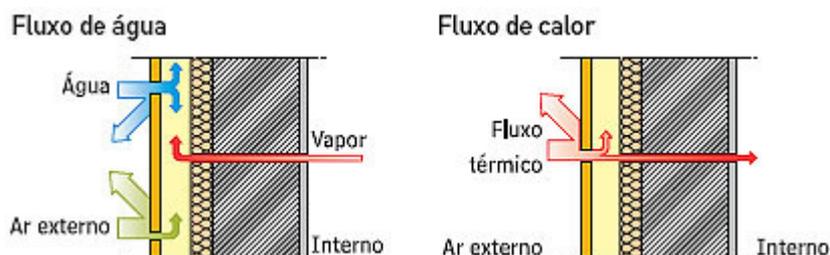


Figura 2.43: Fluxo de água e calor pelo espaço entre as placas (juntas)
Fonte: Revista Téchne

Ainda segundo Moura (2009):

“A água que consegue penetrar no interior da cavidade é extremamente reduzida. Estudos realizados na Alemanha demonstram que menos de 1% da água que consegue penetrar atinge o paramento, o que pode ser controlado por uma camada impermeabilizante”.

“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 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” (UJTU, 2001 *apud* SIQUEIRA JUNIOR, 2003).

Mateus (2004) coloca que:

“A investigação ao nível de soluções construtivas para paredes exteriores tem evoluído no sentido de soluções cada vez menos espessas e, por conseguinte, mais leves; compostas por uma série de camadas com funções cada vez mais específicas.

Dentro desta tendência surgiu a fachada ventilada. Este tipo de fachada tanto pode ser utilizada na reabilitação de edifícios que apresentem problemas – por exemplo, de isolamento térmico e acústico, falta de estanqueidade à água, ou de fissuração – como na construção de novos edifícios. Esta solução contribui assim para a economia de energia e diminuição do risco de degradação precoce dos materiais, e evita pontes térmicas e condensações, dotando o edifício de uma maior qualidade e conforto.”

Klein (2004) explica que:

“Fachadas ventiladas caracterizam-se por apresentar um revestimento aplicado numa estrutura própria de fixação, denominada de paramento externo, afastada da parede da edificação (paramento interno).”

Segundo Mateus (2004), as fachadas ventiladas são compostas, do exterior para o interior, pelos seguintes elementos (Figura 2.45):

- Revestimento descontínuo, fixado ao elemento de suporte.
- Caixa de ar ventilada.
- Estrutura de fixação.
- Camada de isolamento contínuo sobre o paramento exterior do elemento de suporte.
- Elemento de suporte.

A estrutura é composta por:

- Perfis verticais: geralmente em alumínio ou aço inoxidável, ancorados no elemento de suporte.
- Perfis horizontais: geralmente em alumínio ou aço inoxidável, onde as peças de revestimento se fixam através de dispositivos de fixação.
- Complementos: dispositivos de fixação, de arremate, etc.

A caixa de ar formada entre o revestimento e o paramento exterior do elemento de suporte apresenta dimensões no intervalo dos 5 a 15 cm, e tem o objetivo de permitir a ventilação contínua no sentido vertical através do efeito chaminé. Na caixa de ar e sobre o paramento exterior do elemento de suporte é fixado o isolamento térmico.

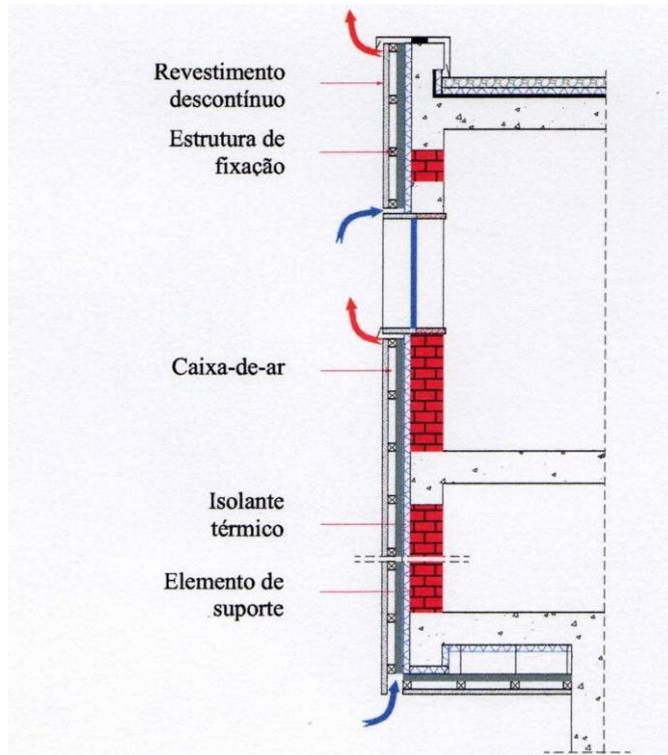


Figura 2.44: Representação esquemática de uma fachada ventilada
Fonte: Mateus (2004)

“As fachadas ventiladas caracterizam-se por apresentar o revestimento aplicado numa estrutura própria de fixação, afastada da parede da edificação, criando uma camada de ar que possibilita a ventilação e o sombreamento da parede, produzindo uma significativa redução do condicionamento térmico da edificação, além de outros benefícios.” (KLEIN, 2004)

Continuando a explicação de Mateus (2004), revestimento descontínuo não é isolante, e pode ser em pedra natural (granito), material cerâmico ou vidro. O revestimento é fixado mecanicamente ao elemento de suporte através de uma estrutura de fixação.

A estrutura de fixação deve permitir o afastamento do revestimento em relação ao elemento de suporte, de modo a estabelecer uma caixa de ar entre os dois elementos. A estrutura deve permitir deformações para a absorção de tensões por dilatação e choques térmicos e incidência de ventos.

“O sistema de fachada ventilada consiste na colocação de, por exemplo, peças de pedra natural, peças cerâmicas ou de vidro, sobre uma estrutura de alumínio ou aço inoxidável, previamente fixa à parede existente. A união das peças de revestimento à estrutura realiza-se através de encaixes metálicos. A maior parte dos sistemas de fixação para fachadas ventiladas baseiam-se em estruturas portantes de perfis de alumínio verticais – com

comprimento máximo de 3 m – fixos à parede, ligados mecanicamente a perfis horizontais de alumínio, aos quais se unem os encaixes que seguram as peças de revestimento." (MATEUS, 2004)

Segundo Mateus (2004):

“O efeito chaminé, que se forma no interior da caixa de ar, permite a eliminação de condensações ou de alguma umidade da chuva que tenha atravessado o revestimento.” (Figura 2.45)

O fato de o isolamento térmico ser contínuo torna-o mais eficiente, pois eliminam-se ou previnem-se as pontes térmicas. Por essa razão tal solução é amplamente utilizada na reabilitação de fachadas com problemas de isolamento térmico. A aplicação do isolamento sobre o paramento exterior faz com a capacidade térmica da parede esteja totalmente disponível para a inércia térmica interior do edifício. A ventilação impede que o ar existente na câmara aqueça, evitando a transmissão de calor por convecção, para o interior. Deste modo, esta solução promove a diminuição dos consumos energéticos tanto durante a estação de aquecimento quanto de arrefecimento.

Quanto ao isolamento acústico, seu comportamento é substancialmente melhor do que o de uma fachada convencional, pois o revestimento descontínuo dissipa parte da energia sonora incidente.

Esta solução geralmente apresenta elevada estabilidade estrutural, pois o revestimento, ao ser descontínuo, previne o risco de fissuração devido às amplitudes térmicas diurnas e sazonais. Também não existe transmissão de cargas entre as placas, já que as fixações são independentes. A existência de elementos de revestimento totalmente independentes permite a substituição isolada de alguma peça danificada, o que torna sua manutenção simples e pouco dispendiosa.

Com relação à resistência ao fogo, há que levar em conta que a caixa de ar atua como propagador vertical de fogo. Para evitar esta situação, deve-se compartimentar a caixa de ar na altura dos peitoris para que o fogo não entre na edificação através das aberturas. Essa compartimentação pode ser feita com barreiras horizontais, resistentes ao fogo; coloca-se o *fire stop*, que pode ser em lâ

de rocha, e, sobre ele, um peitoril de acabamento. O mesmo pode ser feito no fundo de viga (Figura 2.46).

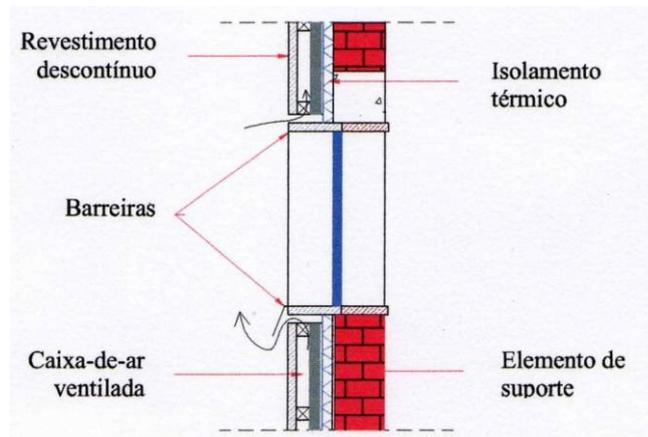


Figura 2.45: Barreiras contra a propagação vertical do fogo
Fonte: Mateus (2004)

No Quadro 2.6, Mateus (2004) apresenta as principais vantagens e desvantagens da fachada ventilada.

Quadro 2.7: Principais vantagens e inconvenientes da fachada ventilada
Fonte: Mateus (2004)

VANTAGENS	INCONVENIENTES
Isolamento térmico mais eficiente e disponibilidade total da capacidade térmica da parede para a inércia térmica interior (diminuição do consumo energético para climatização e menores amplitudes térmicas no interior)	Condiciona o aspecto exterior do edifício
Risco muito reduzido de fissuração do revestimento (diminuição dos efeitos da dilatação térmica)	Dificuldade eventual na execução de remates, zonas de cunhais e saliências
Manutenção simples e reduzida	Custo geralmente mais elevado
Proteção do isolamento térmico, estrutura do edifício e parede contra as intempéries (maior durabilidade)	Maior risco de degradação por vandalismo
Eliminação das condensações. A presença da camada de ar facilita a evacuação do vapor de água proveniente do interior e favorece a eliminação de umidades que podem causar infiltrações	A caixa de ar, se não for seccionada, facilita a propagação de fogo entre pisos
A existência de isolamento térmico pelo exterior permite a execução de paredes de fachada de menor espessura, mas com o mesmo comportamento (maximização da área útil interior)	
Melhor isolamento sonoro	
Grande potencial na reabilitação do comportamento térmico, higroscópico e acústico das fachadas convencionais	

Segundo Klein (2004), o grande diferencial deste tipo de fachada, em relação às fachadas convencionais, está nas vantagens advindas da economia de energia ligadas ao conforto térmico. O espaço criado entre os dois paramentos, por suas dimensões e geometria, funciona como uma chaminé, permitindo o movimento ascensional do ar aquecido (“efeito chaminé”), o qual contribui decisivamente para a redução da energia necessária para a climatização dos ambientes internos da edificação.

Em comparação com as fachadas convencionais, onde os revestimentos (cerâmicos, pedras naturais, outros) são fixados diretamente no paramento portante, as fachadas ventiladas apresentam as seguintes vantagens:

- Inexistência, no paramento externo, de fissuras e descolamentos oriundos de solicitações térmicas e estruturais, pela presença de juntas;
- Facilidades de manutenção e recuperação;
- Proteção adequada do paramento interno (estanqueidade);
- Facilidade de evaporação e transporte de água, tanto na forma líquida como em forma de vapor, pelo "efeito chaminé"; maior reflexão dos raios solares e aos ruídos por utilização de placas cerâmicas polidas no revestimento; isolamento acústico e térmico devido à camada de ar existente entre os paramentos interno e externo;
- Utilização parcial do espaço vazio entre os paramentos para alojar tubulações elétricas, hidráulicas e hidrossanitárias;
- Possibilidade de fácil acesso às instalações localizadas entre os dois paramentos, para a recuperação e substituição.

A Figura 2.47 mostra os componentes do sistema de fachada ventilada e o “efeito chaminé”.

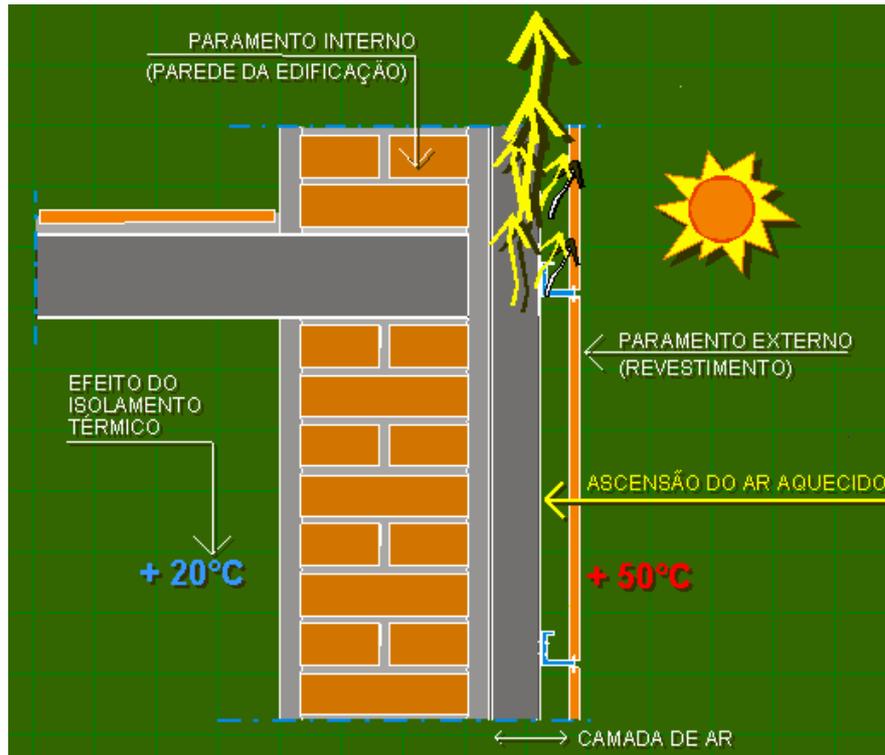


Figura 2.46: Corte vertical esquemático da fachada ventilada, mostrando o “efeito chaminé”
 Fonte: Klein, 2004

2.3 Vidros – Um dos Principais Componentes do Subsistema Fachada

Em artigo publicado na revista Rochas de Qualidade, Ceotto (2010)²⁴ diz que a tendência atual em especificar a fachada de vidro e granito para edifícios corporativos deve permanecer, o que significa que o vidro continuará sendo um componente muito importante no desenvolvimento e desempenho das fachadas de edificações corporativas.

Os vidros são produtos que necessitam de tratamentos especiais, pois desempenham papéis fundamentais no atendimento a diversos requisitos de desempenho atribuídos a fachada, tais como: segurança; estanqueidade; conforto higrotérmico, visual e acústico; durabilidade e custos.

²⁴ Revista Rochas de Qualidade, Editora EMC. Edição 214, setembro/outubro de 2010. São Paulo: 2010. 86-90 pp.

A edificação atua como mecanismo de controle das variáveis do clima, através de sua envoltória (paredes, piso, cobertura e aberturas) e dos elementos do entorno, e deve ser projetada de modo a proporcionar conforto e eficiência energética. Entre os componentes da construção, os vidros funcionam como um dos elementos de maior potencialidade de aquecimento interno. Devido à sua transparência à radiação solar, possibilitam facilmente o ingresso de grande parte dessa energia no ambiente (CARAM *et al.*, 2007).

Os sistemas de envidraçamento afetam a estética da edificação, fornecem ventilação, iluminação natural, integração visual entre o ambiente interno e externo, atuando diretamente no conforto humano e no consumo energético. Representam a maior fonte de perda de calor, no inverno, bem como de indesejável ganho de calor, no verão (CARMODY *et al.*, 2000).

2.3.1 Tipos de vidro

Segundo Khoury (2002):

“O vidro é o produto mais usado na fachada-cortina. É econômico, versátil, disponível temperado ou laminado, em diversas cores, em várias espessuras e quantidade de camadas.”

Quanto às exigências de conforto, os vidros chamados de “especiais” melhoram o desempenho energético das edificações, colaborando com a redução do uso de luz artificial e contribuindo para um melhor desempenho do ar condicionado, ao permitir a passagem de iluminação natural e barrar a entrada de calor e ruído, atendendo, assim, as exigências necessárias para o desempenho energético do edifício.

Segundo Lamberts (1997), existem muitas variáveis que podem determinar a escolha do tipo de vidro a ser utilizado nas fachadas:

- Bloquear ou admitir totalmente ou parcialmente a entrada de luz natural e o calor solar para o interior dos edifícios.

- Bloquear ou permitir as perdas de calor da edificação para a área externa.
- Bloquear ou permitir o contato visual entre interior e exterior.

Ainda de acordo com esse autor, os vidros são bons condutores de calor; porém apresentam também boa capacidade de controlar a radiação solar (luz e calor). A radiação solar incidente em um fechamento transparente pode ser absorvida, refletida ou transmitida para o interior da edificação; isso dependerá dos índices de absorvidade, refletividade e transmissividade do vidro. A parcela absorvida se converte em calor e pode ser reemitida para o interior ou para o exterior na forma de radiação de onda longa. Existem diversos tipos de vidro que podem contribuir para a melhoria destas condições.

Quanto mais envidraçadas as fachadas, maior a incidência de luz e calor solar no interior das edificações. Embora seja de conhecimento de todos os profissionais do setor que, para países localizados em climas tropicais, essa não é uma condição favorável ao desempenho energético dos edifícios, o vidro ocupa lugar de destaque na arquitetura contemporânea, principalmente nos edifícios comerciais das grandes cidades, que se caracterizam por fachadas quase que totalmente envidraçadas, ou totalmente envidraçadas.

A solução encontrada pelo mercado para resolver esta contradição foi o desenvolvimento de vidros mais eficientes, cabendo a indústria do vidro a pesquisa e desenvolvimento destes materiais e, aos profissionais do setor, arquitetos, projetistas de fachada e consultores, a correta especificação dos vidros de acordo com a implantação do edifício, e a incidência de fatores ambientais, tais como: chuva, barulho, poeira, temperatura, radiação e iluminação.

Lamberts (1997) classifica os tipos de vidro mais utilizados na construção como:

- Vidro simples (transparente);

- Vidro verde;
- Vidro absorvente;
- Vidro reflexivo.

O *vidro simples ou transparente* apresenta boa visibilidade, alta transmissividade de radiação solar para o interior e é pouco reflexivo, causando o efeito conhecido por estufa, pois uma vez que o calor é transmitido para dentro da edificação, torna-se difícil sua saída através do vidro; dessa forma, o calor fica acumulado no interior da edificação.

O processo de fabricação do vidro plano incolor, também chamado vidro liso ou vidro comum, é utilizado como matéria-prima para a produção de outros tipos de vidros, como os coloridos, laminados e refletivos. O vidro plano é ideal para aplicações que exijam perfeita visibilidade e alta transmissão de luz (CARAM *et al*, 2007).

O leve pigmento presente no *vidro verde*, também classificado como *absorvente*, permite uma diminuição na transmissão da onda curta. O objetivo é diminuir a transmissão da onda curta por meio do aumento na absorção desta mesma onda, solução que diminui a visibilidade no interior da edificação. Ele é altamente absorvente à radiação de onda longa e pouco reflexivo tanto em relação a onda longa quanto a curta.

Também chamado de termoabsorvente, Oliveira (2009) explica que este vidro surgiu em função da necessidade do controle solar. Nas cores cinza, bronze e verde, trata-se de um vidro *float* (plano), colorido por meio da adição de óxidos, objetivando a proteção solar.

“As colorações como o cinza e o bronze absorvem a luz visível e o infravermelho, esquentando-os e irradiando calor para o interior e exterior. A superfície desses vidros pode chegar, quando expostas ao sol, a 50°C ou 60°C. Os vidros de cor verde e azul apresentam-se como uma das mais eficientes soluções em termos de boa transmissão das radiações visível e infravermelha.” (CARAM, 2002 *apud* OLIVEIRA, 2009)

O *vidro reflexivo ou refletivo* tem uma espécie de película incorporada à sua constituição. O resultado é a redução da entrada de calor para o interior da edificação (onda curta) e redução da perda de calor para o exterior (onda longa), diminuindo também a entrada de luz para o interior da edificação.

Podem ser grandes aliados do conforto ambiental e da eficiência energética nas edificações, com a função de filtrar os raios solares através da reflexão da radiação em todas as suas frequências, de forma seletiva. Além de controlar a insolação, esses vidros cumprem duas tarefas básicas: proporcionar maior conforto visual e efeito estético requintado. O vidro refletivo pode ser fabricado a partir do vidro plano monolítico, incolor ou colorido, que recebe, numa de suas faces, uma camada de óxidos (ou sais) metálicos (CARAM *et al*, 2007).

Segundo explica o manual da Pilkington (2009), o vidro refletivo filtra os raios solares através da reflexão da radiação, garantindo o controle eficiente da intensidade de luz e de calor transmitidos para os ambientes internos. A transformação do vidro *float* em refletivo consiste na aplicação de uma camada metalizada numa de suas faces.

A especificação de vidros refletivos requer estudos de suas características de desempenho e de elementos como a transmissão de luz, calor, refletividade, cor do vidro, região onde a obra está localizada e a finalidade da edificação. Sem esses e outros dados, há riscos de o projeto resultar em problemas como a claridade desconfortável ou o aquecimento dos ambientes internos, ou ainda a quebra de vidros devido ao *stress* térmico causado pela alta absorção energética.

O vidro refletivo reflete parcialmente para o lado onde há mais luz. Isso significa que, durante o dia, a reflexão é externa, e durante a noite, é interna. Se essa reflexão for excessiva, o resultado pode ser desagradável. Portanto, é importante considerar o percentual de refletividade interna. Como a radiação refletida não faz parte da energia que passa por transmissão direta, e vice-versa, é importante que haja uma combinação entre os percentuais de radiação transmitida, refletida e absorvida. Essa combinação definirá o desempenho fotoenergético do vidro, que nada mais é do que o balanço desejável entre a transmissão de luz direta e o bloqueio máximo de calor.

A radiação solar se divide da seguinte forma: parte atravessa o vidro, penetrando no ambiente interno (transmissão direta); parte é refletida para fora; e uma terceira porção é absorvida pelo vidro, que se aquece e redistribui essa energia, devolvendo parte para o exterior e parte para o interior. O balanço ocorre matematicamente para cada comprimento de onda. A dificuldade está em encontrar o equilíbrio entre a quantidade de luz e de calor transmitidos para dentro do ambiente e a quantidade de luz refletida internamente. Neste caso, vale lembrar: se a quantidade de luz direta transmitida for diminuída, haverá um escurecimento do interior, com efeitos negativos sobre a visão e a exigência de mais energia para iluminação artificial.

Segundo Duarte (2008), é possível classificar os vidros refletivos conforme seu índice de refletividade externa (R_e):

- Alta refletividade (R_e superior a 25%);
- Média (R_e entre 25% e 15%);
- Baixa (R_e inferior a 15%).

Os vidros de alto desempenho, por exemplo, como apresentam o coeficiente de refletividade interna (R_i) superior ao de refletividade externa, serão mais refletivos externamente e terão, também, maior refletividade internamente. A utilização de vidros coloridos influencia a cor refletida e altera o desempenho fototérmico do vidro refletivo, reduzindo a transmissão de luz direta, melhorando o fator solar e aumentando a absorção de energia. Por isso, é importante considerar também o efeito da cor ao especificar um vidro refletivo.

Processos industriais de laminação, metalização e fabricação de insulados têm colocado no mercado vidros com eficiente desempenho para as mais diversas solicitações, em fachadas. Eles garantem segurança e elevam os níveis de conforto térmico e acústico no interior das construções, podendo manter a transparência da construção para os exteriores (Manual de Vidros, Pilkington, 2009).

Segue abaixo a explicação de alguns dos tipos de vidro que podem ser encontrados no mercado brasileiro:

Vidros temperados. Considerados vidros de segurança por não formarem partes pontiagudas e terem arestas menos cortantes, os vidros temperados são utilizados na produção de outros vidros especiais para arquitetura, como os vidros laminados e os vidros de controle solar. Após passar pelo processo de têmpera, o vidro *float* se transforma em semitemperado ou temperado, devido ao termo endurecimento, no qual a chapa é alternadamente aquecida e resfriada. Após o processo de têmpera, as chapas não podem mais ser cortadas, furadas ou recortadas. No caso de fachadas suspensas, onde os vidros são presos por parafusos especiais, os furos para receber as ferramentas de fixação devem ser feitos antes do termo endurecimento.

Vidros laminados. Muito utilizados em projetos de edifícios comerciais, os vidros laminados possuem propriedades especiais que garantem segurança às fachadas, coberturas e guarda-corpos. Em caso de quebra da placa laminada, os pedaços permanecem colados à película de polivinilbutiral (PVB). Especificados conforme a ABNT NBR 7199:1989, os laminados são compostos por duas ou mais chapas de vidro, intercaladas por películas de PVB. A laminação também pode ser feita com resinas especiais que, além de apresentar o mesmo desempenho das películas, facilitam o curvamento das placas de vidro. A laminação é um processo industrial de pressão e calor, no qual o sanduíche composto por PVB e vidro é prensado por uma calandra, que comprime o vidro para eliminar todo o ar existente entre as camadas, promovendo a adesão das chapas ao PVB. Após a calandragem, o painel passa por uma autoclave para receber nova carga de pressão e calor, garantindo total adesão dos componentes. “Muitas camadas de PVB dificultam o processo de laminação, devido à maior quantidade de ar que se cria nas interfaces dos materiais” (Manual de Vidros, Pilkington, 2009).

Além de segurança, a laminação confere ao vidro função termoacústica. O conforto acústico ocorre em função da espessura da película de PVB: quanto maior a espessura, maior a atenuação do som. Existem películas com espessuras de 0,38, 0,76 e 1,58 mm. Quando produzidos com placas de vidro de controle solar, ou com

películas que recebem em sua composição aditivos que ajudam a reter a energia, os vidros laminados tornam-se eficientes para manter o conforto térmico. A família dos vidros para controle solar empregados nos projetos arquitetônicos é formada por refletivo, *low-e* (baixo emissivo) e serigrafado.

A composição mais eficiente do vidro laminado seria se o vidro fosse colorido e a película incolor, o que criaria uma barreira para parte do infravermelho (por conta do vidro verde) e para quase totalidade de UV (por conta da película), sem prejudicar a transmissão da luz visível (CARAM, 2002 *apud* OLIVEIRA, 2009).

O **vidro aramado** é um vidro comum que contém em seu interior uma malha metálica. Embora apresente menor resistência mecânica e transparência que o temperado, resiste à corrosão, ao fogo e não produz estilhaços. A intransponibilidade é assegurada pela tela metálica, que se opõe à passagem de qualquer corpo estranho que, eventualmente, tente atravessá-lo (OLIVEIRA, 2009).

Vidros Metalizados (*low-e*). Transparente, com um leve tom esverdeado ou azulado, o metalizado *low-e* (baixo emissivo) é importante aliado da estética das fachadas, pois auxilia no controle solar sem criar o indesejável efeito espelho. É fabricado com a deposição de uma fina camada metálica em uma de suas faces, formando um filme protetor que filtra os raios solares e ultravioletas, permitindo, ao mesmo tempo, a passagem de luz natural.

O vidro metalizado *low-e* foi criado para atender às necessidades dos países de clima frio, que precisam manter o interior do edifício aquecido. Adaptado para o clima tropical, ganhou uma camada chamada “*low-e* para todo efeito”, que, além de permitir a passagem de luz, possui propriedades refletivas. O resultado é um vidro com excepcional desempenho energético, que reflete para fora as radiações no espectro do infravermelho próximo e distante. Sua refletividade externa fica entre 8% e 10%, e sua transmissão luminosa, entre 70% e 80%. Exige muito cuidado com seu manuseio, pois a camada metalizada, muito delicada, pode ser facilmente destruída em solicitações mecânicas.

Os vidros *low-e* necessitam de um cuidado adicional com o silicone, pois eles são incompatíveis com o silicone butil, utilizado para produzir o vidro insulado, e com o silicone usado para colagem.

Vidro insulado. Eficiente como isolante do fluxo de calor por condução, o vidro insulado é composto por duas ou mais chapas, separadas por câmaras de ar. O quadro de vidro é selado em todo o seu perímetro, a fim de evitar que ocorram trocas entre a atmosfera interna da câmara e a do ambiente externo. A câmara interna pode conter uma mistura de ar com nitrogênio, argônio ou outros gases. Devido à inércia térmica do ar, essa câmara constitui um elemento isolante que reduz o coeficiente de transmissão de calor, dificultando sua passagem de um ambiente para outro. O desempenho fotoenergético do vidro insulado pode ser melhorado, quando se utiliza para sua composição um vidro refletivo, no lado externo. Dessa forma, parte da radiação é refletida para o exterior, enquanto o insulamento reduzirá o coeficiente de sombreamento do conjunto. Essa solução, aliada ao baixo coeficiente de transmissão, resultará em um vidro com bom controle solar, que mantém alta a transmissão luminosa.

Caram *et al.* (2007), explicam que o vidro translúcido é um vidro plano, com pelo menos uma superfície irregular, e que possui como grande diferença para o vidro plano liso (*float*) o fato de não permitir a visualização nítida das imagens que se encontram no outro plano. O feixe de luz, ao incidir em um vidro plano liso (*float*), tem parte da luz refletida, parte absorvida e parte transmitida diretamente para o outro plano; já no vidro translúcido acontecem esses três processos, porém o feixe de luz que atravessa o material muda de direção, ou melhor, a luz se difunde no interior do material e chega ao outro plano tomando todas as direções, como uma luz difusa (Figura 2.48).



Figura 2.47: Visualização do objeto através do vidro transparente (a) e translúcido (b)
Fonte: Caram *et al* (2007)



Figura 2.48: Comportamento da luz atravessando um vidro plano liso (*float*) (a) e um vidro translúcido (b). Fonte: Caram *et al* (2007)

Nos estudos relatados por Caram *et al* (2007), em superfícies transparentes em fachadas, foram selecionados sete tipos de vidros, sendo quatro planos e três refletivos metalizados a vácuo. Os vidros foram instalados em fachadas orientadas para a face norte, e considerou-se como referência o vidro incolor, de espessura 4 mm. Foram monitorados os seguintes parâmetros:

- Temperaturas interna e externa.
- O ganho solar calculado a partir dos resultados de absortância dos diferentes materiais.
- A diferença entre as temperaturas interna e externa.

Os resultados mostram o alto ganho de calor através dos vidros planos, sendo o incolor o de maior valor, seguido pelo bronze, cinza e verde. Ao se comparar os vidros planos e refletivos, o ganho de calor através dos refletivos foi bem menor.

Caram *et al* (2007) concluem que, quando se tem como objetivo atenuar o ganho de calor e projetar edificações com menor consumo energético para refrigeração, a utilização dos vidros refletivos é a mais indicada.

Tabela 2.4: Parâmetros de cálculo do ganho de calor através dos vidros planos, no horário de pico. Fonte: Caram *et al* (2007)

VIDROS PLANOS – FACHA DA NORTE – 12h00 – DIA 01/07								
VIDRO	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m ²)	te	ti	U (te-ti)	q (W/m ²)
Incolor	0,76	0,11	0,800	664,88	23,80	22,20	7,62	539,85
Bronze	0,57	0,23	0,670	664,88	23,80	21,40	11,44	456,67
Cinza	0,51	0,27	0,622	664,88	23,80	21,50	10,96	424,50
Verde	0,46	0,33	0,601	664,88	23,80	22,20	7,62	407,08

Tabela 2.5: Parâmetros de cálculo do ganho de calor através dos vidros refletivos, no horário de pico. Fonte: Caram *et al* (2007)

VIDROS REFLETIVOS – FACHADA NORTE – 12h00 – DIA 28/07								
VIDRO	Transmitância	Absortância	FS	I (W/m ²)	te	ti	U (te-ti)	q (W/m ²)
Incolor	0,74	0,11	0,788	650,08	23,18	20,57	12,46	524,50
CEB Azul médio	0,21	0,56	0,360	650,08	23,18	19,22	11,68	245,88
CEB Prata neutro	0,16	0,54	0,305	650,08	23,18	18,68	13,28	211,49
CEB Azul intenso	0,12	0,63	0,289	650,08	23,18	19,27	11,55	199,45

2.3.2 Valores importantes para especificação

As áreas envidraçadas em fachadas merecem atenção especial em se tratando de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Considerando seu desempenho como fachadas, devem atender, também, às necessidades de iluminação, as quais, conjugadas com os requisitos necessários para conforto térmico, garantem a eficiência energética da construção (CARAM *et al*, 2007).

É fundamental verificar se o tipo de vidro escolhido é o ideal para o projeto, pois equívocos na escolha podem causar vários problemas, e corrigi-los pode ser praticamente inviável. A especificação correta deve considerar as normas técnicas, mas também depende de conhecimentos sobre o comportamento do vidro diante da radiação solar. O mercado oferece variada gama de produtos, com diferentes cores, tipos e índices de refletância, para atender às necessidades específicas de cada

situação. Cabe ao projetista, além de consultar os catálogos dos fabricantes, atentar ao desempenho energético da edificação, bem como às características óticas do material transparente selecionado (CARAM *et al*, 2007).

A especificação de vidro é um processo que exige atenção. Começa com uma questão fundamental: qual é o propósito do *design* e a função geral da construção, quais requisitos, além dos obrigatórios, o vidro deverá atingir? Várias considerações são necessárias, relacionadas à estética, transmissão de luz, transmissão de calor, desempenho de energia, requisitos de segurança, etc.

Segundo Khoury (2002), de modo geral, as diretrizes detalhadas para especificação dos vidros são a espessura do vidro para uma fachada-cortina: no mínimo igual a 6 mm, e estão disponíveis até 19 mm.

Mencionado autor coloca como medidas de desempenho do vidro: a porcentagem de transmissão de luz visível através do vidro; porcentagem de raios ultravioleta e infravermelho transmitidos através do vidro; porcentagem de luz visível refletida interna e externamente; medida (Valor-U) de ganho ou perda de calor através do vidro devido a diferença entre o meio interno e o externo; coeficiente de sombreamento; ganho de calor relativo; coeficiente de ganho de calor solar. Para a especificação dos vidros, é necessária a verificação destes parâmetros, sendo que:

Fator Solar (FS): é a relação entre a energia total que passa através desse vidro e a energia solar incidente. Esta energia total é o somatório da energia solar que entra por transmissão direta e a energia que o vidro confere ao ambiente interior devido ao seu aquecimento por absorção energética. Segundo Oliveira (2009), quanto maior o Fator Solar, mais o vidro permite a passagem de energia. Para uma adequada proteção solar, o fator solar deverá ser o mais baixo possível.

Valor-U: refere-se a uma medida de ganho ou perda de calor pelo vidro devido à diferença na temperatura interna e externa. Fator-U ou Valor-U também é chamado de coeficiente global de transferência de calor. Um Valor-U mais baixo indica melhores propriedades de isolamento. A unidade é expressa em $W/m^2 \cdot ^\circ C$ (Btu/hr.pol². °F nos Estados Unidos).

Valor-R: refere-se à medida da resistência do envidraçamento ao fluxo de calor. É o resultado da divisão de 1 pelo Valor-U, ($\text{Valor-R} = 1/\text{Valor-U}$). Um Valor-R mais alto indica propriedades de isolamento do envidraçamento melhores. O Valor-R normalmente não é usado como um dado dos produtos de envidraçamento.

Tanto o Valor-U quanto o Valor-R são medidas de resistência ao fluxo de calor que são utilizadas aqui (no Brasil) para ajudar no entendimento do Valor-U.

Coefficiente de Ganho de Calor Solar (CGCS): por definição é a quantidade de calor do sol que passa pelo vidro para dentro do edifício por radiação; quanto menor for este valor, menos calor estará passando pelo vidro. O Coeficiente de Ganho de Calor Solar (CGCS) é a porcentagem de energia solar incidente no vidro que se transfere para o lado interno tanto diretamente quanto indiretamente. A porção de ganho direto é a transmissão de energia solar, ao passo que o ganho indireto é a incidência de energia solar no vidro que é absorvida e reirradiada ou retransmitida para dentro.

Coefficiente de Sombreamento: é uma medida de ganho de calor por meio do vidro por radiação solar. Especificamente, o Coeficiente de Sombra é a razão entre o ganho de calor solar para um tipo determinado de vidro e de vidro transparente incolor de 3 mm. Um Coeficiente de Sombra menor indica ganho de calor solar mais baixo.

Taxa de transmissão de luz visível: por definição é a porcentagem de luz visível transmitida diretamente pelo vidro; quanto maior a porcentagem de transmissão de luz visível, mais luz estará atravessando o vidro.

Os principais objetivos para tratar a proteção solar são:

- Diminuição dos ganhos solares, ou seja, fator solar o mais baixo possível.

- Diminuição da transferência de calor do exterior para o interior, ou seja, o Valor-U deverá ser o menor possível.
- Garantia de boa transmissão luminosa, ou seja, transmissão luminosa elevada).
- Para o projetista, é importante analisar a fachada como um todo, atentando para a implantação, o sombreamento produzido pelo entorno e os detalhes do projeto, de modo a propor soluções distintas para as diferentes fachadas. Além disso, deve-se encarar como problema fundamental a incidência da radiação solar nos vidros para que se obtenha uma boa ponderação entre o desejado ingresso da iluminação natural e a barreira ao calor excessivo (CARAM *et al*, 2007).

3 O PROCESSO DE PROJETO DAS FACHADAS

A sistematização de todas as variáveis para estudo e definição das tecnologias parece complexa, mas Lamberts (1997) sugere uma sequência de procedimentos onde as questões de melhora na eficiência energética do edifício se integram a outros fatores de desenvolvimento do projeto (Figura 3.1).

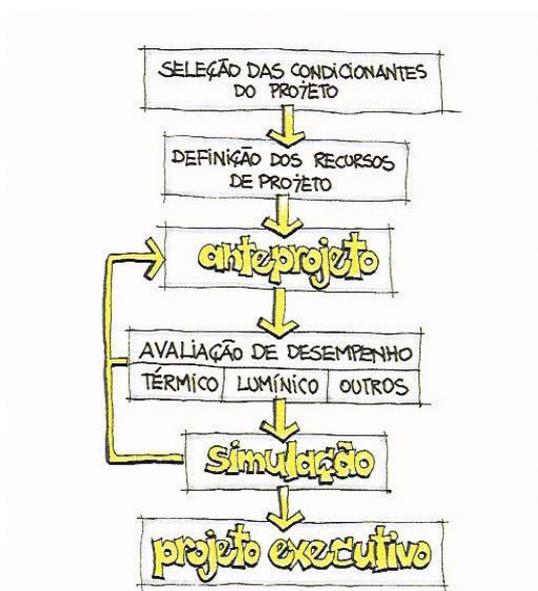


Figura 3.1: Esquema de uma maneira lógica de projetar integrando os conceitos de eficiência energética e os conhecimentos comuns dos arquitetos
Fonte: Lamberts (1997)

Conforme Quadro 3.1, Oliveira (2009) propõe as etapas, serviços e conteúdos para desenvolvimento de um projeto de fachadas e identifica em quais etapas do processo cada um dos agentes participa.

Segundo Oliveira (2009):

“(…) foi proposta a introdução da etapa de assistência técnica para contratação da execução das obras e o deslocamento do desenvolvimento da etapa de detalhamento para a fase intermediária entre projeto e obra (PEO), pois essas etapas têm interfaces diretas com a execução da obra, devendo, portanto, ser desenvolvidas com a participação direta do montador e/ou fornecedor dos elementos de fachada, bem como da construtora. Para tanto, é preciso que o construtor ou montador da fachada já tenha sido contratado; por isso, essas etapas ocorrem após a etapa de assistência à contratação da execução das obras.”

Quadro 3.1: Fases, Etapas, Produtos e Conteúdos de um projeto de fachadas (construção)
Fonte: Oliveira, 2009

Fase	Etapas/Produtos/Conteúdos/Agentes atuantes			
	Etapas	Produtos e Serviços	Conteúdo/Objetivo	Agentes Participantes
Concepção do Empreendimento	Idealização do Produto	Levantamento de dados	Levantar um conjunto de informações jurídicas, legais e técnicas que determinam as restrições e possibilidades que regem e limitam o produto fachada pretendido	Empreendedor, Coordenador de projetos, Projetista de arquitetura
		Definições preliminares	Definir os objetivos do empreendimento: uso, classe social a que se destina, padrões e acabamentos pretendidos, etc. (as definições dos padrões e acabamentos interferem diretamente no projeto de fachadas)	
		Programa de necessidades e prioridades	Definir os aspectos geométricos como quantidade de pavimentos, área projetada, etc.; definições com relação às exigências (qualitativas) de desempenho: estética, acústica, segurança, eficiência energética, etc. (o desenvolvimento de projetos, inclusive o da fachada, deve basear-se na definição do programa de necessidades e prioridades)	
		Estudo de viabilidade técnica preliminar	Avaliar a viabilidade técnica de atender o programa de necessidades. Considerar interfaces com legislações e restrições técnicas e legais	
		Definições administrativas (elaboração de modelo de caderno de encargos técnicos e administrativos)	Definir responsabilidades de cada agente, prazo para execução do serviço, multas, garantias, assistência técnica, etc. O modelo deste caderno deve ser utilizado para desenvolver um caderno para cada contrato específico. Por exemplo, elaboram-se cadernos de cláusulas administrativas para constar no contrato do fornecedor dos elementos de fachada	Empreendedor, Coordenador de projetos
Desenvolvimento de Projetos	Desenvolvimento do produto (Estudos preliminares)	Estudo preliminar	Formular a fachada segundo as exigências do programa de necessidades estabelecido pelo cliente (definir preliminarmente o produto a ser projetado, e levar em conta outras experiências (análise de Dossiê de finalização - retroalimentação do processo)	Projetista de arquitetura, Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
			Consolidar a capacidade funcional do produto, ou seja, identificar e especificar as funções técnicas dos diferentes elementos e componentes arquitetônicos a serem empregados na fachada	
			Avaliar as diferentes opções arquitetônicas e selecionar a opção "ótima"	
			Fazer uma pré-avaliação dos custos para execução do empreendimento, levando em conta algumas das alternativas propostas	
		Seleção tecnológica	Selecionar a tecnologia de fachada a ser adotada, baseando-se nos requisitos estabelecidos pelo empreendedor e em critérios que analisam benefícios técnicos, menor custo e menor risco	

Quadro 3.1: Fases, Etapas, Produtos e Conteúdos de um projeto de fachadas (construção)
Fonte: Oliveira, 2009 (Continuação)

Fase	Etapas/Produtos/Conteúdos/Agentes atuantes			
	Etapa	Produtos e Serviços	Conteúdo/Objetivo	Agentes Participantes
Desenvolvimento de Projetos	Formalização/Anteprojeto	Definições dos critérios de desempenho da fachada (indicadores quantitativos)	Identificar e definir critérios para os requisitos de desempenho estabelecidos no programa de necessidades	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
		Definição dos indicadores de conformidade dos componentes	Estabelecer os indicadores de conformidade dos componentes que formam as fachadas leves	
		Memorial descritivo, explicativo e justificativo	Precisar a composição geral das fachadas (incluindo definição de tecnologias construtivas e pré-dimensionamentos)	
		Lista das interfaces (levantamento preliminar)	Fazer listagem preliminar das interfaces (considerar os quatro grupos) e também localizar em quais etapas do processo essas interfaces devem ser solucionadas	
		Conjunto de anteprojetos gráficos: esboços, plantas, cortes e vistas	Representar graficamente a solução adotada	
		Análise da durabilidade versus custo global	Analisar custo global da fachada selecionada, ou seja, custo de produto versus durabilidade, mais custo de operação e manutenção	
		Cronograma de execução	Estabelecer um cronograma de execução preliminar	
Desenvolvimento de Projetos	Formalização/Projeto Básico (ou pré-executivo)	Documento que evidencia a compatibilização do projeto com as normas pertinentes ao assunto	Consolidar a escolha dos elementos e componentes do edifício em função da compatibilidade com as legislações e normas técnicas pertinentes, especialmente relativas à salubridade e segurança, e com critérios industriais (qualidade do produto) e técnicos (desempenhos esperados)	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
		Projeto preliminar, projetos de uso e manutenção da fachada	Avaliar as interfaces com as questões de manutenibilidade, considerando equipamentos a serem empregados na limpeza das fachadas e sua instalação, acessibilidade para inspeção, etc.	
		Análise de modulação	Analisar e especificar a modulação dos elementos da fachada	Projetista de arquitetura, Projetista de fachada e Coordenador de projetos
		Lista das interfaces entre as soluções encontradas (compatibilização preliminar entre projetos)	Identificar as interfaces entre subsistemas, elementos e componentes existentes (interfaces técnicas e operacionais)	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
		Conjunto de projetos gráficos	Desenvolver desenhos que mostrem a solução consolidada das fachadas, identificando todos os elementos e componentes	

Quadro 3.1: Fases, Etapas, Produtos e Conteúdos de um projeto de fachadas (construção)
Fonte: Oliveira, 2009 (Continuação)

Fase	Etapas/Produtos/Conteúdos/Agentes atuantes			
	Etapa	Produtos e Serviços	Conteúdo/Objetivo	Agentes Participantes
Desenvolvimento de Projetos (Continuação)	Formalização/Projeto Básico (ou pré-executivo) (Continuação)	Estudo das tolerâncias geométricas	Definir tolerâncias geométricas dos elementos de fachada e da fachada montada (especificar preliminarmente tolerâncias de fabricação e de montagem)	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
		Caderno de prescrições técnicas (CPT)	Sintetizar as prescrições técnicas da fachada, descrever as características construtivas dos elementos de fachada e definir critérios para recebimento da fachada após montagem. Para a elaboração do CPT, é necessário realizar a revisão e a compatibilização das definições de projeto com as tecnologias construtivas definidas	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
		Memoriais de projetos de cálculo do elemento fachada e seus componentes	Produzir um documento que apresente o dimensionamento da fachada e dos seus componentes, demonstrando, inclusive, o atendimento aos critérios de segurança	
PEO	Contratação de fornecedores/montadores	Diretriz para contratação de fornecedores e montadores dos elementos da fachada	Apoiar o empreendedor na escolha dos fornecedores/construtores da fachada (desenvolver um documento que resuma as exigências estabelecidas no caderno de encargos técnicos e administrativos, e no caderno de prescrições técnicas)	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos
		Contrato (faz parte o CPT)	Estabelecer as regras que o fornecedor deve adotar para o empreendimento em questão, no que diz respeito aos meios de produção e controles de aceitação de serviços e de produto (comprovação de qualidade)	Empreendedor, Projetista de fachadas, Coordenador de projetos, Fornecedor/Montador de fachadas
PEO	Detalhamento	Detalhamento construtivo: conjunto de projetos executivos detalhados	Completar e detalhar os projetos pré-executivos, respeitando as definições iniciais do projeto. Esse detalhamento dependerá das características do produto do fornecedor selecionado. Ratificar as tolerâncias de fabricação e montagem dos elementos de fachada	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos, Fornecedor/Montador de fachadas, Cosntrutora
		Projeto para produção, incluindo projeto do canteiro de obras e lista das interfaces da fachada com a execução	Finalizar o estudo para a produção e estabelecer o projeto do canteiro de obras (por exemplo, local de armazenamento, acessos, equipamentos de transportes, etc.), e identificar e solucionar as interfaces com a execução/montagem da fachada com a dos outros serviços	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos, Fornecedor/Montador de fachadas, Cosntrutora
		Compatibilização definitiva e síntese dos procedimentos	Reanalisar as interfaces e definir soluções, ou seja, realizar a compatibilização entre os detalhamentos construtivos de cada subsistema que tenha interface com a fachada, bem como a síntese dos processos de produção, identificando procedimentos contraditórios e resolvendo interfaces entre equipes	

Quadro 3.1: Fases, Etapas, Produtos e Conteúdos de um projeto de fachadas (construção)
Fonte: Oliveira, 2009 (Continuação)

Fase	Etapas/Produtos/Conteúdos/Agentes atuantes			
	Etapa	Produtos e Serviços	Conteúdo/Objetivo	Agentes Participantes
PEO	Planejamento para execução	Planejamento final da execução e cronograma físico-financeiro	Planejar a execução levando em conta as interfaces com a execução; definir cronogramas físicos e definitivos	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos, Fornecedor/Montador de fachadas, Construtora
Gestão e execução de obras	Direção e execução dos trabalhos	Execução das obras/montagem das fachadas	Executar a obra	Projetista de fachadas, Fornecedor/Montador de fachadas, Construtora
			Coordenar as várias atividades e empresas participantes da obra	
Entrega da obra e gestão do empreendimento	Recepção da obra	Memorial construtivo e projetos gráficos daquilo que realmente foi executado na fachada (Dossiê de finalização do processo)	Fazer documento para demonstrar que a obra foi realizada conforme exigências contratuais, atualizando as informações contidas no projeto executivo que tenham sido modificadas durante a execução da obra. Nesse documento deve constar também uma análise crítica dos projetos e da execução, visando retroalimentar outros processos. Tal documento deve viabilizar futuras operações de renovação	Projetista de fachadas, Coordenador de projetos, Fornecedor/Montador dos elementos de fachada, Construtora
			Projeto de manutenção da fachada	
	Gestão e Manutenção	Documento de retroalimentação/Banco de dados	Registrar eventuais falhas e analisar criticamente o desempenho da fachada durante o uso e operação do edifício	Construtora

O Quadro 3.1 apresentou as fases e etapas do desenvolvimento de projetos de fachada proposto por Oliveira (2009). Esta tabela servirá de base para que, no Capítulo 5, sejam propostas as recomendações a que se propõe este trabalho.

Comparando o quadro proposto por Lamberts (1997) e as fases e etapas propostas por Oliveira (2009), nota-se que ambos se relacionam. Pois na figura 3.1 Lamberts identifica as seguintes atividades: Seleção das condicionantes do projeto; Definição dos recursos de projeto resultando no Anteprojeto e a atividade de Avaliação de desempenho e Simulação no Projeto Executivo. Oliveira identifica atividades como: Levantamento de dados; Programa de necessidades; Estudo de viabilidade técnica; Seleção tecnológica e sugere a etapa de Anteprojeto como formalização destas atividades. E as atividades de definição de desempenho; Definição dos indicadores de conformidade; Lista de materiais; Compatibilização são formalizadas na etapa de pré-executivo ou executivo.

3.1 A Concepção do Projeto

3.1.1 Como conceber o projeto do subsistema fachada de modo a contribuir para a eficiência energética do edifício

Segundo Gonçalves e Duarte (2006), para a obtenção do desempenho ambiental da arquitetura somado ao conforto e à eficiência energética, o projeto de um edifício deve se desenvolver sob o estudo dos seguintes tópicos:

- Orientação solar e dos ventos;
- Forma arquitetônica, arranjos espaciais, zoneamento dos usos internos do edifício e geometria dos espaços internos;
- Características, condicionantes ambientais (vegetação, corpos d'água, ruído, etc.) e tratamento do entorno imediato;
- Materiais da estrutura, das vedações internas e externas, considerando desempenho térmico e cores;
- Tratamento das fachadas e coberturas, de acordo com a necessidade de proteção solar;
- Áreas envidraçadas e de abertura, considerando a proporção quanto à área de envoltória, o posicionamento na fachada e o tipo do fechamento, seja ele vazado, transparente ou translúcido;
- Detalhamento das proteções solares considerando tipo e dimensionamento;
- Detalhamento das esquadrias.

O Quadro 3.2, apresentado por Yeang (2008) no livro *Ecodesign*, mostra alguns passos a serem seguidos na concepção de um projeto desenvolvido com o objetivo de obter eficiência energética, em um terreno localizado em clima quente e úmido, zona equatorial, características estas que se igualam na maior parte do território brasileiro.

Quadro 3.2: Tipos climáticos e as respostas do projeto – Adaptado e traduzido da tabela *Climatic Types and Bioclimatic Urban Design Responses*
Fonte: Yeang (2008)

Tipo de Clima	Exemplo	Perfil básico	Principais questões do design	Respostas ao planejamento e o desenho urbano	Forma preferida para o edifício
Quente e úmido	Zona Equatorial	Quente diurnamente e sazonalmente com pequenas mudanças de temperatura Chuva forte Maior conforto em altitudes elevadas	Calor excessivo Alta umidade	Ventilação: extremidades abertas e formas dispersas Ruas amplas, largas e abertas para aproveitar o movimento do vento Janelas extensas Variar as alturas dos edifícios para propiciar a circulação da ventilação entre eles Combinação de alturas variadas dos edifícios Espaços amplos, abertos e sombreados Áreas sombreadas e arborizadas	Edifícios com configurações de planta dispersas e formas soltas com extremidades abertas para proporcionar a ventilação cruzada

O mapa da Figura 3.2 apresenta as regiões climáticas do Brasil. O Quadro 3.3 apresenta o grau de importância – de 1 a 7 – para as medidas de economia de energia em relação às diversas regiões globais de clima subtropical e tropical.

Conforme pode-se verificar, grande parte do território brasileiro encontra-se em clima tropical ou subtropical.



Figura 3.2: Divisão Climática do Brasil

Fonte: www.reconstruindoofuturo.blogspot.com (visitado em 17/07/11)

Quadro 3.3: Medidas de economia de energia pelas regiões globais - adaptado e traduzido da tabela *Energy-saving Measures by Global Regions*

Fonte: YEANG (2008)

Medidas de controle passivo	Medidas de controle ativo	Subtropical	Tropical
Ventilação natural		7	7
	Ventilação mecânica	5	6
Ventilação noturna		7	7
	Ventilação artificial	5	5
Esfriamento evaporativo		2	2
	Esfriamento livre	6	6
Construção pesada		2	2
Construção leve		5	5
	Aquecimento artificial	0	0
Aquecimento solar		0	0
	Aquecimento livre	0	0
Aquecimento incidental		0	0
Isolamento/permeabilidade		0	0
Controle solar/sombreamento		6	6
	Iluminação artificial durante todo o dia	3	3
Luz diurna		5	5
Índices de importância	Não é importante: 0/1/2	Importância média: $\frac{3}{4}$	Muito importante: 5/6/7

O mapa da Figura 3.3 apresenta o zoneamento bioclimático do Brasil conforme NBR 15220²⁵. O Quadro 3.4 apresenta a diretrizes construtivas indicada para cada um dos zoneamentos do mapa da figura 3.3.

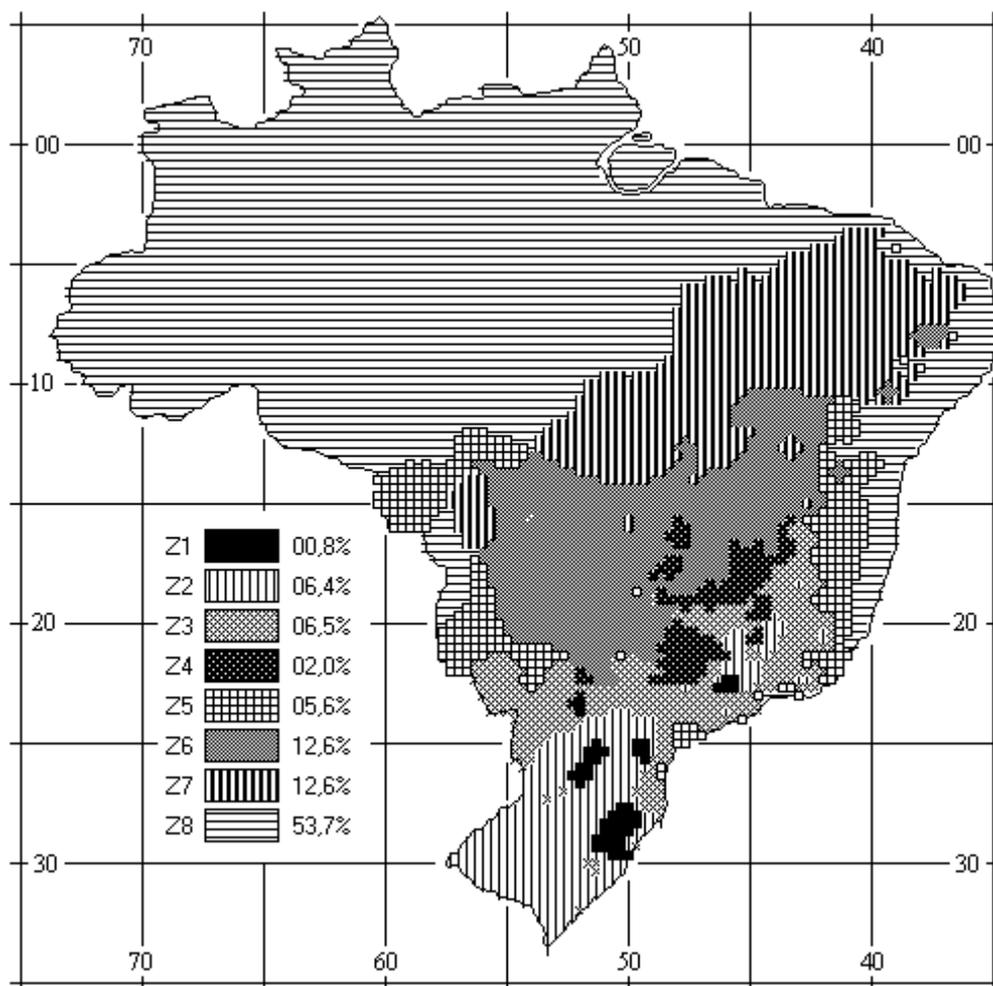


Figura 3.3: Zoneamento Bioclimático brasileiro
Fonte: ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações

²⁵ NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações

Quadro 3.4: Diretrizes construtivas para cada zona bioclimática apresentada no mapa da figura 3.3.

Fonte: ABNT NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações

DIRETRIZES CONSTRUTIVAS				
ZONEAMENTO BIOCLIMÁTICO	Tamanho das aberturas para ventilação	Proteção das aberturas	Vedações externas	Estratégias de condicionamento térmico passivo
Z1	Médias	Permitir sol durante o período frio	Parede: Leve Cobertura: Leve isolada	No inverno: Aquecimento solar da edificação. Vedações internas pesadas.
Z2	Médias	Permitir sol durante o inverno	Parede: Leve Cobertura: Leve isolada	No verão: Ventilação Cruzada. No inverno: Aquecimento solar da edificação. Vedações internas pesadas.
Z3	Médias	Permitir sol durante o inverno	Parede: Leve refletora Cobertura: Isolada	No verão: Ventilação Cruzada. No inverno: Aquecimento solar da edificação. Vedações internas pesadas.
Z4	Médias	Sombrear aberturas	Parede: Pesada refletora Cobertura: Leve isolada	No verão: resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior que a externa). No inverno: Aquecimento solar da edificação. Vedações internas pesadas.
Z5	Médias	Sombrear aberturas	Parede: Leve refletora Cobertura: Leve isolada	No verão: Ventilação cruzada. No inverno: Vedações internas pesadas.
Z6	Médias	Sombrear aberturas	Parede: Pesada refletora Cobertura: Leve isolada	No verão: resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior que a externa). No inverno: Vedações internas pesadas.
Z7	Pequenas	Sombrear aberturas	Parede: Pesada refletora Cobertura: Pesada	No verão: resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento. Ventilação seletiva (nos períodos quentes em que a temperatura interna seja superior que a externa).
Z8	Grandes	Sombrear aberturas	Parede: Leve refletora Cobertura: Leve refletora	No verão: Ventilação cruzada permanente.

Segundo Gonçalves e Duarte (2006):

“No âmbito do edifício, o estudo dos precedentes arquitetônicos mostra, a partir da Segunda Guerra Mundial, a banalização da arquitetura do *International Style*, que, acompanhada pela crença de que a tecnologia de sistemas prediais oferecia meios para o controle total das condições ambientais de qualquer edifício, levou à repetição das caixas de vidro e ao inerente exacerbado consumo de energia nas décadas seguintes, espalhando-se por cidades de todo o mundo.

Entretanto, olhando para a história da arquitetura e das cidades, foi apenas por um relativo curto espaço de tempo que as considerações sobre as premissas fundamentais de projeto e seu impacto nas condições de conforto ambiental e no consumo de energia não eram tidas como determinantes. Por isso, a arquitetura bioclimática ganhou importância dentro do conceito de sustentabilidade. Isso se deu pela estreita relação entre o conforto ambiental e o consumo de energia, que está presente na utilização dos sistemas de condicionamento ambiental artificial e de iluminação artificial. Com isso, o conforto ambiental ganhou, ou melhor, retomou sua importância para o projeto de arquitetura, tanto no mundo acadêmico como também na prática.”

Segundo Yeang (2008), para se obter êxito no projeto de um empreendimento é necessário projetar com integração sistêmica, o que significa começar na origem, ou seja, reduzir as entradas e saídas do sistema projetado com objetivo de minimizar, ou se possível eliminar, desde o início, sua dependência do meio ambiente para absorver e assimilar suas emissões e produções ao término da vida útil dos edifícios construídos. Essa atitude reduzirá as consequências negativas na biosfera. “O ambiente construído deveria estar a serviço do planeta e não o planeta a serviço do ambiente construído”.

Caram *et al* (2007) afirmam:

“A edificação atua como mecanismo de controle das variáveis do clima por meio de sua envoltória (paredes, piso, cobertura e aberturas) e dos elementos do entorno, e deve ser projetada de modo a proporcionar conforto e eficiência energética.”

De acordo com Yeang (2008), os projetistas deveriam analisar as características naturais do local, pois essas influenciarão ou até determinarão o *layout* e a forma do edifício. Além disso, outros fatores que podem interferir significativamente na forma da edificação são as técnicas passivas adotadas no projeto, as quais são influenciadas pelas condições climáticas do local. Estes dois aspectos

(características naturais e condições climáticas) deveriam ser determinantes tanto na forma do edifício com na seleção dos materiais a serem utilizados.

Para Gonçalves e Duarte (2006):

“[...] as premissas para a sustentabilidade da arquitetura são extraídas do contexto em questão e do problema ou do programa que é colocado para a proposição do projeto. Dessa forma, pode-se afirmar que a sustentabilidade de um projeto arquitetônico começa na leitura e no entendimento do contexto no qual o edifício se insere e nas decisões iniciais de projeto.”

É possível citar **cinco** modelos básicos para projetar adequando as condições de conforto interno com o ambiente construído: **modelo passivo; modelo misto; modelo total; modelo produtivo e modelo composto.**

Essencialmente, o **modelo passivo** cria condições de conforto interno sem fazer uso de qualquer recurso não renovável de energia. Os modos passivos providenciam conforto térmico por meio do uso de recursos de energia natural e dissipação de calor, tais como: radiação solar, ar interno, superfícies úmidas e vegetação. Neste sistema, os fluxos de energia são obtidos através de meios naturais, tais como: radiação, condução e convecção sem o uso de meios mecânicos. As soluções variam de um clima para o outro. No clima quente e úmido (maioria das cidades brasileiras), os arquitetos deverão reduzir o ganho solar e maximizar a ventilação natural.

“A título de exemplo, pode ser citado o uso do concreto exposto no interior de ambientes, contribuindo para o resfriamento passivo destes, em decorrência do efeito de inércia térmica²⁶” (GONÇALVES; DUARTE, 2006)

As estratégias passivas influenciam não só na forma do edifício como na orientação solar, na disposição do espaço interno, na cor, na porosidade dos materiais utilizados, os quais devem tirar vantagens das variações sazonais (sol e vento).

²⁶ Inércia térmica: nesse processo de trocas térmicas, o calor gerado no ambiente interno durante determinado período de ocupação é absorvido pela massa do concreto (presente nas vigas, lajes, pisos ou paredes) e, depois, pode ser retirado pela ventilação noturna, por exemplo. Há limites climáticos e construtivos para que esse processo ocorra com êxito; é fundamental, por exemplo, que a temperatura do ar externo seja inferior à interna durante o período de ventilação natural e que o fluxo de ventilação seja suficiente para a retirada do calor acumulado.

É preciso lembrar que a radiação solar, a temperatura e o vento variam de acordo com a topografia, o relevo e os efeitos da área urbana.

Segundo Caram *et al* (2007):

“[...] os potenciais de economia de energia através de melhores projetos são muito promissores. Métodos passivos de economia de energia devem ser considerados desde o início do projeto, para melhores resultados, sendo o principal conceito de técnica passiva o que considera os elementos construtivos agindo como um filtro passivo seletivo, permitindo ou impedindo o fluxo de calor, e estimulando o resfriamento natural, quando necessário.”

As técnicas passivas devem ser as primeiras a ser consideradas. Elas incluem a construção de envelopes (fachadas) que se orientem em relação ao caminho do sol, fazendo melhor uso da ventilação natural, projetem o desenho da fachada com zonas de sombreamento que podem ser feitas com vegetação, brises, etc.

Seguem abaixo algumas técnicas passivas a serem aplicadas à forma do edifício para direcionar o atendimento às condições de conforto interno da edificação:

- Configuração da forma e do *layout* do edifício.
- Orientação das fachadas principais (preferencialmente prevendo aberturas).
- Prever proteção solar das fachadas e de caixilhos de grandes vãos.
- Dispositivos de controle solar (sombreamento das fachadas e caixilhos).
- Conceitos de obtenção de luz diurna.
- Ventilação natural.
- Utilização de cores claras nas fachadas.
- Prever áreas de paisagismo.

- Sistemas de resfriamento passivo.

Segundo Cavalcante (2010), para avaliar o desempenho energético esperado para um edifício deve-se avaliar, além das propriedades térmicas da envoltória (seus dispositivos de proteção solar – *brises* ou persianas, e a sua orientação), outros aspectos, tais como: a existência de um átrio central, a pouca profundidade dos ambientes (que fazem melhor aproveitamento da iluminação natural), o *core*²⁷, que, quando localizado junto à fachada com maior incidência de radiação solar norte (N) e noroeste (NW), serve de anteparo solar, objetivando a redução dos ganhos de carga térmica pelos fechamentos translúcidos e consequente redução do consumo de energia para resfriamento.

Além do posicionamento do *core* junto às fachadas de maior exposição à radiação solar (N-NW), outras técnicas passivas aplicáveis em regiões de clima tropical e subtropical são a colocação de *brises* nas fachadas leste (E), nordeste (NE), oeste (W) e sudoeste (SW), e o uso de terraços, pois estes podem ser elementos de sombreamento das fachadas.

Outra técnica aplicável é a baixa porcentagem de WWR, que, embora benéfica ao desempenho da fachada, não é uma técnica de fácil aprovação pela a maioria dos incorporadores e investidores, uma vez que estes não aprovam o aspecto estético de um edifício com baixa porcentagem de elementos translúcidos. O vidro ainda é um elemento muito desejado para as fachadas de edifícios de escritórios.

De acordo com Cavalcante (2010):

“Fechamentos translúcidos permitem a entrada de luz natural no edifício e consequentemente, redução no consumo de energia para iluminação. Em contrapartida, grandes áreas de fechamento translúcido também podem permitir perdas ou ganhos excessivos de calor, que influem no consumo de energia para aquecimento ou resfriamento.”

²⁷ *Core*: espaço de serviços do edifício; local onde ficam localizados os elevadores, escadas, sanitários, copas e áreas técnicas (*shaft*, casa de máquinas, etc.).

Em cidades de climas tropicais, localizadas nas latitudes compreendidas entre 20 e 24, como as brasileiras São Paulo e Rio de Janeiro, nas faces do edifício voltadas para a região sul, o ideal é a utilização de vidros translúcidos conforme orientação de *Le Corbusier* na obra do Ministério da Educação – RJ, ou opacos.

Os vidros translúcidos reduzem o efeito estufa causado pela absorção de calor que aumenta o superaquecimento por radiação de onda longa. Nas fachadas norte, é aconselhável o uso de dispositivos solares, como o *brise*, cujo objetivo é minimizar os ganhos de calor. Porém, para o uso correto dos *brises*, é necessário o estudo tanto dos ângulos de incidência do sol quanto do campo lumínico, para que seja possível, além de minimizar os ganhos de calor, aproveitar o ganho da luz natural. Esses estudos geram distintos tipos de proteções solares, sobretudo os sistemas de báculos e parassóis de distintos tamanhos e comprimentos. Os dispositivos de controle solar deverão obedecer a razão de comprimento variável de 1:2 até 1:3 da forma do edifício, quando localizados em regiões próximas a zonas equatoriais.

Segundo Caram *et al* (2007):

“Entre os componentes da construção, os vidros funcionam como um dos elementos de maior potencialidade de aquecimento interno. Devido à sua transparência à radiação solar, possibilitam facilmente o ingresso de grande parte dessa energia no ambiente.

As áreas envidraçadas em fachadas merecem atenção especial em se tratando de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Considerando seu desempenho como fachadas, devem atender, também, às necessidades de iluminação, as quais, conjugadas com os requisitos necessários para conforto térmico, garantem a eficiência energética da construção.

A eficiência energética de um edifício pode ser maior ou menor, em função de um projeto consciente que tenha considerado as variáveis ambientais físicas e climáticas envolvidas, assim como a prática operacional e a manutenção dos dispositivos de controle energético, tais como brises, lâmpadas, aparelhos de ar condicionado. Portanto, é na fase do projeto da edificação que as decisões mais importantes referentes ao consumo energético são tomadas.”

3.1.2 Métodos passivos por meio de dispositivos de controle solar

Sombreamentos, claraboias, cores e vidros refletivos são dispositivos eficientes em fachadas para impedir os altos ganhos de calor, o sombreamento necessário nas faces mais quentes dos edifícios; sem observar a latitude, pode-se dizer que, geralmente, nas faces leste e oeste.

Yeang (2008) explica que, para que haja eficiência no uso dos dispositivos de sombreamento solar, é necessário compreender a geometria solar, ou seja, os ângulos de incidência dos raios solares no elemento vertical, a fachada, conforme demonstrado nas Figuras 3.3 até 3.6.

Os dispositivos de sombreamento, *brises*, podem, inclusive, se movimentar através de sistemas automatizados ou manuais para acompanhar o movimento do sol, obtendo assim um tempo de proteção maior ao longo do dia. Para tanto, são necessários cálculos específicos, que podem ser obtidos em programas de simulação computacional.

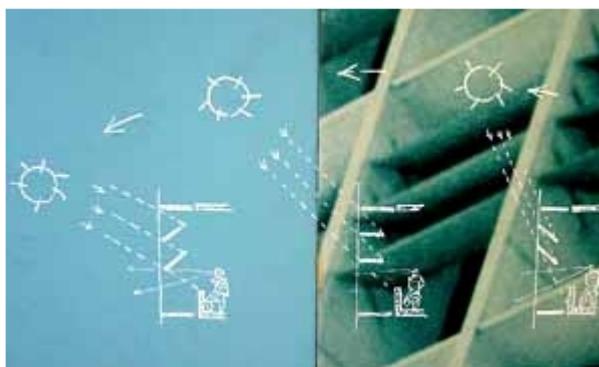


Figura 3.4: Comparação da incidência do sol estimada nos croquis incluídos no memorial do projeto e a realidade. Fonte: Vitruvius (2010)

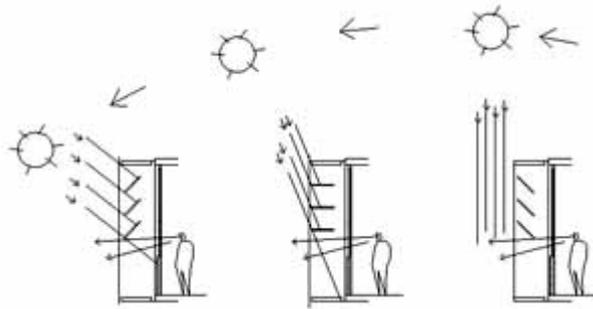


Figura 3.5: Comparação da incidência do sol estimada nos croquis incluídos no memorial do projeto e a realidade. Fonte: Vitruvius (2010)



Figura 3.6: Fachada norte do Ministério de Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro. Foto Nelson Kon. Fonte: Vitruvius (2010)



Figura 3.7: Fachada norte do Ministério de Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro. Foto Francisco J. Martínez. Fonte: Vitruvius (2010)

A mais eficiente forma de controle solar é obtida quando utilizamos as persianas sobre os vidros externos. Existe uma preferência pelos vidros claros, pois trazem mais claridade e uma relação mais natural entre os meios internos e externos. As tecnologias atuais conseguem oferecer vidros de boa transmissão luminosa e altos índices de coeficiente energético.

Outra forma eficiente de minimizar os ganhos de calor é através do uso de toldos nas fachadas, que podem ser utilizados através da criação de balcões, artifício muito utilizado em projetos de shoppings ou hotéis, e pouco ou nada utilizado em projetos de edifícios corporativos.

Yeang (2008) exemplifica alguns sistemas avançados que articulam prateleiras de luz (Figura 3.7) e tubos claros (Figura 3.8). Estudos demonstram que as prateleiras de luz podem introduzir luminosidade até 12 m além da parede externa, e os tubos claros tem se mostrado ainda mais eficientes.

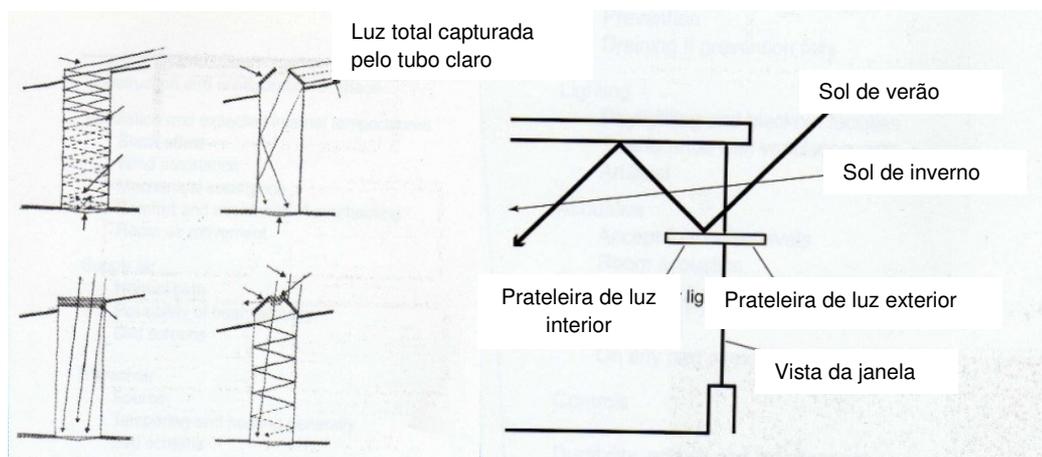


Figura 3.8: Comparação entre o tradicional e algumas tubulações de luz natural
Fonte: Yeang (2008)

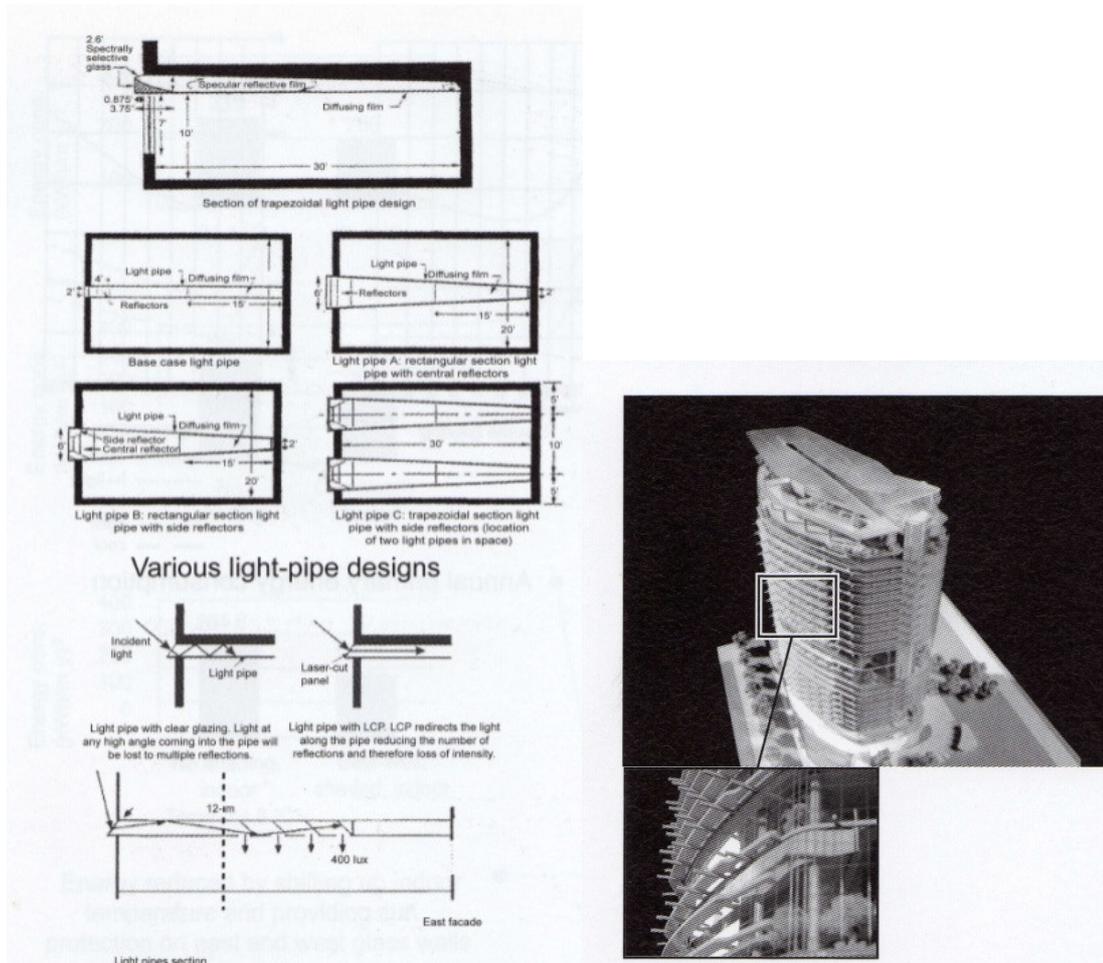


Figura 3.9: Variações de desenho para os tubos de luz e exemplo de um edifício com o sistema de tubulação de luz. Fonte: Yeang (2008)

Os edifícios altos são mais expostos aos impactos de temperatura externa, como vento e luz solar; portanto, a configuração e orientação destes edifícios têm que ser bem idealizadas. A Figura 3.9 ilustra as proporções ideais destas formas em relação às zonas climáticas. Vale lembrar que em qualquer uma das figuras onde X for maior que 6,00 m, ou seja, a altura da edificação for maior que 6,00 m, será necessária a utilização de ventilação mecânica.

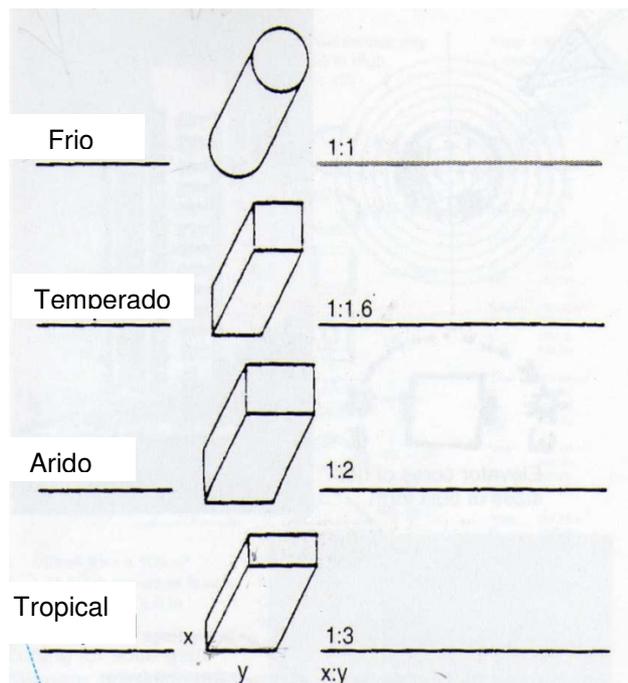


Figura 3.10: Proporções ótimas de edifícios
Fonte: Yeang (2008)

De acordo com Yeang (2008), partindo da linha do equador em direção ao norte, há o aumento da necessidade de aquecimento solar (faixa branca), embora a necessidade de proteção solar (faixa preta) siga o caminho inverso, conforme representado na Figura 3.10.

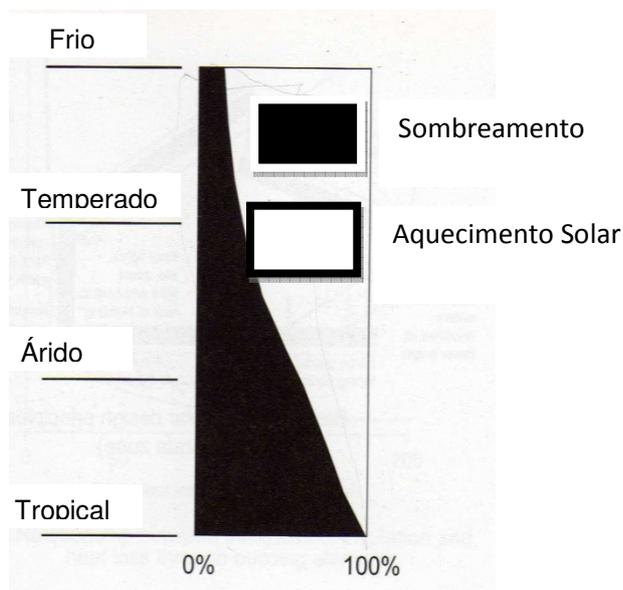


Figura 3.11: Porcentagem requerida de sombreamento e calor solar
Fonte: YEANG (2008)

Para Gonçalves e Duarte (2006):

“Quanto aos recursos tecnológicos envolvendo os sistemas prediais, são muitas as opções para minimizar o impacto ambiental dos edifícios, tais como painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas para geração de energia, painéis solares para aquecimento de água, sistemas de reaproveitamento de águas cinza e outros. Tais advenços da tecnologia, quando apropriados, devem fazer parte do desenvolvimento do projeto do edifício desde as suas primeiras etapas de concepção, e não serem inseridos como “acessórios”, para que possam contribuir de fato para o resultado arquitetônico e o melhor desempenho do conjunto.”

3.1.3 Métodos passivos por meio do enclausuramento e o projeto da fachada

Segundo Yeang (2008), depois do conteúdo da forma do edifício, a permeabilidade da “pele” do edifício para iluminar, aquecer e ventilar, somados à transparência visual, deverá ser controlada e capaz de se modificar, de maneira que o edifício reaja às trocas de condições climáticas. Essas variáveis incluem proteção solar total, proteção para entrada de luz externa e opções de ventilação naturais associadas a opções de ventilação mecânica. Se bem projetado, o invólucro do edifício pode render significativos benefícios na economia de energia.

As paredes externas devem interagir com o meio ambiente como um filtro. Elas deverão ter aberturas ajustadas com as operações de ventilação natural, ventilação cruzada, vistas para o exterior, proteção de ganho solar, obtenção de vento e controle de entrada da chuva, promover isolamento nos dias frios e a relação entre os meios internos e externos.

Para desenvolvimento do projeto das fachadas, Lamberts (1997) coloca que deve-se considerar simultaneamente todos os fatores que intervêm, como por exemplo, a radiação solar, diante da qual os diversos materiais da construção se comportam de maneira diferente; portanto, para melhorar entendimento e o desenvolvimento, deve-se dividir a fachada em fechamentos opacos e fechamentos transparentes (Figura 3.11).

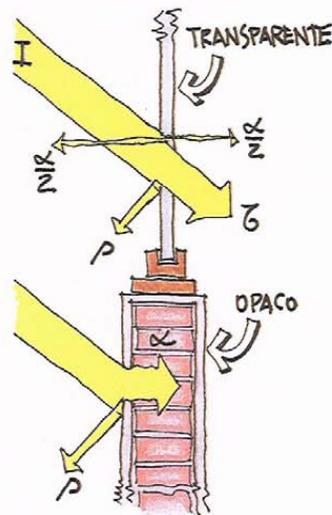


Figura 3.12: Transmissão da radiação nos fechamentos opacos e transparentes
Fonte: Lamberts (1997)

- **Fechamentos opacos:** incapacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno. As características importantes dos fechamentos opacos, cujos valores dependerão do material selecionado, são:
 - *Absortividade:* uma parcela da radiação incidente é absorvida pelo material e outra parcela é refletida (exemplo: se um material tem absortividade 0,8, significa que 80% do calor será absorvido e 20% será refletido), sendo sua principal determinante sua cor superficial.
 - *Condutividade:* maior ou menor capacidade de conduzir calor; quanto maior sua condutividade, maior a quantidade de calor transferida entre as superfícies. Uma variável importante é a espessura do material, pois através dela pode-se calcular a resistência do material e a passagem de calor. Podem-se utilizar camadas duplas de um mesmo material, deixando uma camada de ar entre as camadas.
 - *Emissividade:* é a quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo.
 - Resistência ou transmitância térmica.

- *Inércia térmica*: ao conduzir o calor, uma parte deste fica retida no material em função de sua massa térmica; o calor retido será devolvido para o interior na medida em que a temperatura do ar for menor que a da superfície. Em uma localidade onde as temperaturas são altas durante o dia e baixas durante a noite, pode-se utilizar o recurso de captar calor durante o dia para que o ambiente interno esteja quente durante a noite (Figura 3.12).

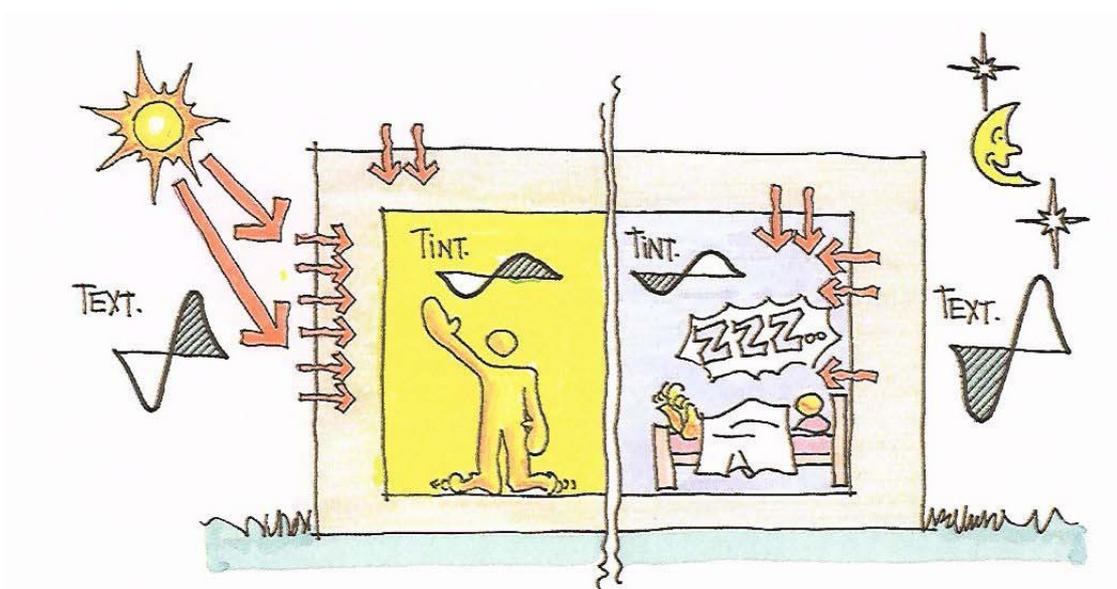


Figura 3.13: Inércia térmica (amortecimento e retardo)
Fonte: Lamberts (1997)

- **Fechamentos transparentes**: capacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno; a quantidade de radiação transmitida dependerá da transmissividade do vidro.

Segundo Caram *et al* (2007):

“Entre os componentes da construção, os vidros funcionam como um dos elementos de maior potencialidade de aquecimento interno. Devido à sua transparência à radiação solar, possibilitam facilmente o ingresso de grande parte dessa energia no ambiente. [...]”

É fundamental verificar se o tipo de vidro escolhido é o ideal para o projeto, pois equívocos na escolha podem causar vários problemas e, corrigi-los pode ser praticamente inviável. A especificação correta deve considerar as normas técnicas, mas também depende de conhecimentos sobre o comportamento do vidro diante da radiação solar. O mercado oferece variada gama de produtos, com diferentes cores, tipos e índices de refletância, para atender às necessidades específicas de cada situação. Cabe ao projetista, além de consultar os catálogos dos fabricantes, atentar ao desempenho energético da edificação, bem como às características óticas do material transparente selecionado.”

No projeto arquitetônico, as principais variáveis para os fechamentos transparentes são:

- Orientação e tamanho da abertura;
- Tipo de vidro;
- Uso de proteção solares internas e externas.

Os ganhos de calor provenientes dos fechamentos opacos e transparentes contribuem efetivamente para o valor final da carga térmica da edificação, e é em função da quantidade de carga térmica do edifício que será dimensionado o sistema de climatização da edificação.

Ainda de acordo com Caram *et al* (2007):

“As áreas envidraçadas em fachadas merecem atenção especial em se tratando de conforto térmico, pois, ao receberem radiação solar, contribuem consideravelmente para a elevação da temperatura no ambiente interno. Considerando seu desempenho como fachadas, devem atender, também, às necessidades de iluminação, as quais, conjugadas com os requisitos necessários para conforto térmico, garantem a eficiência energética da construção.”

3.1.4 A contribuição da fachada na iluminação do edifício

Aumentar a taxa de iluminação natural não significa necessariamente aumentar a área de aberturas, pois isto poderia resultar em maiores ganhos de calor solar para o interior do edifício, o que implicaria em um maior consumo para condicionamento.

Existem outras maneiras de obtenção de luz natural através de recursos arquitetônicos, como *brises*, prateleiras de luz, átrios, dutos de iluminação com espelhos, persianas reflexivas, paredes transparentes, poços de luz, telhados com *shed*, refletores externos, claraboias, o uso da fibra ótica como condutor de luz, entre outros, conforme apresentado na Figura 3.13.

Para se obter eficiência energética na iluminação é preciso um bom projeto e equipamentos de qualidade efetivamente empregados, que devem incluir:

- Integração com a luz natural;
- Iluminação de tarefa;
- Uso de sistemas de controle eficazes;
- Uso de tecnologias mais eficientes de iluminação.

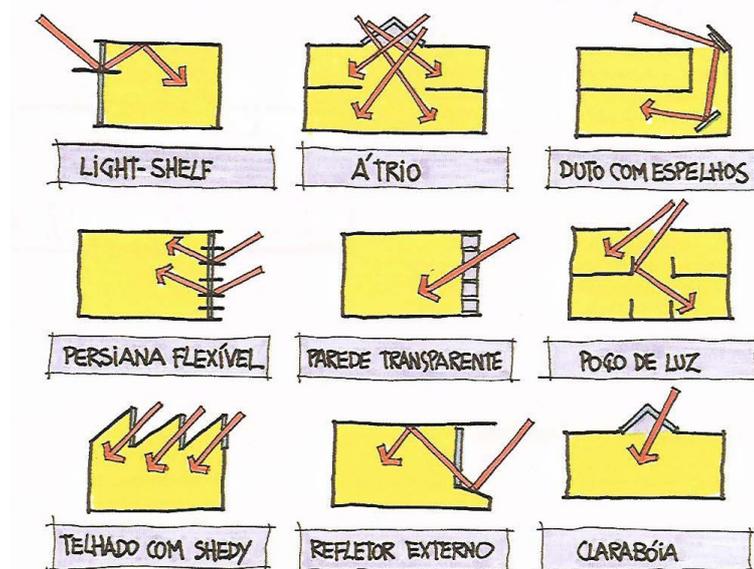


Figura 3.14: Desenhos esquemáticos de sistemas de iluminação natural

Fonte: Lamberts (1997)

Vale observar que a figura “telhado com *shedy*” é também chamada de “*lateral alta*”.

E a figura “*clarabóia*” é chamada de “zenital”.

Lamberts (1997) afirma que, sempre que a luz natural for adequada às necessidades de iluminação do ambiente, a iluminação artificial deverá ser desativada ou reduzida. Existem alguns sistemas de controle, como os sensores fotoelétricos, que podem ser empregados com essa finalidade. É necessário balancear os ganhos de calor que podem estar embutidos no ingresso de luz natural, pois isso poderá aumentar o consumo de energia para com condicionamento térmico.

A eficácia luminosa da luz natural direta é maior que muitas das alternativas de luz artificial, além de introduzir menor quantidade de lúmen para o interior do edifício do que a maioria das lâmpadas. Isso mostra que a luz natural pode ser uma alternativa atraente para diminuir a carga de resfriamento necessária em edifícios.

Com relação à iluminação natural, segundo Caram *et al* (2007), esta deve pressupor a integração com a luz artificial, permitindo aos usuários a utilização da luz natural e/ou a artificial, dependendo das suas necessidades. Elementos como as dimensões das aberturas e as especificações quanto ao tipo de vidro a ser empregado precisam ser decididos na fase do projeto executivo.

3.1.5 A decisão do uso da tecnologia

Citando Gonçalves e Duarte (2006):

“Fundamentalmente, projetar para a eficiência energética e para o menor impacto ambiental por parte da climatização implica duas etapas de tomada de decisão. O passo 1 é reduzir a demanda do edifício por energia, concebendo a arquitetura para isso, com múltiplos aspectos de projeto. Uma vez que essa etapa tenha sido otimizada, e tendo sido consideradas todas as restrições, sejam elas decorrentes de recursos financeiros, do terreno, das condições locais, do uso, ou ainda de outra ordem, parte-se para o passo 2. Nesse momento, estudam-se as possibilidades de utilização dos sistemas mecânicos e elétricos mais eficientes e compatibilizados com os potenciais do projeto de arquitetura, como no uso da iluminação artificial como complemento da natural.”

A decisão pelo uso da tecnologia tem que ser feita no início do processo de projeto, envolvendo os seguintes agentes da cadeia produtiva: incorporadora, arquiteto, construtora, consultores (de caixilhos, vidros e revestimento), fornecedor e instalador do sistema de fachada. O arquiteto e o consultor são os responsáveis pelo desenvolvimento do sistema, sendo abastecidos de informações de todos os demais agentes. O envolvimento de todos estes agentes resulta nos projetos de produção ou no projeto de fabricação.

3.2 A Prática de Mercado – Entrevista com Profissionais da Cadeia Produtiva do Empreendimento

O objetivo deste subitem é demonstrar como os profissionais do mercado pensam e concebem as fachadas de um edifício corporativo, tornando-o eficiente. Para tanto, foram realizadas entrevistas com profissionais que ocupam diferentes papéis na cadeia de valores (Quadro 3.4).

Quadro 3.5: Identificação dos profissionais entrevistados

Cargo/Função	Formação	Localidade	Empresa
Arquiteto - Projetista	Arquitetura	França	Escritório de arquitetura
Consultor de vidros e caixilhos	Arquitetura	Brasil	Consultoria
Coordenadora de Projetos	Arquitetura	Brasil	Construtora
Gerente de projetos	Arquitetura	Brasil	Construtora

Não houve um questionário padronizado para as entrevistas. Para cada um dos profissionais entrevistados foram colocadas questões diferentes de acordo com sua área de atuação, conforme segue.

3.2.1 Arquiteto Daniel Kaufman

A primeira entrevista foi com o arquiteto Daniel Kaufman, entrevistado em 20 de setembro de 2009. Formado na Argentina, Daniel reside e trabalha com desenvolvimento de projetos na França, país este onde é obrigatório projetar segundo critérios de eficiência energética estabelecidos no referencial HQE²⁸.

²⁸ Referencial HQE: Referencial francês de certificação de edificações sustentáveis.

O objetivo da entrevista é questionar sobre como fazer o desenvolvimento de um projeto de fachadas, obtendo explicações de quais passos devem ser resolvidos ou considerados para que se consiga um sistema de fachada com a eficiência energética, e de que forma o projeto da fachada pode contribuir para a eficiência energética do edifício como um todo.

Não há a pretensão de fazer uma análise de eficiência energética, mas sim de descrever como a fachada pode ou deve ser tratada para que se obtenha eficiência energética para o edifício.

Para a entrevista foram formuladas as seguintes questões e obtidas as seguintes respostas:

1. Descrever as etapas de projeto em que as fachadas têm seu desempenho especificado ou analisado, sob o ponto de vista da sustentabilidade (eficiência energética).

Kaufman coloca que a eficiência energética começa pela qualidade da envolvente, pois a energia mais barata é aquela que não se consome.

- O primeiro passo é conhecer as características do local de implantação (terreno) para o melhor aproveitamento das condições naturais oferecidas gratuitamente pelo meio ambiente (sol, chuva, vegetação, entre outros); as análises do local de implantação (terreno) são o ponto de partida de todo o trabalho de concepção. Trata-se de identificar os problemas e o potencial do terreno. Esta etapa é primordial, pois permite a identificação dos problemas que deverão ser minimizados e os aspectos positivos que valorizarão o projeto, além de encontrar vetores de economia antes de gastar dinheiro em técnica alguma.
- O próximo passo é a análise do meio físico (topografia, solos, hidrologia, geologia).

- Na sequência, analisa-se o clima (sol, vento, chuva).
- Os ecossistemas (fauna, flora, paisagem, vegetação).
- O meio construído e o meio humano (plantas industriais, atividades, bairro).
- A infraestrutura (ruas, percursos de pedestres e de bicicleta, redes ferroviárias, vias navegáveis).
- As redes (luz, gás, água, rede de esgoto, telecomunicações).
- Os recursos locais (energia, matérias primas, desperdício).
- Os serviços (transporte, coleta de lixo).
- O conforto (acústico, visual, olfativo).
- As contaminações (de solos, cursos de água).
- Os riscos sanitários (ar externo, ondas eletromagnéticas).
- E os riscos naturais e tecnológicos.

Um enfoque bioclimático permitirá o aproveitamento dos recursos do sítio a fim de minimizar as necessidades energéticas do projeto, através da otimização da fachada. Especificamente, isso significa que a fachada deve regular: a entrada de calor (raios solares, fazendo-os entrar no inverno, e evitar que saiam no verão), ventilação, iluminação natural e, obviamente, evitar vazamentos de água.

Uma vez que se conhece o potencial do terreno/local e se estabelece o desempenho que a envoltória/fachada deve ter, pode-se determinar seu desempenho, tanto energético quanto de conforto e funcional, sem esquecer seu funcionamento intrínseco como elemento de transição entre as condições

climáticas interiores e exteriores (como na fachada dupla, que regula a diferença de pressão entre o interior e o exterior), além das interações puramente construtivas, como as estruturas e as instalações. Além disso, os aspectos econômicos devem ser avaliados de modo a manter o valor orçado para o projeto.

2. Identificar quais são os agentes envolvidos e suas respectivas atribuições e responsabilidades com relação ao projeto de fachadas.

Segundo resposta do arquiteto Kaufman, normalmente existem seis agentes envolvidos no projeto de fachadas:

- Quem estabelece o programa de necessidades e o programa de desempenho ambiental, ou seja, o HQE/AQUA;
- Quem estabelece o programa de necessidades e o programa de desempenho ambiental, ou seja, o arquiteto sozinho ou o arquiteto em conjunto com o engenheiro;
- O especialista em fachadas, quando se trata de uma fachada complexa. Este profissional propõe as soluções técnicas e estabelece a declaração de condições;
- O fabricante, que pode propor soluções alternativas e, na sequência, fabricar e montar a fachada;
- A construtora, responsável pela verificação, validação e o desempenho.

3. Exemplos de edificações que possam servir como exemplo ou contra-exemplo dos itens acima.

O arquiteto cita exemplos positivos de projetos de fachadas concebidos com foco em eficiência energética, como Renzo Piano. O que foi feito no museu de ciências naturais em São Francisco demonstra tudo que já descrito anteriormente, é uma preservação da biodiversidade.”

Além de Renzo Piano, outra fachada interessante é o Edifício O 30 *St Mary Axe*, também conhecido como *Gherkin*, do arquiteto Norman Foster, a qual, além de outras funções, assegura a ventilação natural.

3.2.2 Consultor de fachadas

Entrevistado em 9 de novembro de 2010, o consultor de fachadas focou principalmente dois pontos: vidros e caixilhos.

Quanto aos vidros, os exemplos de patologias citados por ele muitas vezes provêm de erros de execução, como calçar indevidamente um caixilho, provocando esforços indevidos no vidro, o que pode gerar fissuras ou deformações; execução de colagem de forma inadequada ou em local inapropriado; má fixação de um caixilho que, com a movimentação da estrutura, pode acarretar o desprendimento da peça inteira; enfim, foram enumeradas diversas causas de origem quanto às patologias, e também as respectivas recomendações para evitá-las, conforme descrito abaixo:

- *Impactos de bordas*: para evitar as patologias nos impactos de borda é preciso ter cuidado na etapa do corte do vidro, a qual deverá ser feita com diamante, em local apropriado e não na obra. O procedimento do corte do vidro no local da instalação é totalmente errado, pois o corte exige ferramenta adequada, experiência do cortador e linchamento posterior para evitar lascas e agressões na borda do vidro, que vão resultar, com certeza, em quebras futuras dessas placas. Segundo o consultor, mesmo quando o instalador possui um diamante adequado e experiência no corte, essa operação não deve ser aprovada.

As Figuras 3.14 até 3.17 ilustram a descrição acima. De acordo com recomendações do consultor quanto ao processo de corte dos vidros, para evitar microfissuras, o vidro deveria ser cortado antes de ser laminado, com diamante, jato d'água ou laser, e, na sequência, passar por um processo de lapidação. A Figura 3.14 mostra um vidro que foi cortado após a laminação – procedimento errado.



Figura 3.15: Vidro cortado em obra
Fonte: Fotos tiradas pela autora em agosto de 2009

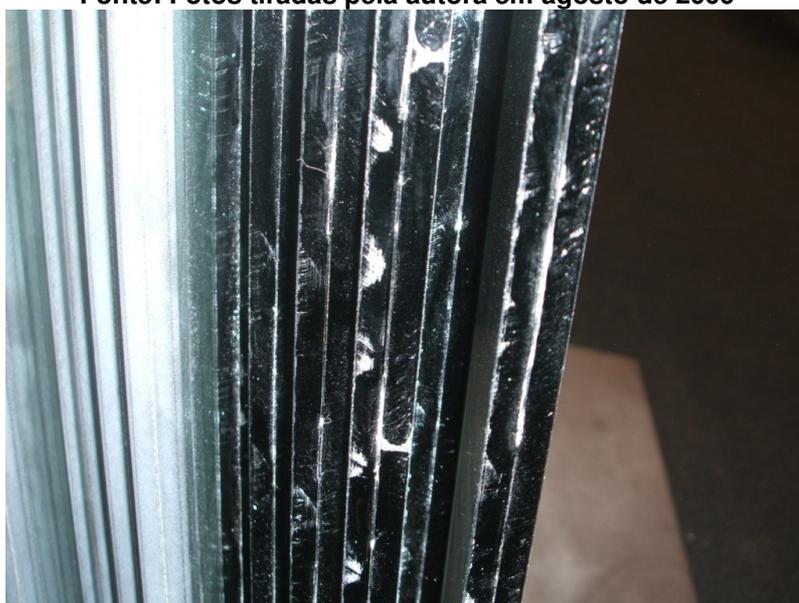


Figura 3.16: Vidros cortados em obra
Fonte: Fotos tiradas pela autora em agosto de 2009



Figura 3.17: Vidros com indicações das patologias em vermelho
Fonte: Fotos tiradas pela autora em agosto de 2009

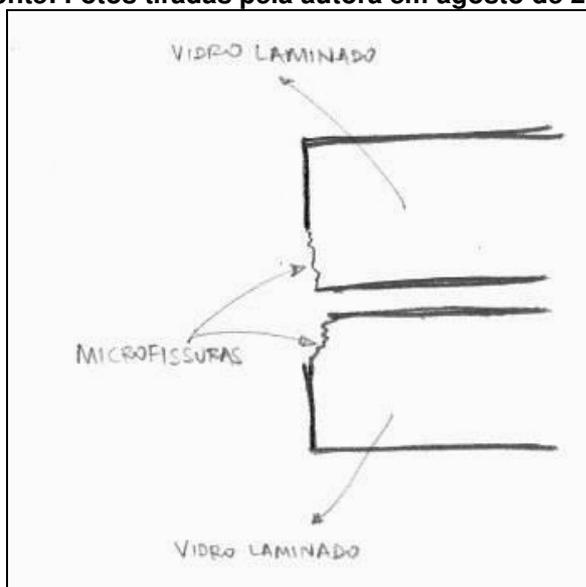


Figura 3.18: Croqui de vidros cortados após a laminação (deve-se garantir corte de vidro antes da laminação). Fonte: Croqui cedido pelo consultor em agosto de 2009

- *Agressões no transporte e na estocagem:* a estocagem incorreta em obra e no transporte é um dos principais motivos das deformações apresentadas nas fachadas. O trajeto para a obra em cavaletes mal dimensionados ou sobrecarregados pode ocasionar o empenamento das peças. O fato de serem apoiadas com uma inclinação não adequada acarreta danos nas bordas que,

futuramente, podem se transformar em rachaduras maiores ou prejudicar a estanqueidade da peça final.

É impossível desfazer a ação de deformação em vidros. Em suas consultorias, este consultor fornece o desenho do cavalete adequado para o transporte e a estocagem dos vidros. Trata-se de um cavalete de 90 graus (Figura 3.18). O vidro nunca pode apoiar-se diretamente em outro vidro ou em elemento de metal; nas ocasiões onde o precisar de apoio, este sempre deverá conter dois calços colocados separadamente, cada um a $\frac{1}{4}$ do vão (dimensão do vidro), sendo que os apoios deverão ser colocados nas 4 faces: em cima, embaixo e nas laterais. Para facilitar a vistoria do vidro quando entregue em obra, deve-se apoiá-lo em dois cavaletes, em pé, e examiná-lo contra a luz, favorecendo uma avaliação adequada da integridade e acabamento dos vidros.

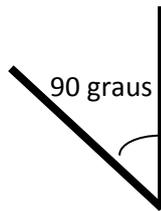


Figura 3.19: Ilustrando angulação do cavalete
Fonte: Croqui cedido pelo consultor em agosto de 2009

- *Quebra térmica:* a fissura da quebra térmica (Figura 3.19) é perpendicular e pode ocorrer muito próxima ao PVB²⁹. Atenção para os vidros com absorção maior de 65%, pois apresentam maior facilidade para quebras. Outra causa é que se o vidro for muito absorvente e o rolo muito claro, a luz incidente no rolo refletirá para o vidro, podendo ocasionar a quebra térmica.

O entrevistado explica que, para a especificação dos vidros de um determinado projeto, deverá existir uma relação aritmética entre os índices de transmissão de energia, refletância e absorção de calor.

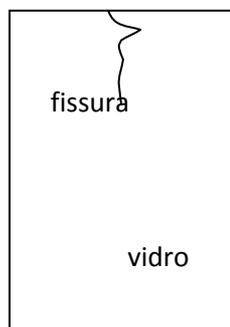


Figura 3.20: Ilustrando a fissura ocasionada por quebra térmica (perpendicular ao vidro)
Fonte: Croqui cedido pelo consultor em agosto de 2009

- *Deformação do vidro:* um problema bem comum citado pelo entrevistado são as diferenças de calor criadas para um mesmo vidro, o que pode ocasionar deformações e até mesmo fissuras. O vidro não pode ser instalado de forma que fique parte exposto ao sol e parte exposto à sombra, pois isso causará

²⁹ PVB é uma resina usada geralmente para as aplicações que requerem uma adesão forte, que tenha claridade óptica e flexibilidade. Sua aplicação principal é na produção de vidros laminados. É uma película colocada entre dois vidros (Fonte: Wikipédia).

deformação na placa e, conseqüentemente, na fachada. Muitos problemas com calor excessivo podem ser resolvidos com filtros especiais ou películas externas especificadas para cada projeto. Mesmo assim, existem soluções que nem sempre são funcionais em todas as regiões do globo. Faz parte do projeto a especificação dos vidros e filtros adequados ao clima do local.

- *Movimentação da estrutura:* é necessário verificar junto ao engenheiro estrutural qual deformação máxima a estrutura do prédio pode atingir, sendo que, normalmente, ela varia de 4,0 a 5,0 mm. A junta a ser adotada entre os vidros é calculada com base nesta informação.
- *Especificação dos tipos de vidro:* o consultor esclarece que a norma brasileira ainda permite o uso do vidro monolítico na face externa da fachada; porém, existe a previsão de mudança, na qual a norma passará a exigir o uso do vidro temperado e laminado.

Os cálculos realizados para a definição da espessura dos vidros são feitos considerando-se o uso dos vidros monolíticos, sendo que, se o vidro utilizado for o laminado, multiplica-se o resultado por 1.3, e se for o temperado, multiplica-se por 0,9.

Quanto ao aspecto, deve-se considerar a cor, o reflexo e a transparência do vidro. O consultor explica que o que dá a cor ao vidro é a massa, e que um vidro de 6 mm e um 8 mm, embora utilizem a mesma cor de massa, não apresentarão a mesma cor no resultado final.

Também foram citados problemas com manutenção e limpeza inadequada dos vidros durante a execução da obra, o que pode gerar custos externos e, inclusive, perda de peças inteiras.

Quanto aos caixilhos, ele comenta que, para cada caso, o projeto do caixilho deve ser muito bem calculado e executado, já que, muitas vezes, os caixilhos requerem adaptações únicas como, por exemplo, a implantação de uma manta

de silicone para melhor ajuste do escoamento da água, evitando futuros danos à estrutura do caixilho. É no projeto da caixilharia que se prevê a vedação necessária para cada fachada. A pressão externa é maior que a pressão interna, o que provoca a entrada da água pelo caixilho, caso a vedação não esteja projetada adequadamente. Ele esclarece que o maior esforço de ventos nas fachadas é a sucção, e não a pressão.

Outro ponto bastante frisado é a necessidade de atenção para definição e compatibilização da fixação da estrutura do caixilho na estrutura do prédio. Se à interface não for despendida uma atenção adequada, muitos problemas podem surgir, como na execução do ajuste fino dos caixilhos, ou em vigas mal executadas, causando o estreitamento ou alongamento do pé direito, impedindo a instalação adequada do caixilho.

3.2.3 Coordenador de projetos – Método Engenharia

Ao longo da entrevista realizada em 20 de setembro de 2009, a importância da realização da compatibilização entre os projetos foi citada diversas vezes. Este deveria ser um serviço contratado pela construtora e gerido pelo coordenador de projetos da construtora; a empresa contratada precisa ser isenta do processo de concepção e desenvolvimento do projeto (o ideal é que a empresa que realizará a compatibilização não tenha feito parte da equipe que trabalhou no desenvolvimento do projeto).

Uma das atribuições do escopo desta empresa é realizar uma ponte entre a equipe que cuida dos projetos e a equipe de produção, antecipando, assim, os prováveis problemas quanto à incompatibilidades e reduzindo as indefinições durante a execução da obra, que certamente trarão problemas. É importante, como mostra o fluxograma representado na Figura 3.20, que o coordenador de projetos faça o contato entre o compatibilizador e a produção.

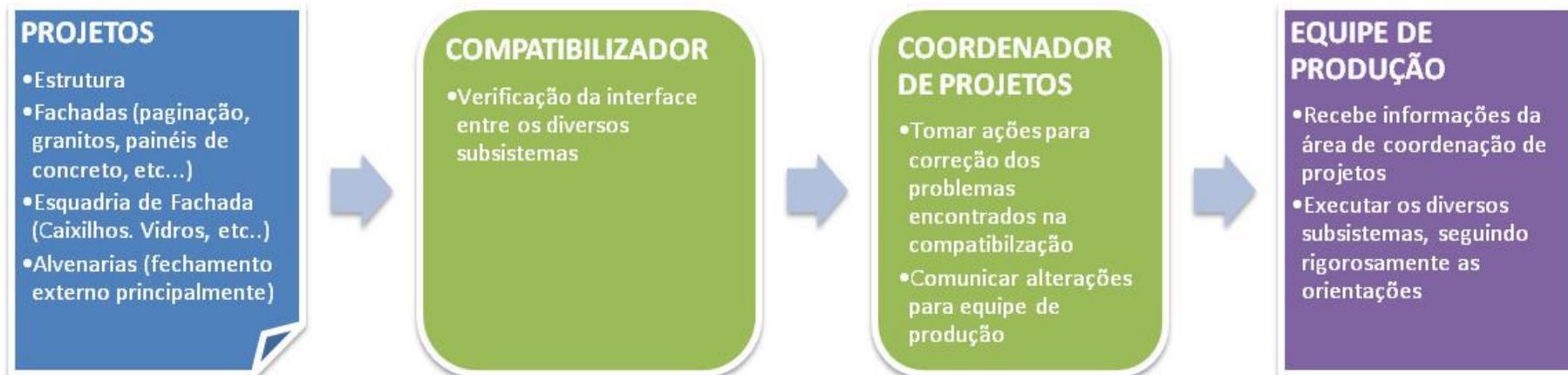


Figura 3.21: Fluxo de informações de compatibilização de projetos sugerido pelo entrevistado

Uma recomendação bastante interessante tratada nesta entrevista foi a realização de uma reunião de preparação de execução de obra, onde a equipe de projetos tem a oportunidade de repassar com a equipe de produção os detalhes das obras como um todo, e não somente com relação às esquadrias de fachada. Essa reunião é muito importante, pois toda a equipe de produção deve ter domínio sobre os projetos – principalmente se eles trouxerem alguma mudança, e ter em mente as principais interfaces entre os diversos subsistemas.

Outro cuidado que a equipe de projetos deve ter diz respeito aos erros de projeto, tanto daqueles envolvidos diretamente com o subsistema de esquadrias de fachada (caixilhos, vidros, etc.), quanto dos que, de certa forma, os afetam. Um exemplo disso é o caso do projeto de estruturas. Uma viga de borda posicionada erroneamente no projeto de estruturas certamente trará desvios superiores a 2,5 cm com relação às demais vigas de borda da fachada, impedindo que soluções como o simples desgaste da viga não sejam possíveis, em função do posicionamento das armaduras.

Mais um ponto a ser observado diz respeito às folgas dos diversos componentes da esquadria, ou seja, dos caixilhos, vidros, gaxetas, etc. Componentes com folgas muito distintas umas das outras podem resultar num acabamento final não satisfatório.

Durante a entrevista também foram levantados aspectos relacionados à execução das esquadrias e da obra como um todo. Por exemplo, deve-se atentar ao prumo das estruturas, alinhamento das faces externas das vigas, altura das vigas e nivelamento da laje durante a execução da estrutura. Deve-se ter precisão nos levantamentos topográficos, principalmente durante a transferência de eixos entre os pavimentos e marcações das esquadrias. Quaisquer erros de execução da estrutura ou marcações incorretas levarão a problemas durante a montagem das esquadrias. Deve-se prestar atenção também quando houver, no edifício, uma cremalheira, o que impede a montagem das esquadrias de fachada até sua desmobilização.

Outro ponto importante diz respeito à limpeza da área do canteiro destinada à realização da colagem dos vidros. Deve-se evitar o acúmulo de poeira nessas áreas, pois isso pode comprometer a qualidade do processo de colagem dos vidros e/ou provocar manchas.

3.2.4 Gerente de projetos – Método Engenharia

O gerente entrevistado em 21 de outubro de 2009 participou de obras cujas fachadas se tornaram referências arquitetônicas da cidade de São Paulo.

- *Centro Cultural Tomie Ohtake*. Fachadas com esquadrias de alumínio e pele de vidro fixadas com sistema *glazing*.
- *Hotel Unique*. Esquadrias de alumínio circulares com eixo pivotante horizontal (diâmetro de 1,80 m), esquadrias de fechamento do *lobby* em estrutura metálica com sistema de vidros encapsulados (vidros laminados com gaxetas vulcanizadas), fixadas com sistema *glazing*.
- *Edifício Berrini 500*. Esquadrias de alumínio utilizando sistema unitizado entrevãos.

Dentre os assuntos abordados na entrevista, foram discutidos:

- Cuidados com projeto: principalmente a compatibilização, que merece atenção especial para minimizar retrabalhos e interferências.
- A contratação de consultores/especialistas: nos projetos onde as fachadas são mais complexas, sempre é interessante avaliar a necessidade de se contratar consultores/especialistas, tanto para auxiliar a equipe de projeto

nas análises quanto a equipe de obra, durante o planejamento e execução das atividades.

Uma observação muito interessante feita pelo entrevistado é que, geralmente, um conceito muito importante é esquecido: “A esquadria é uma parte do sistema da fachada, ou seja, o desempenho da fachada não depende somente do sucesso das esquadrias, mas sim do conjunto como um todo”.

Deve-se atentar também para o fornecedor contratado para execução do serviço, pois é necessário verificar se ele está realmente capacitado tecnicamente para execução dos serviços, e também acompanhar, se possível, o processo de fabricação e montagem.

3.3 Modelos de Certificação/Avaliação de Eficiência Energética

3.3.1 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)³⁰

Foi inicialmente concebido por um comitê ligado ao *United States Green Building Council (USGBC)*, com o objetivo de promover a adoção de práticas sustentáveis de edificações ecologicamente corretas, criando e implementando padrões, ferramentas e procedimentos aceitos e entendidos internacionalmente. O USGBC é uma organização sem fins lucrativos que promove o desenvolvimento sustentável e a construção de edifícios verdes.

O LEED é um programa que fornece um sistema de avaliação para que os empreendedores, arquitetos e construtores possam regulamentar e direcionar os projetos para uma construção sustentável.

³⁰ LEED: Conjunto de indicadores baseado em normas, regulamentos e recomendações técnicas.

- Nesse programa, o processo de certificação dos empreendimentos é separado por categorias, sendo:
- *New Construction*: Novas construções e grandes projetos de renovação.
- *Existing Buildings: Operations & Maintenance* - Edifícios existentes: Operações e Manutenção.
- *Commercial Interiors*: Projetos de interiores de edifícios comerciais.
- *Core & Shell*: Projetos da envoltória e parte central do edifício.
- *Schools, Retail, Healthcare* - Escolas, Varejo e Saúde
- *Homes*: Residências.
- *Neighborhoods Development*: Desenvolvimento de bairro.

Dependendo de como é feita a configuração comercial de um edifício de escritórios, a certificação pode ser concedida em uma ou mais das quatro primeiras categorias acima citadas.

“A categoria CS (*Core & Shell*), por exemplo, é utilizada por empreendedores que irão construir edifícios de planta livre para aluguel dos andares, cujo arranjo (*layout*) final e escolha de materiais de acabamento serão definidos posteriormente pelos locatários e usuários finais” (LIU, 2010).

Cada item de pontuação tem pré-requisitos mínimos a serem atendidos, e a certificação é obtida pela somatória dos pontos alcançados, cujo valor determina se o empreendimento será classificado no nível Certificado Simples, Prata, Ouro ou Platina, sendo:

- Certificação simples: 40 a 49 pontos;
- Prata: 50 a 59 pontos;
- Ouro: 60 a 79 pontos;
- Platina: acima de 80 pontos.

De acordo com LEED BD+C V.3 (2009), os critérios para obtenção dos pontos de cada categoria estão organizados conforme apresentado no Quadro 3.5.

Quadro 3.6: critérios para obtenção dos pontos de cada categoria
Fonte: LEED BD + C V.3(2009)

Itens de pontuação	Pré-requisito	Pontos máximos possíveis de obter
Sustentabilidade do espaço	1 ponto	26
Racionalização do uso da água	1 ponto	10
Eficiência energética	3 pontos	35
Qualidade ambiental interna	2 pontos	15
Materiais e recursos	1 ponto	14
Inovação e processo de projeto	Não há	6
Créditos regionais	Não há	4
Total	8 pontos	110

Pré-requisitos são quesitos mínimos a serem atendidos pelo projeto, e caso não o sejam, o projeto não será certificado.

Para Cavalcante (2010):

“O LEED não se propõe a esgotar todos os parâmetros de sustentabilidade de edifícios, mas apresenta um conjunto de indicadores de desempenho para serem tomados como referência. Apesar das críticas que têm recebido, o interesse no Brasil pela certificação tem exigido uma melhoria substancial nos projetos. No Brasil e em São Paulo, o guia de referência LEED tem funcionado como um *check-list* de boas práticas de projeto a serem seguidas pelos projetistas, conforme nível de certificação almejado.”

3.3.2 Certificação AQUA

O AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é um referencial técnico para certificação em qualidade ambiental baseado no modelo francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*), cujos critérios de avaliação foram adaptados para o Brasil pela Fundação Vanzolini. O referencial está dividido em dois padrões:

- Sistema de Gestão Empresarial (SGE);
- Qualidade Ambiental do Edifício (QAE).

São avaliados 14 pontos característicos da edificação, divididos em quatro categorias, conforme representado no Quadro 3.6.

Quadro 3.7: Quadro das categorias avaliadas pela certificação AQUA

Categoria Ecoconstrução
1. Relação do edifício com seu entorno
2. Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos
3. Canteiro de obras com baixos impactos ambientais
Categoria Ecogestão
4. Gestão de energia
5. Gestão de água
6. Gestão de resíduos de uso e operação do edifício
7. Manutenção – permanência do desempenho ambiental
Categoria Conforto
8. Conforto higrotérmico
9. Conforto acústico
10. . Conforto visual
11. Conforto olfativo
Categoria Saúde
12. Qualidade sanitária dos ambientes
13. Qualidade sanitária do ar
14. Qualidade sanitária da água

As duas primeiras categorias referem-se ao gerenciamento dos impactos sobre o ambiente exterior, e as duas últimas referem-se à criação de condições para um espaço interior (da edificação) sadio e confortável.

A forma de avaliação baseia-se em três níveis de desempenho: Bom (atende as práticas correntes), Superior (atende as boas práticas) e Excelente (atende as melhores práticas). Para a obtenção do certificado é necessário que se alcance o perfil mínimo, cuja pontuação deve atingir pelo menos três pontos no nível excelente, quatro no nível superior e, no máximo, sete no nível bom.

A Fundação Vanzolini intervém por meio de auditorias em três fases do empreendimento:

- Final da programação (onde são definidos os objetivos de qualidade ambiental do empreendimento);
- Final da concepção (apresentação dos projetos do empreendimento);
- Final da realização (entrega da obra).

3.3.3 Etiqueta PROCEL Edifica

De acordo com o texto publicado no site da Eletrobrás (www.eletobras.com, visitado em 25 de junho de 2011), calcula-se que quase 50% da energia elétrica produzida no país sejam consumidos não só na operação e manutenção das edificações, mas também nos sistemas artificiais, que proporcionam conforto ambiental para seus usuários, como iluminação, climatização e aquecimento de água.

Nas novas edificações, ao se utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, se comparada com uma edificação concebida sem o uso dessas tecnologias. A possibilidade de aproveitamento deste potencial balizou a reavaliação dos principais focos de atuação do Procel³¹, o que resultou na criação do subprograma, Procel Edifica, especialmente voltado à Eficiência Energética das Edificações (EEE), aliada ao Conforto Ambiental.

O Procel Edifica (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações) promove condições para o uso eficiente da eletricidade nas edificações, reduzindo os desperdícios de energia, de materiais e os impactos sobre o meio ambiente. É um Plano de Ação para Eficiência Energética em Edificações, que visa construir as bases necessárias para racionalizar o consumo de energia nas edificações no Brasil.

Como subsídios à Regulamentação, são determinados os parâmetros referenciais para verificação do nível de eficiência energética de edificações. O Procel Edifica foi instituído em 2003 pela Eletrobrás/Procel, e atua de forma conjunta com o Ministério de Minas e Energia, o Ministério das Cidades, as universidades, os centros de pesquisa e entidades das áreas governamental, tecnológica, econômica e de desenvolvimento, além do setor da construção civil.

Assim, desenvolveu-se o RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) e seus documentos complementares, como o RAC-C (Regulamento de Avaliação da Conformidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de

³¹ O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) promove a racionalização do consumo de energia elétrica, para combater o desperdício e reduzir os custos e os investimentos setoriais, aumentando a eficiência energética. Criado pelo governo federal em 1985, é executado pela Eletrobrás. Instituído em 1993, o Selo Procel de Economia de Energia indica ao consumidor os produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria.

Serviços e Públicos), ambos publicados pelo Inmetro, e o Manual para aplicação do RTQ-C.

O RTC-C (Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos) especifica requisitos técnicos e os métodos para classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. Inicialmente de caráter voluntário, se aplica para edificações novas e existentes, ou seja, contém os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética do edifício.

O RAC-C apresenta o processo de avaliação das características do edifício para etiquetagem junto ao Laboratório de Inspeção acreditado pelo Inmetro. É o documento que permite ao edifício a obtenção da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia) do Inmetro (Figura 3.21).

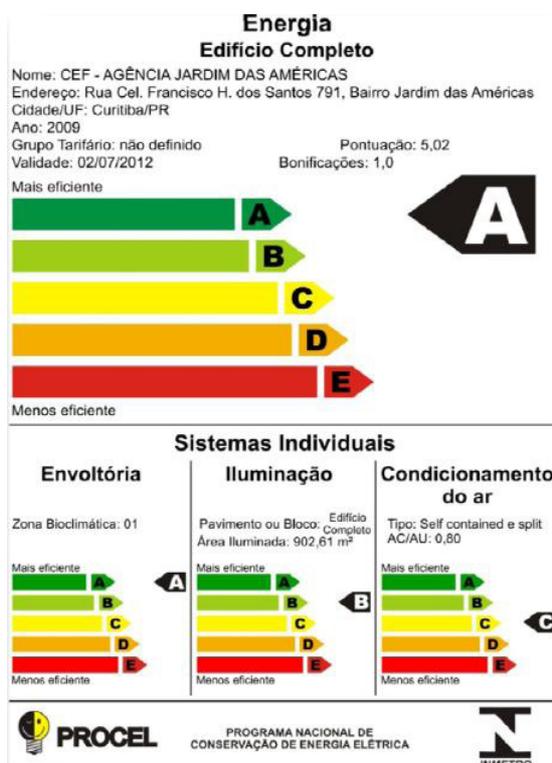


Figura 3.22: Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE, concedida ao edifício da Caixa Econômica Federal em Curitiba apresentando níveis de eficiência A
Fonte: Silva, 2010

Os edifícios submetidos ao RTQ-C devem atender a todas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vigentes e aplicáveis. A concessão da etiqueta será realizada para diferentes categorias de edifícios: edificação nova e edificação existente.

Nota: As especificações do RTQ-C são igualmente válidas para todas as categorias acima, exceto edificações existentes que tenham sido construídas até o ano de publicação deste RAC-C.

A ENCE tem como finalidade informar a eficiência energética do consumo de energia elétrica de edifícios comerciais, de serviços e públicos, através de sua classificação, que pode variar de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A classificação da edificação é obtida através de avaliações de projeto (etiquetagem) e verificações *in loco* no edifício construído (inspeção), realizadas segundo as normas brasileiras, o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e os procedimentos determinados no regulamento de avaliação da conformidade, executados por laboratório de inspeção. A avaliação de projeto pode ser feita pelo método prescritivo ou pelo método da simulação, sendo que essa decisão é facultada ao proprietário.

A supervisão deste Programa de Avaliação da Conformidade é de responsabilidade do Inmetro. O processo da etiquetagem é formado por duas etapas de avaliação: etapa de projeto e etapa de inspeção do edifício construído, onde se obtém a autorização para uso da etiqueta do Inmetro.

A etiquetagem do edifício é voluntária e aplicável a edifícios com área útil superior a 500 m² ou atendidos por alta tensão (grupo tarifário A). A etiqueta pode ser fornecida para o edifício completo ou para parte dele. Ela é dita parcial quando se refere à envoltória ou combinando a envoltória com um dos outros dois sistemas – iluminação ou condicionamento de ar.

O RTQ-C apresenta os critérios para classificação completa do nível de eficiência energética do edifício através de classificações parciais da envoltória, do sistema de iluminação e do sistema de condicionamento de ar. Uma equação pondera esses sistemas através de pesos estabelecidos no regulamento, e permite somar à pontuação final bonificações que podem ser adquiridas com inovações tecnológicas, uso de energias renováveis, cogeração ou com a racionalização no consumo de água. Para definição do nível de eficiência, dois métodos podem ser utilizados: o método prescritivo e o método de simulação.

A etiqueta está dividida em quatro partes:

- Etiqueta para edifício, pavimento ou conjunto de salas (ENCE base, com dados permanentes da edificação e os níveis de eficiência energética para os três sistemas);
- Etiqueta parcial para Envoltória;
- Etiqueta parcial para Sistema de Iluminação;
- Etiqueta parcial para Sistema de Condicionamento de Ar.

Para este trabalho, abordaremos apenas a Avaliação da Envoltória, justamente por se tratar do tema central deste trabalho.

Na avaliação da envoltória observa-se o seguinte:

- *Orientação do edifício*: a orientação será medida com bússola, verificando o ângulo do plano de uma fachada do edifício com o alinhamento do logradouro mais próximo. Este ângulo não poderá ser maior que 2 graus em relação ao especificado no projeto.

- *Fechamentos e Revestimentos da Envoltória*: para edifícios com ENCE da etapa de projeto, a comprovação dos materiais utilizados na Envoltória deverá ser feita através de fotos durante a execução dos componentes. Projeto do Edifício. Incorporadores e construtores que possuem programas de qualidade da construção civil poderão utilizar-se desta estrutura para comprovar os materiais empregados na Envoltória.
- Para edifícios construídos antes da publicação do RTQ, caso não existam provas relativas aos materiais utilizados, a comprovação poderá ser feita através de laudo técnico do responsável técnico, especificando detalhadamente os materiais e camadas aplicados na construção da Envoltória.
- Para isolantes térmicos a comprovação será feita com laudo do fabricante, que deve conter, no mínimo, os seguintes dados técnicos: material, espessura, condutividade térmica, método de ensaio utilizado e temperatura média de ensaio, junto com o documento fiscal da aquisição dos isolantes térmicos.
- *AVS – Ângulo Vertical de Sombreamento*: é o ângulo formado entre dois planos que contêm a base da abertura, sendo que o primeiro é o plano vertical na base da folha de vidro ou material translúcido, e o segundo é formado pela extremidade mais distante da proteção solar horizontal até a base da folha de vidro ou material translúcido (RTQ-C, 2009).
- *AHS – Ângulo Horizontal de Sombreamento*: é o ângulo formado entre dois planos verticais, sendo que o primeiro plano é o que contém a base da folha de vidro ou material translúcido, e o segundo é formado pela extremidade mais distante da proteção solar vertical e a extremidade oposta da base da folha de vidro ou material translúcido (RTQ-C, 2009). Este ângulo é medido no local, com trena manual ou eletrônica.

- *Absortância da Envoltória*: a comprovação da absortância definida em projeto, confrontada com a executada na obra, será feita através de método de medição das refletâncias, com espectrofotômetro. Com os valores das refletâncias referentes a cada comprimento de onda, calcula-se a refletância total, utilizando-se o método de cálculo da absortância.
- *Componentes transparentes ou translúcidos*: vidros e acrílicos empregados na Envoltória deverão apresentar um laudo do fabricante com as propriedades térmicas e ópticas (transmissão luminosa, reflexão luminosa interna e externa, absorção, coeficiente de sombreamento, fator solar e transmitância), junto com o documento fiscal da aquisição dos produtos, que deve conter as descrições das especificações técnicas do produto de acordo com o laudo.

A Figura 3.21 refere-se à etiqueta recebida pelo edifício da Caixa Econômica Federal, construído em Curitiba. A nota da etiqueta varia de 1 (para os menos eficientes, representado pela letra E) a 5 para os mais eficientes (representado pela letra A). Um imóvel com a etiqueta A apresenta um consumo 40% menor do que um com a etiqueta E (Silva, 2010).

3.4 Critérios de Desempenho

Quanto aos critérios de desempenho a serem considerados na definição das fachadas, estes estão de acordo com a norma de desempenho ABNT NBR 15575:2010, com as normas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), e com os requisitos dos usuários propostos pela Norma ISO 6241 – Desempenho dos Edifícios. As etapas para a elaboração da especificação técnica das esquadrias, com base nos requisitos de desempenho, são descritas a seguir.

A norma desempenho ABNT NBR 15575:2010, que dita critérios mínimos de desempenho para habitações de interesse social, é direcionada para edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. Ela será referência de desempenho para o desenvolvimento de projetos de fachadas de outros segmentos, além do segmento a que se destina, uma vez que trás orientações quanto ao mínimo esperado pelo usuário e necessário ao desempenho da edificação, e será adotada nos casos onde não há outra norma pertinente.

No projeto arquitetônico definem-se, preliminarmente, as dimensões dos vãos e as tipologias dos caixilhos e das esquadrias. Para os dimensionamentos dos vãos, é recomendável consultar o Código de Obras de cada cidade. Após a definição das tipologias, inserem-se no projeto executivo de arquitetura as representações gráficas das esquadrias.

Definidas as dimensões dos vãos e as tipologias, iniciam-se os estudos para a escolha do sistema a ser utilizado. Para este estudo, conta-se com a expertise dos consultores de vidros e caixilhos, de rochas e de revestimentos externos (dependendo de quais sistemas serão estudados). Para os sistemas de esquadrias de fachadas, o consultor de vidros e caixilhos realizará o cálculo do desempenho estrutural mínimo dos perfis de alumínio, de acordo com a carga de ventos, a pressão de ensaio, as características da obra e as normas brasileiras; após estes cálculos, é possível definir o produto a ser adotado.

Segundo Reis (2006), a maioria dos projetos arquitetônicos para edifícios corporativos demandam esquadrias sob medida; para isso, o mercado conta com a indústria de produtos especiais, que fabricam seus produtos utilizando-se de sistemas construtivos próprios ou desenvolvidos pelos produtores de alumínio primário e extrusoras.

Ainda de acordo com o autor mencionado, o que difere as linhas de esquadria convencionais e os sistemas de esquadrias especiais é a qualidade da solução adotada. Normalmente os sistemas de esquadrias ou sistemas de fachada são mais ricos em detalhes técnicos, e as empresas que as desenvolve se

responsabilizam pelos testes de laboratório, possibilitando que as esquadrias apresentem certificados de adequação às exigências das normas.

No caso de produtos de linha, a definição das espessuras mínimas dos perfis será a base para a escolha da “família de produtos”.

Tanto os produtos de linha quanto os sistemas de esquadrias especiais deverão atender aos requisitos de desempenho estabelecidos pelos cálculos obtidos de acordo com as características específicas de cada obra. Segundo Reis (2006), os produtos de linhas convencionais referem-se aos produtos de uso comum no mercado, desenvolvidos com perfis de alumínio extrudado de série (20, 25, 28, 30, 42). Um produto da série 20, por exemplo, refere-se ao conjunto de produtos cuja dimensão básica possui espessura de 20 mm.

Na especificação dos acabamentos, é possível optar por três diferentes tipos de tratamento de superfície para os perfis de alumínio: anodização, jateamento com anodização ou pintura eletrostática a pó. Prossegue-se a especificação das esquadrias, verificando a qualidade dos componentes ou acessórios, e finalmente, após essa verificação, seleciona-se a empresa responsável pela fabricação, montagem e instalação das mesmas. A observação dos critérios de desempenho no trabalho de especificação técnica dos caixilhos de alumínio permite a adequação do uso destes produtos ao tipo de edificação, considerando o padrão da obra e sua localização. Essa observância também promove o uso racional do material, adequando suas dimensões de modo a evitar desperdícios.

Reis (2006) afirma que o desempenho dos caixilhos contribui para a qualidade da arquitetura, que pode ser definida a partir de suas características mensuráveis, considerando-se como arquitetura de qualidade aquela em que a obra atende ao programa solicitado, cumpre o custo e o prazo programados; aquela cuja edificação resultante é estável e os seus órgãos atendem às respectivas funções. Neste caso, as técnicas construtivas foram previstas

corretamente e a obra funciona da forma que o usuário esperava, como o arquiteto a concebeu e como a construtora foi orientada para executá-la.

Uma vez atendidas todas as expectativas e anseios do cliente interpretados pelo arquiteto, para serem considerados de qualidade os projetos multidisciplinares devem incorporar todas as áreas técnicas afins: cálculo estrutural, instalações hidráulicas, sanitárias, elétricas, eletrônicas, telefônicas etc. Um projeto de qualidade deve também conter em seu processo construtivo, implicitamente, coerência com a mão de obra local, estudo de custo fundamentado, relações e listagens de todos os materiais a serem empregados, custos e prazos previstos, organização administrativa de compras, entregas, pagamentos e, certamente, e na medida do permitido pelo cliente, deve incorporar ao desenho conceitos culturais de cada sociedade.

Com base nos dados citados, observa-se que, no momento do projeto, é preciso que as informações estejam claras, completas e atualizadas, e o acesso a elas deve ser fácil e rápido. É necessário, ainda, que o arquiteto e os demais projetistas conheçam os materiais disponíveis no mercado.

3.4.1 Normatização

Além da função estética, que contribui para a valorização do edifício, as fachadas ou vedações verticais externas, incluindo os caixilhos, têm a função de criar as condições de habitabilidade para o edifício, e também pode-se dizer que as fachadas correspondem ao elemento de comunicação entre os meios externo e interno do edifício, e precisam cumprir suas funções com o desempenho adequado.

Conceitua-se desempenho como o "comportamento de um produto em utilização." De acordo com o CIB³² (1975), esta palavra foi introduzida no vocabulário técnico para caracterizar o fato de que um produto deve apresentar determinadas propriedades que o habilitem a cumprir suas funções, quando submetido a certas ações. O desempenho de um produto pode ser entendido como o resultado do equilíbrio dinâmico que se estabelece entre o produto e o meio.

O desempenho do subsistema fachada ou vedações verticais (conforme denominação da ABNT NBR 15575:2010), assim como de qualquer outro subsistema, deverá ser definido no projeto da edificação. Entende-se por projeto:

“Projetar é definir previamente o que, como e quando produzir, sendo atribuição do projeto do produto a definição do que produzir e do projeto para produção, de como e quando produzir.” (SABBATINI, 2002)

Ou ainda segundo o guia do PMBOK (2004):

“Um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Temporário significa que todos os projetos possuem um início e um final definidos. [...] a duração de um projeto é finita.”

As principais características dos projetos, segundo o PMBOK (2004), são:

“Temporários’, possuindo um início e um fim definidos; planejados, executado e controlado; entregam produtos, serviços ou resultados exclusivos; desenvolvidos em etapas e continuam por incremento com uma elaboração progressiva; realizados por pessoas e com recursos limitados.”

Afinal, a capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento de edifício é muito maior nas fases iniciais do projeto, conforme demonstrado na Figura 3.22.

³² CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction.*

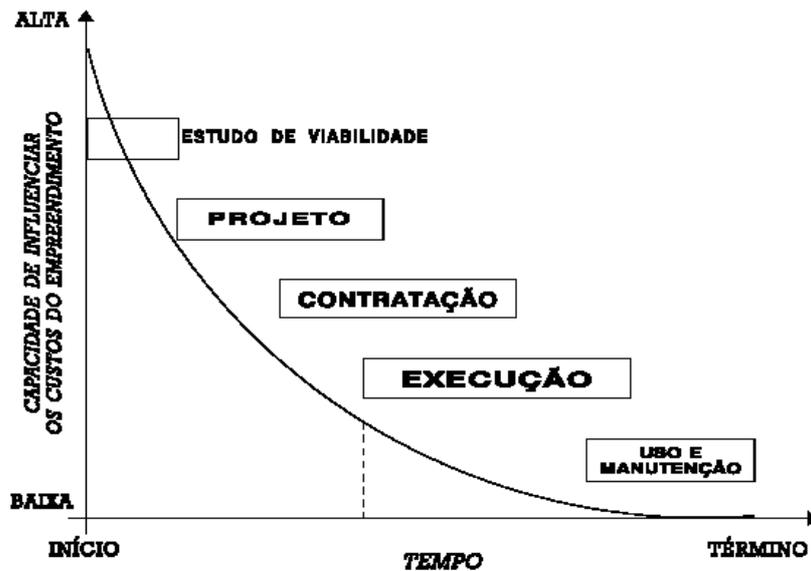


Figura 3.23: Gráfico da influência do projeto nos custos do empreendimento ao longo das etapas de desenvolvimento do empreendimento
Fonte: CII (1987) *apud* Melhado; Agopyan (1995)

A ABNT NBR 15575:2010 apresenta uma lista de exigências dos usuários, a qual foi utilizada para definir as exigências dos usuários, a considerar:

a) Exigências de segurança:

1. Segurança estrutural
2. Segurança contra incêndio
3. Segurança no uso e operação

b) Exigências de habitabilidade

1. Estanqueidade
2. Conforto térmico
3. Conforto acústico

4. Desempenho lumínico
5. Saúde, higiene e qualidade do ar
6. Funcionalidade e acessibilidade
7. Conforto tátil e antropodinâmico

c) Exigências de Sustentabilidade

1. Durabilidade e manutenibilidade
2. Adequação ambiental

Conforme representado na Figura 3.23, o subsistema fachadas ou vedações verticais é resultado do triângulo exigências, projeto e desempenho. As exigências dos usuários resultam em premissas de projeto e, conseqüentemente, em projetos bem elaborados que resultam em edifícios com desempenho adequado.

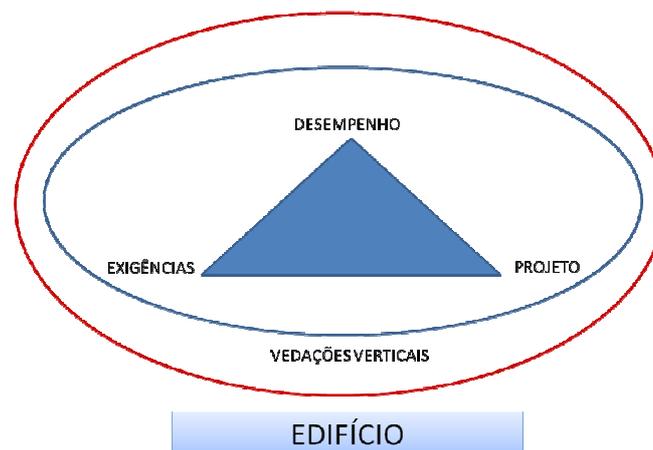


Figura 3.24: Ilustração dos três vértices de desenvolvimento que forma o subsistema de um edifício

As normas de desempenho de edifícios são específicas para cada uma das classes de edifícios, sendo que, para cada subsistema, são identificadas as

exigências aplicáveis, assim como estabelecidos os requisitos, critérios e métodos de avaliação específicos e premissas de projeto para atendimento a cada exigência.

Além das exigências para cada subsistema, existem outras que são de aplicação geral, o que significa que elas tratam das diversas interações e interferências entre os subsistemas.

Quanto às exigências de segurança, temos:

- Segurança estrutural;
- Estabilidade e resistência mecânica;
- Deformabilidade (deslocamentos, fissuração e descolamentos), definida como:

“A capacidade que a parede de alvenaria possui de manter-se integra ao longo do tempo, distribuindo as deformações internas ou externas impostas em micro fissuras não prejudiciais ao seu desempenho.”
(SABBATINI, 1998)

- Os fatores dos requisitos de desempenho estrutural a serem considerados para as fachadas se dividem em estado limite de utilização e estado limite último (Quadro 3.7).

Quadro 3.8: Fatores dos requisitos de desempenho estrutural para as fachadas.
Adaptado do quadro da norma de desempenho
Fonte: ABNT NBR 15575:2010

ESTADO LIMITE DE UTILIZAÇÃO ³³	ESTADO LIMITE ÚLTIMO ³⁴
<ul style="list-style-type: none"> • Deformações • Ações do vento • Alterações volumétricas • Impactos • Cargas concentradas • Interação com as instalações • Interação com portas • Peças suspensas 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidade e resistência • Ação do vento • Alterações volumétricas • Impactos

- Estabilidade e resistência estrutural;
- Deslocamentos, fissuração e descolamentos;
- Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos sistemas de vedação externa;
- Impacto de corpo mole nos sistemas de vedação externa com ou sem função estrutural;
- Ações transmitidas por impactos nas portas;
- Impacto de corpos duros incidentes nos sistemas de vedação externa;
- Cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas.

Como consequência ao não atendimento do desempenho solicitado para o requisito de segurança estrutural, podem ocorrer fissuras, trincas, esmagamento e colapso.

³³ Estado limite de utilização: “Que determina a formação de fissuras, deformações, falhas localizadas e outras avarias que possam comprometer a utilização do componente ou elemento, comprometendo a durabilidade do edifício ou os níveis de satisfação do usuário” (SILVA, 2003).

³⁴ Estado limite último: “Aquele que determina a ruína” (SILVA, 2003).

Os parâmetros de projeto a serem tratados são: unidade de alvenaria e junta de argamassa, ou seja, aderência do conjunto argamassa e os blocos; tipo de aparelho adotado, ou seja, vínculo entre a vedação e a estrutura de concreto; aderências entre as juntas e espessuras de tratamento das juntas.

- Resistência a impactos de corpo mole: este requisito se traduz pela resistência dos sistemas de vedação externa à energia de impacto dos choques acidentais gerados pela própria utilização do edifício ou choques provocados por tentativas de intrusões intencionais ou não.
- Resistência e Reação ao fogo: as fachadas devem resistir à propagação de chamas; desenvolvimento da fumaça e do calor, resistência a chama, através da proteção contra descargas atmosféricas, proteção contra risco de ignição nas instalações elétricas, proteção contra risco de vazamentos nas instalações de gás.

“O desempenho das vedações verticais frente ao fogo influenciará fortemente o desempenho do edifício como um todo, dada a sua participação significativa em eventos desta natureza, favorecendo ou retardando o desenvolvimento e propagação das chamas nas construções. [...] Na avaliação de desempenho do edifício o comportamento presumível dos seus componentes e elementos é verificado a partir da análise, principalmente da resistência e reação ao fogo dos mesmos.” (SILVA, 2003)

“É o tempo durante o qual os elementos da construção, sujeitos a uma elevação padronizada de temperatura, mantém a sua estabilidade ou integridade, não permitindo, no caso de elementos separadores de ambientes, a elevação acentuada de temperatura no lado não exposto ao fogo, nem a passagem de gases quentes ou chamas.” (BERTO, 1988, citado por SILVA, 2003)

“O conceito de reação ao fogo exprime a contribuição dos materiais, componentes e elementos da construção ao alimentar e propagar o fogo, assim como desenvolver fumaça e gases nocivos”. (KATO, 1988, citado por SILVA, 2003)

Quanto às exigências de habitabilidade, temos:

- Estanqueidade: cuidados com a estanqueidade dos ambientes, subsistemas e componentes da edificação em relação a elementos líquidos, sólidos e gasosos, como por exemplo, à água de chuva ou lavagem; ao ar, gás,

poeira, neve, fumaça, som, etc. No que se refere à qualidade do ar, os ambientes devem possuir ventilação adequada e controle de odores, além de cuidados com a pureza do ar.

A falta de desempenho da fachada em relação à estanqueidade pode originar problemas como: variação dimensional dos componentes e elementos construtivos, proliferação de microorganismos, manchas e eflorescência, aumento na transmissão do calor, deteriorização de revestimentos, corrosão de metais, condensação e comprometimento da habitabilidade.

Quando a causa dos problemas é a água, esta pode originar-se através da execução da obra, da ascensão pelo solo (capilaridade), de infiltrações provenientes de vazamentos nas instalações, entre outros. O acúmulo de água nas fachadas de edifícios provoca manchas e reduz a vida útil dos materiais. Como medidas de precaução, recomenda-se o afastamento das lâminas d'água que escorrem pelas fachadas através do uso de pingadeiras sob os peitoris das janelas, que podem ser pré-moldados ou fabricados no próprio canteiro, com concreto ou *grout* industrializado, em fôrmas metálicas etc. Além disso, os materiais de construção (areia, cimento, cerâmica, concreto, argamassa) possuem uma atração molecular por água, e essa retenção de umidade propicia o surgimento de fungos que atacam cimento, cal, argamassa de revestimento e pintura. Com isso, acontece a penetração da umidade para o interior do edifício. Sendo assim devem-se adotar medidas de dissipação de água ao longo de fachadas desde o projeto arquitetônico.

- Outro ponto vulnerável à entrada de água e que deverá ser tratado é o detalhamento correto das juntas entre componentes e na interface de subsistemas distintos. Conforto higrotérmico: são as limitações das propriedades térmicas do edifício, de seus componentes e subsistemas, possibilitando o controle da temperatura e da umidade relativa do ar e das superfícies; controle da velocidade do ar, da radiação térmica e de

condensações. Como exemplos de funções, temos: o controle da temperatura do ar, a radiação térmica, a velocidade do ar e a umidade, o controle das condensações.

O conforto higrotérmico está relacionado a todo o contexto do projeto das fachadas, relacionando-se as características térmicas dos materiais com as demais variáveis que interferem no conforto ambiental, atentando-se para as condicionantes climáticas, as condições de implantação do edifício e as condições do entorno.

- Conforto visual: refere-se à iluminação natural e artificial, insolação, possibilidade de escurecimento, aspecto dos espaços e das superfícies, acabamentos, relação do contato visual interno e externo e da vista para o exterior. Exemplos de funções: provisão ou controle da luz natural e artificial; possibilidade de escurecimento; insolação (luz solar); iluminação, claridade, contraste de iluminação e estabilidade da luz; aspectos dos espaços e superfícies quanto à cor, textura, regularidade, homogeneidade, barreiras para a privacidade, liberdade pela distorção ótica.

“Durante o dia, as dependências da edificação habitacional devem receber conveniente iluminação natural, seja ela oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes. Para o período noturno, o sistema de iluminação artificial deve proporcionar condições internas satisfatórias para ocupação dos recintos e circulação nos ambientes com conforto e segurança.” (ABNT NBR 15575:2010)

Os projetos, para os ambientes com iluminação natural, devem considerar:

- Disposição dos cômodos;
- Orientação geográfica da edificação;
- Dimensionamento e posição das aberturas;
- Tipo de janela e envidraçamento;

- Rugosidade e cor de paredes, tetos e pisos;
 - Poços de ventilação e iluminação;
 - Domus de iluminação;
 - Influência de interferências externas (construções vizinhas, por exemplo).
- Conforto acústico: cuidados relativos ao isolamento acústico e níveis de ruídos dos ambientes; isolamento de componentes e dos subsistemas geradores de ruídos; tempo de reverberação de ruídos; controle de ruídos provenientes do exterior da edificação e de ambientes adjacentes. Exemplos de funções: controle de ruídos externos e internos, contínuos e intermitentes; isolamento acústico dentro de níveis exigidos e necessários; inteligibilidade do som; tempo de reverberação admissível.

A tolerância aos ruídos varia de pessoa para pessoa. As pessoas são mais ou menos sensíveis a diferentes faixas de som. O conforto acústico de um edifício deve ser tratado de forma sistêmica, pois são várias as fontes sonoras que podem perturbar o indivíduo:

- Ruídos da rua, que entram pela fachada e esquadrias;
- Ruídos de equipamentos das instalações do prédio ou de unidades vizinhas;
- Ruídos de impacto entre pavimentos.

As falhas ocorridas quando o desempenho acústico não é atendido podem originar problemas no som ambiente, som externo, nas tubulações vibrando,

no som aéreo entre ambientes, nos ruídos de impacto, no som de equipamentos (bombas, elevadores, transformadores, etc.).

O projeto deverá orientar-se no sentido de dotar as paredes de vedação de características que possam contribuir para atenuar as perturbações provenientes do meio externo e as interferências sonoras internas provocadas pelas atividades de seus usuários ou por vibrações de máquinas e equipamentos hidráulicos que, transmitidos por componentes construtivos, manifestam-se sob a forma de ruído.

Quanto às exigências de sustentabilidade:

- Durabilidade: conservação das características da edificação ao longo de sua vida útil; limitações relativas ao desgaste e deterioração de materiais, equipamentos e subsistemas.

Exemplos de funções: conservação do desempenho da fachada para preservação de suas características ao longo de sua vida útil sob uma manutenção regular e periódica; proveniente da degradação dos materiais, equipamentos, sistemas e subsistemas construtivos.

- Manutenibilidade: facilidade de manter a fachada no estado no qual esta cumpra suas funções; facilidade de manutenção e conservação (racionalização dos custos associados às operações de manutenção e limpeza); preocupações com os custos iniciais, de operação, custos de manutenção e reposição durante o uso e custos de demolição.

Exemplos de funções: preocupações com os custos iniciais, de operação e manutenção; capital investido, retorno e evolução dos custos para manter a operação; custo de demolição, reparos, reformas parciais e totais e relação custo x benefício.

Para garantir o desempenho das esquadrias de fachada, por exemplo, deve-se consultar também a Norma ABNT NBR 10821:2011: Esquadrias externas para edificações, que informa as pressões de ensaios que deverão ser atendidas pelas esquadrias em função do tipo de uso dos edifícios, de suas alturas e das regiões onde se localiza a edificação.

3.4.2 Outras normas

Além da norma ABNT NBR 15575:2010, outras normas orientam os projetos de fachadas no que diz respeito às mesmas exigências.

Utilizando-se das exigências da norma ABNT NBR 10821:2011, teremos os parâmetros e requisitos para as pressões de ensaio de cargas uniformemente distribuídas para cada uma das cinco regiões do Brasil relacionadas ao uso e altura da edificação.

De acordo com Reis (2006), as esquadrias devem atender as exigências do ponto de vista da segurança, as quais dizem respeito à resistência mecânica às cargas de ventos, aos esforços de uso ou operações de manuseio, e à intrusão. O vento é a principal carga incidental que age nas edificações. Por este motivo, a análise da ação dos ventos sobre as esquadrias é fundamental, a fim de que estas não apresentem problemas de funcionamento, estanqueidade e deformações. Os cálculos das cargas de sucção ou obstrução incidentes nas esquadrias são o ponto de partida para a definição da resistência mecânica dos perfis e dos demais componentes. Além dos cálculos, a resistência mecânica do material deve também impedir a intrusão no ambiente através das esquadrias.

A ABNT NBR 10821:2011 define os deslocamentos máximos para os perfis de fachadas-cortina envidraçadas; sob pressão de vento, não devem ser maiores

que $L/175$ do vão, sendo L o comprimento livre do perfil. Entretanto, em nenhum caso, esse deslocamento pode ser superior a 2,0 cm.

A norma ISO 7361:1986 diz que os componentes de fechamento e revestimento devem ser capazes de transmitir aos seus pontos de apoio (estrutura secundária ou fixações) todo o carregamento proveniente de peso próprio, da ação do vento e outras solicitações sem romper ou deformar-se excessivamente, nem apresentar prejuízo permanente de desempenho.

Dentre as exigências relacionadas à habitabilidade, a mais crítica é a estanqueidade à água: os perfis se deformam com a pressão exercida pelo vento e facilitam a entrada de água, perante a ação simultânea da chuva e do vento.

Segundo Reis (2006):

“A estanqueidade à água de chuva é uma das propriedades e um dos requisitos mais difíceis de ser bem atendidos por uma esquadria. Portanto merece atenção especial, uma vez que esta característica é bastante influenciada pelo projeto da fachada.”

No que diz respeito à permeabilidade ao ar, na medida com que ocorrem as trocas de ar do edifício com o ambiente, a verificação da penetração de ar é necessária e depende da localização, do tipo de uso, da altura da edificação e da pressão atuante. Todos estes fatores podem causar deformações e aberturas das juntas.

Mais uma vez citando Reis (2006), a esquadria é classificada conforme a quantidade de ruídos ou sons dos quais ela consegue impedir a passagem de um ambiente a outro. O indicador de desempenho "CTS" (Classe de Transmissão Sonora) determina que, quanto maior seu valor, maior será a eficiência na atenuação sonora. A seguir, o Quadro 3.8 explicita as condições de tolerância ao ruído.

Quadro 3.9: Quadro de condições de tolerância ao ruído
Fonte: Reis (2006)

Nível de ruído db (A)	Exemplos de ruídos	Conversação	Condições exposição ruído	Condições tolerância ao ruído			
				Nula	Baixa	Média	Alta
105	Buzina de automóvel, a 1 m de distância de aeroporto.	Aos berros	Criticas	40 < CTS	40 < CTS	30 < CTS < 40	20 < CTS < 40
95	Laterais de ferrovia, plano, indústria ruidosa.	Aos berros	Criticas	40 < CTS	40 < CTS	30 < CTS < 40	20 < CTS < 40
85	Proximidade de ferrovia, pista de bolche.	Em voz muito alta	Acentuadas	40 < CTS	30 < CTS ≤ 40	20 < CTS ≤ 30	10 < CTS ≤ 20
75	Cruzamento de grandes avenidas, motor a diesel.	Em voz muito alta	Acentuadas	40 < CTS	30 < CTS ≤ 40	20 < CTS ≤ 30	10 < CTS ≤ 20
65	Grande centro urbano, motor a gasolina.	Em voz alta	Moderadas	40 < CTS	10 < CTS ≤ 20	10 < CTS ≤ 20	CTS ≤ 10
55	Conversação em shopping center, burburinho urbano.	Em voz alta	Moderadas	40 < CTS	10 < CTS ≤ 20	10 < CTS ≤ 20	CTS ≤ 10
45	Escritório silencioso.	Em voz normal	Incipientes	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10
35	Praça silenciosa, rodovia a grande distância.	Em voz normal	Incipientes	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10
25	Madrugada em bairro residencial.	Em voz sus-surada	Naturais ocasionais	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10
15	Cochecho, chuva branda.	Em voz sus-surada	Naturais ocasionais	40 < CTS	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10	CTS ≤ 10

Além da classificação da esquadria, o isolamento acústico depende fundamentalmente: do tipo de vidro; do modo de colocação e fixação do vidro; da estanqueidade entre o marco e as folhas, entre o marco ou contramarco e a alvenaria; e do tipo de material de que se constitui o caixilho.

Quanto à durabilidade e manutenibilidade, a ABNT NBR 10821:2011 estabelece que a esquadria deve resistir aos ensaios de ruptura e queda simultâneas de qualquer componente ou de suas partes; ruptura dos vidros; arrombamento da folha da porta de giro.

Quanto à maneira de realizar a avaliação de desempenho do subsistema fachada, seus elementos e componentes, esta pode ser feita adotando-se diversos métodos, cuja escolha depende da situação de cada projeto. Alguns dos métodos comumente empregados são: ensaios laboratoriais, ensaios de tipo, ensaios em campo, inspeções em protótipos ou em campo, simulações e análises de projetos, bem como comparações entre situações (ou elementos construtivos) similares.

3.5 A Cadeia Produtiva do Subsistema Fachada

Segundo Reis (2006), os principais agentes da cadeia produtiva se dividem conforme descrito abaixo, e possuem suas respectivas responsabilidades

Os **arquitetos** são responsáveis pela definição dos vãos, modulação das fachadas, especificação dos vidros, especificação dos caixilhos quanto à espessura aparente na modulação, cores e acabamentos, especificação das pedras, dimensão de juntas, entre outros aspectos estéticos da fachada. Para a escolha adequada, recomenda-se a conjugação simultânea d aspectos:

- Tipo de uso das edificações: residencial, comercial, industrial, institucional etc.;
- Padrão das obras: baixo, médio ou alto;
- Localização do empreendimento;
- Tipologia das fachadas;
- Resistência mecânica dos perfis que compõem as fachadas;

- Custo de implantação e operação do edifício;
- Aspectos de manutenção.

De acordo com Lamberts (1997), é impossível o arquiteto ter conhecimento de todas as variáveis que influenciam a arquitetura (engenharia, psicologia, sociologia, ecologia, entre outras), mas para um bom projeto, o arquiteto deverá intercambiar informações e conceitos sobre todas elas, tornando inquestionável a contratação de especialistas/consultores. Porém, cabe ao arquiteto do projeto filtrar as soluções sugeridas por esses especialistas em propostas arquitetônicas objetivas e de qualidade. Afirma ainda que duas idéias básicas devem nortear o desenvolvimento do projeto: a integração entre condicionamento térmico e iluminação, e a integração entre sistemas naturais e artificiais.

De acordo com Salgado e Adesse (2006):

“Os projetos arquitetônicos precisam ser valorizados como a ‘espinha dorsal’ do processo de produção, na mesma proporção que se exige a melhoria da qualidade das obras, considerando tanto os aspectos econômicos quanto funcionais, deixando, dessa forma, de serem considerados como os ‘vilões da qualidade’.

Enfocando a qualidade e efetivo sucesso nas obras, observa-se o crescimento na quantidade de projetos das especialidades e especialistas. Cabe ressaltar que, por conta da importância do projeto na execução da obra, verifica-se, para cada um desses projetos, o aumento das exigências em relação à qualidade, o número de detalhes construtivos, padronização e responsabilidade de seus projetistas. Observam-se empreendimentos multidisciplinares e complexos com muitas informações, decisões, escolhas, tecnologias, prazos, custos, pessoas e procedimentos, evidenciando a necessidade de coordenação e integração entre todos.”

Salgado (2004) diz que:

“Mesmo os arquitetos e escritórios de arquitetura que já incorporaram a participação dos futuros usuários na definição do projeto, acreditam numa prática projetual onde, além da participação dos futuros usuários, um grande número de especialistas participa na definição do projeto, orientando a adoção das soluções adequadas.”

Os **coordenadores de projeto**. Segundo Souza (2001), a missão do coordenador de projetos está associada a grandes responsabilidades, que demandam um leque amplo de competências de gestão. Não se trata somente da coordenação de toda a equipe de projetistas e consultores envolvidos nas diversas etapas do projeto, mas também da assistência às principais decisões relativas ao empreendimento (assessoria ao empreendedor), do controle de custos do projeto e da gestão da interface com a execução, envolvendo o relacionamento com as construtoras e com a coordenação da execução de obras.

O **projetista de fachada**. Segundo Téchne³⁵ (2009), este profissional irá orientar a definição e seleção dos materiais ou sistemas construtivos da fachada, a fim de que apresente o desempenho desejado. É importante que o projetista seja contratado na etapa de concepção do empreendimento para trabalhar na compatibilização de seu projeto com os de arquitetura, estrutura, vedações e esquadrias, com os quais interage diretamente. Evitam-se, dessa forma, improvisos, e otimiza-se a produção.

O projetista especialista, por exemplo, projetista de fachada, tem a responsabilidade de desenvolver o projeto específico à sua especialidade e zelar pelo cumprimento de todas as suas definições na fase de obras. Esse especialista pode desenvolver o projeto ou atuar como consultor, isso depende da maneira como são contratados (HUTTER, 2003).

Vale observar que o termo projetista de fachada não é muito comum no mercado da construção civil. Esse tipo de profissional é normalmente identificado como consultor de fachadas, sendo que os consultores se dividem em: consultores de revestimentos de fachadas ou revestimentos externos; consultores de vidros e caixilhos; consultores de rochas; consultores de revestimentos em ACM.

³⁵ Projetista de fachada. **Revista Téchne**, São Paulo, n.142, janeiro. 2009.

Segundo Reis (2006), os **consultores** se caracterizam por serem especialistas em determinados assuntos. No caso do projeto de fachadas, identificam-se consultores distintos para sistemas variados, como por exemplo, consultor para vidros e caixilhos, consultor para revestimentos em pedras ou cerâmicas, consultor para sistemas em ACM, consultor para sistemas não aderidos, entre outros.

Os consultores auxiliam os profissionais da construção civil na especificação adequada dos sistemas de fachada, dos vidros, do alumínio, por meio de estudos de viabilidade técnica e econômica dos diferentes sistemas construtivos de fachadas. Também desenvolvem perfis especiais, com o objetivo de atender ao aspecto arquitetônico, reduzir custos, melhorar o desempenho e a qualidade, aumentar a produtividade da fabricação e da instalação. A Figura 3.24 demonstra esquematicamente as etapas da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio.

Em alguns casos, existe também a figura do consultor técnico (especialmente para projetos de fachadas leves em elementos envidraçados ou de alumínio), que pode tanto fazer o detalhamento do projeto, quanto apoiar tecnicamente o arquiteto ou outro projetista, para fazê-lo (OLIVEIRA, 2009).

Um mesmo consultor pode trabalhar em todo o envelope do prédio e, algumas vezes, somente no vidro, pois existem obras onde contrata-se um consultor para a caixilharia, e outro para o vidro. Também existem casos em que o consultor não é contratado para a fase de obra, e sim para a consultoria específica sobre vidros.

“É o que o arquiteto Paulo Duarte chama de área de aconselhamento de construção. Segundo ele, não é função do consultor fazer o projeto, isso cabe ao caixilheiro. O consultor deve ajudar a definir sistemas e processos e dar parâmetros para se fazer a obra, ou seja, este é o chamado projeto conceitual. Uma das funções da empresa fornecedora de caixilhos, ‘caixilheiro’ é fazer o projeto com base nos parâmetros fornecidos pelo consultor de vidros e caixilhos. Após conclusão destes projetos, eles deverão ser submetidos à validação

do mesmo consultor que forneceu os parâmetros para o projeto. Tudo tem que passar pelo crivo deste consultor.” (PAIVA, 2007)³⁶

Segundo a visão de Paulo Duarte, a fachada deve ser considerada como um todo; o caixilho está na fachada, que também não é só caixilho, pois há o vidro. Portanto, é necessário conhecer sobre gaxetas, componentes, silicone. Ocorre, às vezes, de o projeto já estar em desenvolvimento, mas sem a decisão de como será construído (PAIVA, 2007). É nessa fase que os prazos e avaliações se definem. Por isso, é importante o trabalho integrado do consultor de caixilhos e vidros com os calculistas estruturais e os outros consultores (acústica, ar condicionado, etc.). O objetivo desse trabalho simultâneo desde o início é minimizar os problemas na hora de construir; às vezes, é preciso pedir para o calculista que faça alterações nos elementos estruturais, para melhor adequação dos caixilhos e vidros.

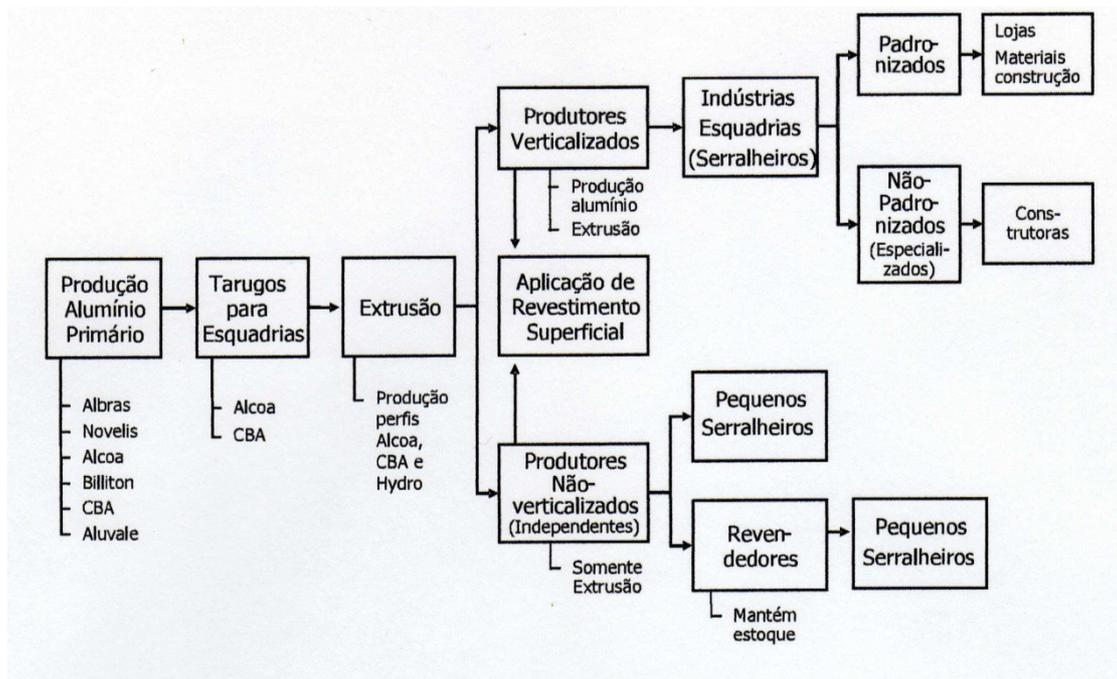


Figura 3.25: Etapas da cadeia produtiva das esquadrias de alumínio
Fonte: Reis (2006)

³⁶ Paulo Duarte Paiva, um dos profissionais que mais entendem de vidros e eficiência energética. **Revista Finestra**, São Paulo, n. 49, p., junho. 2007.

O **fornecedor/instalador**. Segundo Oliveira (2002), este profissional deve garantir, com racionalização, a qualidade do produto em fábrica, e no canteiro de obras, a qualidade na montagem dos painéis, buscando a otimização de recursos. O fornecedor irá desenvolver os projetos de fabricação e planejará, em conjunto com a construtora, a sequência executiva da montagem.

Os principais responsáveis pela esquadria são o consultor e o caixilheiro. É necessário que o caixilheiro tenha um engenheiro na equipe para assumir a responsabilidade técnica sobre a obra, pois o caixilho deve possuir um sistema de engenharia, uma vez que é responsável por atender uma série de exigências e requisitos das normas de desempenho do edifício como um todo.

Há uma complexidade e uma industrialização cada vez maiores nos sistemas de caixilhos; por isso, a tendência é que as empresas de caixilhos, que atendem grandes obras, se estruturam como empresas de engenharia.

No entanto, na maior parte das vezes, esses profissionais (fornecedores, instaladores e consultores técnicos) iniciam sua participação no processo de projeto quando o produto já foi concebido e validado, o que dificulta o estabelecimento de soluções “ótimas” em termos técnicos (desempenho e construtibilidade do produto) e econômicos (OLIVEIRA, 2009).

O **cliente** é responsável pela definição do programa de necessidades e pelas aprovações relacionadas ao produto final quanto as suas características técnicas como as de estética do produto. Em alguns casos o cliente é o incorporador e em outros ele é o próprio usuário.

As **construtoras** são responsáveis pela execução propriamente dita da obra, considerando o planejamento da sequência executiva, o orçamento da execução, os suprimentos de materiais, equipamentos e mão de obra, pelo prazo e pela qualidade do produto final. Os fornecedores/instaladores do sistema de fachadas são responsáveis pelo desenvolvimento dos projetos de fabricação, que posteriormente serão validados pelo consultor de vidro e

caixilhos, pela seleção e contratação das extrusoras e anodizadoras de perfis; em conjunto com a construtora, participam efetivamente do planejamento da sequência executiva para montagem das fachadas.

O **compatibilizador** é responsável por sobrepor os projetos de todas as disciplinas, a fim de verificar as interferências. No caso das fachadas, é importante apontar as interfaces a serem solucionadas entre os sistemas construtivos e a fachada, e entre os diferentes sistemas de fachadas (quando houver mais que um sistema).

O compatibilizador pode ser o próprio arquiteto, o coordenador de projetos ou um profissional contratado apenas para a realização da compatibilização dos projetos.

Segundo Melhado (2005), na compatibilização, os projetos de diferentes especialidades são superpostos para verificar as interferências entre eles, e os problemas são evidenciados para que a coordenação possa agir sobre eles e solucioná-los. A compatibilização deve acontecer quando os projetos já estão concebidos, a fim de que possíveis erros possam ser detectados.

A ação dos projetos superpostos e sua visualização espacial são ferramentas, por sua natureza, sistemáticas e detectoras de possíveis futuros conflitos (CALLEGARI, S.; BARTH, F, 2007).

Oliveira (2009) propõe para os projetos de fachadas que a compatibilização seja realizada na fase de desenvolvimento de projetos – etapa do projeto básico (ou pré-executivo), pelo projetista de fachadas ou pelo coordenador de projetos, e na fase de preparação para a execução da obra (PEO) – etapa de detalhamento, com o objetivo de reanalisar as interfaces e definir soluções, ou seja, realizar a compatibilização entre os detalhamentos construtivos de cada subsistema que tenha interface com a fachada, bem como a síntese dos processos de produção, identificando procedimentos contraditórios e resolvendo interfaces entre equipes. Na etapa de detalhamento, a

compatibilização pode ser realizada pelos seguintes agentes: projetista de fachada; coordenador de projetos; fornecedor/instalador de fachadas ou construtora.

O Quadro 3.9 relaciona todos os agentes da cadeia produtiva envolvidos no desenvolvimento do subsistema fachada, compreendendo desde a etapa de projeto até a etapa de montagem da fachada.

Quadro 3.10: Agentes da cadeia produtiva envolvidas no subsistema fachada

Agente da cadeia produtiva	Responsabilidades
Cliente/Incorporador ou Usuário	<ul style="list-style-type: none"> - Definição dos programas de necessidade - Validação das características técnicas e de estética do produto final
Arquitetos	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de aspectos estéticos da fachada - Fazer o intercâmbio de informações - Fazer o filtro das soluções dadas por especialistas - “Espinha dorsal do processo de produção.” (SALGADO; ADESSE, 2006)
Coordenador do projeto	<ul style="list-style-type: none"> - Coordenação de toda a equipe de projetistas e consultores envolvidos nas no projeto - Assistência às principais decisões relativas ao empreendimento (controle dos custos do projeto e da gestão da interface com a execução)
Projetista de fachada	<ul style="list-style-type: none"> - Orientação para a definição e seleção dos materiais ou sistemas construtivos da fachada - Compatibilização de seu projeto com os de arquitetura, estrutura, vedações e esquadrias - Desenvolvimento do projeto específico à sua especialidade - Controle do cumprimento de todas as suas definições na fase de obras - Possibilidade de atuar também como consultor
Consultores	<ul style="list-style-type: none"> - Identificam-se consultores distintos para sistemas variados (vidros e caixilhos, revestimentos em pedras ou cerâmicas, ACM, sistemas não aderidos, etc.) - Especificação adequada dos sistemas de fachada, dos vidros, do alumínio - viabilidade técnica e econômica - Desenvolvimento de perfis especiais para atender ao aspecto arquitetônico - Detalhamento do projeto, ou apoio técnico ao arquiteto ou outro projetista, para fazê-lo.
Fornecedor/Instalador	<ul style="list-style-type: none"> - Garantia da qualidade do produto em fábrica - Garantia da qualidade na montagem dos painéis - Desenvolvimento dos projetos de fabricação e planejamento (junto com a construtora) da sequência executiva da montagem - Responsabilidade técnica sobre a obra
Construtoras	<ul style="list-style-type: none"> - Responsabilidade pela execução, planejamento, orçamento, suprimentos de materiais, equipamentos e mão de obra, prazo, qualidade do produto final
Compatibilizador	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação das interferências - Identificação das interfaces a ser solucionadas entre os sistemas construtivos e a fachada e entre os diferentes sistemas de fachadas (quando houver mais que um sistema).

4 ESTUDOS DE CASO

Para o desenvolvimento desta dissertação, foram selecionadas três obras como estudo de caso. O objetivo dos estudos de caso é somar informações referentes à prática de mercado às informações verificadas por meio da revisão bibliográfica.

Neste capítulo serão analisados os projetos e documentos relacionados ao subsistema fachada de cada uma das obras apresentadas, com a apresentação das observações realizadas no local de execução.

4.1 Estruturação dos estudos de caso

A análise dos empreendimentos que serão objetos de estudo de caso nesta dissertação foi estruturada em seis fases:

- Fase 1: **Seleção**. As características para seleção dos empreendimentos dizem respeito à **tipologia da edificação**: edifício comercial, cujo pavimento-tipo é composto basicamente por *Core* e *Open Space*, ou seja, núcleo de serviços (elevador, escada, sanitários, copa, etc.) e planta livre para montagem de *layouts* de escritórios; exceto para o estudo de caso três, cuja tipologia é um edifício hospitalar; **localização**: município de São Paulo; **tipos de fachada**: algum dos tipos estudados na revisão bibliográfica; **certificação**: LEED; **construtora**: denominada “M”.

A opção por analisar empreendimentos de uma mesma construtora ocorreu devido aos seguintes fatores: facilidade de acesso e maior homogeneidade dos dados a serem tratados; experiência da construtora nas obras de interesse da pesquisa; características da equipe de gestão da construtora, que apresenta grande ênfase para a gestão de projetos e sua integração com outras áreas de gestão.

- Fase 2: **Fonte para a coleta de dados. Cliente/incorporadora:** projetos, memoriais e demais especificações técnicas, fluxo de informações entre os projetistas; **construtora:** dados referentes à sequência executiva, relatos sobre os problemas ocorridos em obra; **consultoria de fachada:** dados técnicos do projeto, relato de ocorrências nas quais ele interveio; **fornecedor/instalador** do sistema de fachada: informações técnicas sobre o sistema, o projeto de fabricação e a sequência de montagem.
- Fase 3: Apresentação dos dados coletados e descrições do empreendimento e das informações provenientes dos projetos e memoriais.
- Fase 4: Descrição do fluxo do processo de projeto.
- Fase 5: Problemas identificados.
- Fase 6: Identificação dos agentes da cadeia produtiva, suas responsabilidades e atividades.

4.1.1 Agente da cadeia de valor comum para os três estudos de caso

A construtora

Propositalmente, os três estudos têm um agente da cadeia de valor em comum: a construtora, denominada “M” neste trabalho.

A equipe formada pela construtora “M” para cada uma destas três obras compreende: um gerente do projeto, um engenheiro residente, **um coordenador de projeto**, um engenheiro da qualidade e uma equipe de produção.

A presença do agente coordenador de projetos na equipe da construtora é um fato relevante, pois este agente faz uma ligação efetiva entre a fase de desenvolvimento dos projetos e a execução da obra, garantindo a realização das ações necessárias à fase de preparação para execução da obra – PEO. A atuação do coordenador de projetos da construtora reflete a importância que a construtora dedica à gestão de projetos. Além disso, outro fator considerado importante é que a construtora apresenta processos integrados de gestão, com uso de procedimentos e controles definidos para cada uma das áreas em que atua.

A construtora “M” foi fundada em 1973 em São Paulo, e ao longo desses 38 anos, construiu 2,5 milhões de m² de edificações no Brasil e 150 mil na América do Sul (Chile, Argentina e Uruguai). Filiada ao USGBC desde 2001, atualmente ela é membro do *Green Building Council Brazil* (GBC), entidade que tem como objetivo promover mundialmente a adoção de tecnologias, práticas e operações sustentáveis na construção civil. É a empresa que possui mais projetos em processo de certificação LEED no país, e dos dez edifícios “AAA” instalados em solo brasileiro, foi responsável pela construção de seis.

4.1.2 Escopo da coordenação de projetos

Quanto à coordenação dos projetos, os três estudos de caso seguem a mesma organização, ou seja, os três são coordenados por um profissional que faz parte do escritório responsável pelo desenvolvimento do projeto arquitetônico, contratado pela incorporadora/cliente. Além desse coordenador na fase de construção dos três empreendimentos, pode-se verificar a presença do coordenador de projetos da equipe da construtora, cuja principal atuação está na fase de integração projeto-obra. Para melhor compreensão do processo de projeto dos estudos de caso, é necessário entender como acontece o fluxo de informações entre os agentes da cadeia produtiva (Figura 4.1) e conhecer as responsabilidades de ambos os coordenadores de projeto.

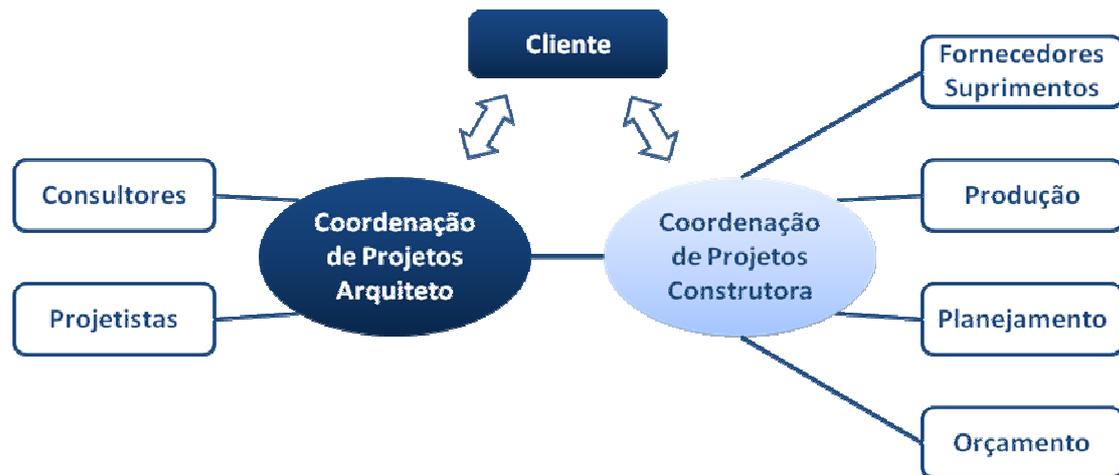


Figura 4.1: Modelo de coordenação de projetos para os três estudos de caso desta dissertação

A Figura 4.1 apresenta o modelo de coordenação de projetos realizado pela construtora para os três estudos de caso. Nesse arranjo, existe um coordenador de projetos, que faz parte do escritório responsável pelo desenvolvimento do projeto arquitetônico. Este coordenador não é o arquiteto autor do projeto; é outro profissional do escritório responsável por fazer a coordenação de todos os projetistas, inclusive do autor do projeto, e suas responsabilidades são:

- Contratar os projetistas e consultores;
- Desenvolver premissas e diretrizes técnicas junto ao cliente;
- Elaborar, gerenciar e atualizar o cronograma de Projetos;
- Analisar criticamente os projetos;
- Coordenar a compatibilização dos projetos;
- Validar a entrega do produto ao cliente.

O produto que será obtido desse agente é um conjunto de projetos executivos de todas as disciplinas pertinentes ao empreendimento, compatibilizados e liberados para execução em obra. O desenvolvimento dos projetos tem início

com os estudos preliminares, passando pelo projeto legal, projeto básico, pré-executivo, executivo, projeto pra produção e *as-built*. Além da liberação final do conjunto de projetos, o coordenador poderá ser cobrado por entregas parciais, como por exemplo, a entrega de um conjunto de projeto para uma etapa de orçamento e planejamento.

Além do coordenador de projetos do escritório de arquitetura, existe também o coordenador de projetos da construtora: este profissional é funcionário da construtora e faz parte da equipe de obras. Suas responsabilidades são:

- Analisar criticamente os projetos com foco na construtibilidade;
- Prestar esclarecimentos e atender as alterações de projeto solicitadas pelo cliente;
- Analisar o cronograma de projetos de acordo com as datas da execução da obra, a fim de que os projetos estejam sempre disponíveis para as etapas de aquisição e execução;
- Comunicar à equipe de obras e ao cliente todos os assuntos relacionados aos projetos;
- Realizar interface entre equipe da obra, fornecedores e projetos;
- Coordenar os projetos de fabricação, submetendo-os a validações do coordenador do projeto e da equipe de projetistas;
- Coordenar os protótipos e amostras.

Conforme ilustra a Figura 4.2, o coordenador de projetos do escritório atua nas etapas em verde, enquanto o coordenador de projetos da construtora atua nas que estão em vermelho, ou seja, o primeiro atua no desenvolvimento do

projeto, enquanto o segundo trabalha na interface entre os projetos e a produção.

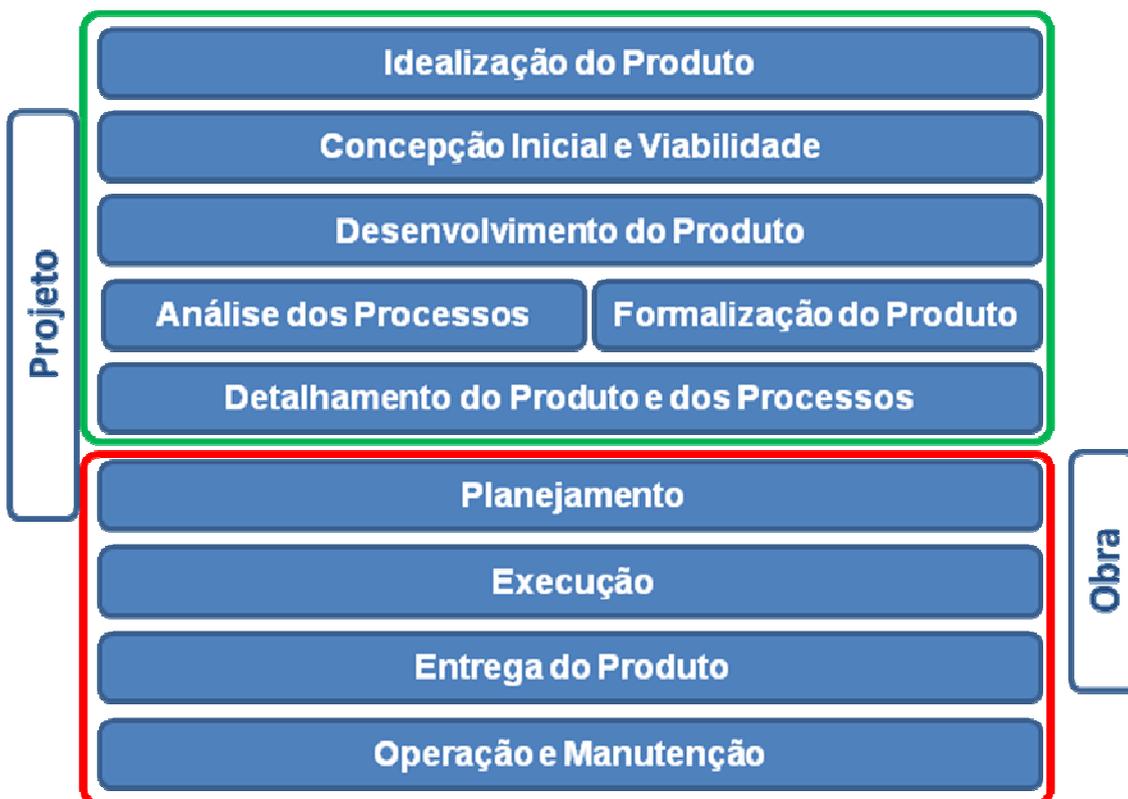


Figura 4.2: Etapas do desenvolvimento do projeto e execução do projeto

O objetivo da coordenação de projetos do escritório de arquitetura é a entrega do pacote de projetos, enquanto o objetivo da coordenação de projetos da construtora é, além de garantir que os mesmos atendam às necessidades da obra, antecipar possíveis problemas e buscar soluções para não causar impactos de custo ou prazo na execução.

4.2 Empreendimento 1

EMPREENDIMENTO COMERCIAL TRIPLO A – DENOMINADO “R” – SÃO PAULO – SP

Neste item será apresentado o estudo de caso de três torres de um mesmo empreendimento (torres A, B e D), incorporado por uma empresa multinacional, com sede original nos EUA, presente no Brasil desde 1996, verticalmente integrada e com atuação em toda a cadeia do desenvolvimento imobiliário

(desde a concepção do negócio até a administração predial). No Brasil, a incorporadora desenvolve projetos no mercado imobiliário nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Brasília, nos segmentos de construções comerciais e residenciais de alto padrão. Sua atuação se dá por meio de administração de fundos imobiliários, e sua posição no mercado é caracterizada pelo seu patrimônio, ao invés de seu faturamento anual.

Por questões comerciais, os nomes do empreendimento e da incorporadora não serão revelados; a decisão foi chamá-los de empreendimento “R”, torres A, B e D. Também não serão mencionados os nomes dos demais agentes da cadeia produtiva envolvidos no desenvolvimento do sistema de fachada; eles serão tratados pelas siglas determinadas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1: Denominação dos agentes da cadeia produtiva do subsistema fachada do empreendimento “R”

Agente da cadeia produtiva	Denominação adotada
Incorporadora	T
Construtora	M
Projeto de arquitetura e coordenação do projeto	A
Projeto de vedações	V
Consultoria de fachada (vidros, esquadrias, painel de concreto)	PD
Consultoria de fachada (rochas, granitos, sistema não aderido)	PG
Fornecedor/Instalador de esquadrias	L
Empresa de anodização	OC
Fornecedor de painel de concreto	S
Fornecedor de granito	F
Fornecedor de vidros	P
Consultor de impermeabilização	I

4.2.1 Descrição do empreendimento

O objeto do estudo de caso é um empreendimento comercial, formado por quatro torres, denominadas A, B, C e D, incorporado pela empresa T.

A área original do terreno era de 39.342,00 m²; porém, parte dela, 1.465,79 m², foi desapropriada em função da construção da estação de trem da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM).

- A data original do projeto é 2001;
- O projeto foi atualizado em 2006;
- Em 2008, foi concluída a primeira etapa da obra, torres A e B.

Dados do empreendimento

- Área remanescente em escritura após doações: 33.515,17 m²
- Área remanescente real: 33.369,12m²

Áreas construídas

- Total (torres A, B, C e D): 248.747 m²
- Área locável: 126.100 m²

O Quadro 4.2 apresenta as áreas construídas de cada uma das torres.

Quadro 4.2: Quadro de áreas das edificações
Fonte: Arquivos da Construtora (2008)

	Área computável (m ²)	Área não computável (m ²)	Total (m ²)
Torre A	30.147,57	28.575,32	58.722,89
Torre B	30.147,57	28.575,32	58.722,89
Torre D	15.383,27	12.143,38	27.526,65
Total	75.678,41	69.294,02	144.972,43

Observação: A torre C não será estudada neste trabalho em função do prazo de entrega da obra, previsto para março de 2013. Além disso, a torre C adotou os mesmos sistemas construtivos das torres A e B.

A Figura 4.3 apresenta a planta chave do empreendimento e delimita suas três fases de implantação.

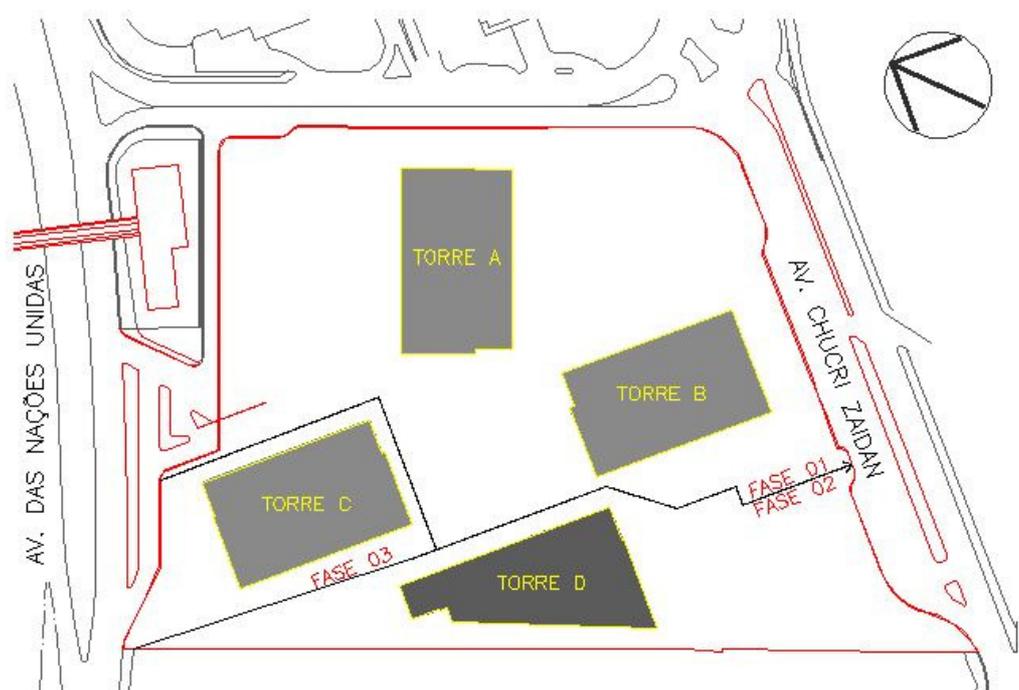


Figura 4.3: Implantação do empreendimento “R” com as delimitações das três fases de construção. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

A Arquitetura

O projeto é constituído de edifícios comerciais de grande porte e alto padrão.

Segundo o manual do proprietário (2008), a arquitetura buscou inspiração na forma do terreno para implantação do conjunto, e no entorno para a criação de uma praça de uso público.

São quatro torres, cuja área da laje possui, em média, 2.000 m² para escritórios, que podem ser subdivididos em até quatro partes por pavimento. O desenho das torres com uma das fachadas inclinadas para fora resulta no aumento de área útil nos pavimentos mais altos.

A construção foi dividida em três fases, sendo a primeira, já construída, composta por duas (A e B, ambas com 16 pavimentos – Figura 4.4) das quatro torres planejadas (Figura 4.5). As torres são iguais e simétricas, possuem duas lojas no térreo, *lobby*, docas de serviço e três subsolos que comportam 1.723

vagas. A segunda fase, composta pela torre D, é mais baixa, com 8 pavimentos, e a terceira fase compreende uma torre de 30 pavimentos.

No térreo, um paisagismo com espelhos d'água, áreas de contemplação e densa vegetação compõem as praças.

Junto à Estação da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM) está a central energética do conjunto. O empreendimento “R” recebe energia elétrica da rede pública e também pode produzi-la com geradores a gás.



Figura 4.4: Empreendimento “R”, torres A e B
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.5: Empreendimento “R”, maquete virtual com as 4 torres
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

Os edifícios têm um *core* central (formado por escadas, elevadores, sanitários e áreas mecânicas) composto por paredes fechadas, o que gera um elemento rígido que participa do sistema de contraventamento do prédio.

Quanto às fachadas, as torres A e B utilizaram painel de concreto pré-fabricado com granito aderido e sistema unitizado para as fachadas envidraçadas.

A fachada da torre D utilizou alvenaria de vedação com granito fixado com insertos metálicos (sistema americano) e, assim como nas torres A e B, para as fachadas envidraçadas, adotou-se o sistema unitizado.

Para as fachadas compostas por peles de vidro, presentes nas três torres, utilizou-se o sistema unitizado, dimensionado com maior profundidade para absorver as elevadas cargas de vento. Os painéis apresentam condições mais críticas quanto à estanqueidade da fachada tanto para fixação quanto para a montagem junto aos cantos (principalmente os de encontro com a fachada inclinada). A área das fachadas e o quantitativo dos vidros são dados relevantes para este estudo, sendo apresentadas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Quadro de áreas das fachadas
Fonte: Dados cedidos pela construtora (2009)

	Painel pré-fabricado (m ²)	Granito (m ²)	Vidro (m ²) (tipo pele de vidro + entrevãos)	Vidro (m ²) (térreo)	Pele de vidro (m ²)	Caixilhos entrevãos
Torre A	5850,01	3993,24	6171,00	2325,39	3542,77	1763,67
Torre B	5850,01	3993,24	6171,00	2325,39	3542,77	1763,67
Torre D	Não se aplica	5194,59	4970,74	719,54	2854,00	1421,00
Total	11700,02	11181,07	17312,73	5370,32	6396,77	3184,67
Total de vidros das 3 torres						22683,05

São **42 mil m² de fachada**, sendo 16,6 na torre A, 16,6 na torre B, e 8,8 na torre D. Essa metragem está dividida em sistema unitizado e granitos, sendo 17,3 mil m² de vidro no sistema unitizado, 11,7 mil m² de painel de concreto e 5,2 mil m² de granito em sistema americano.

As torres têm a fachada frontal inclinada e as fachadas laterais compoem pelas de vidro; os átrios têm envoltórios de vidro (Figura 4.6). Para os átrios foi desenvolvida uma solução especial em vidro estrutural de fixação pontual, pois a ideia do arquiteto era criar uma estrutura horizontal em vidro. A solução foi desenvolvida por projeto conceitual do consultor de vidros e caixilhos, e apresentada aos técnicos da empresa fornecedora de vidros. O sistema é composto por painéis e bandejas de vidro e cabos de aço. Cada vão de 7 metros, entre as colunas de concreto, recebeu duas vigas de vidro ancoradas, de um lado, em estruturas metálicas desenvolvidas para essa finalidade, e de outro, correspondente ao centro do vão, por um sistema de cabos de aço ancorados em estrutura metálica auxiliar na parte superior e em elementos de fixação no piso. Os painéis de vidro que fecham o átrio estão colados com silicone estrutural na face externa da bandeja. Nos vértices de encontro das fachadas, as bandejas foram cortadas na diagonal, a 45 graus, sendo criados dispositivos de fixação para atender a essa angulação. Outro destaque é a solução desenvolvida na interface das fachadas com as portas automáticas: foi criado um pórtico de aço, revestido com chapas de aço inox, sendo que as bandejas ganharam, nessas áreas, diferentes disposições, com jogos de três cabos, porque a dimensão é maior.

A configuração do edifício gerou a necessidade de diversas soluções específicas com diferentes profundidades de módulos para a fixação dos elementos e o encontro entre os diferentes planos. Além disso, há uma paginação específica de granitos e vidros, resultando em módulos trapezoidais com dimensões variáveis.

O partido arquitetônico exigiu que houvesse uma visível diferença entre as juntas verticais e as horizontais.

Seguindo essa premissa, o desenho dos perfis que definiu tais juntas foi feito de forma a apresentar como resultado uma profundidade perceptível, utilizando elementos escuros sempre que possível, a fim de criar noção de profundidade, reforçando a marcação horizontal. Nos encontros entre pré-moldados e quadro de vidro, os perfis de peitoril e verga criam naturalmente essa profundidade;

nos perfis intermediários, os da travessa apresentam uma reentrância que é aproveitada para conter os elementos de suporte do peso dos vidros acima da junta e as fixações do granito.

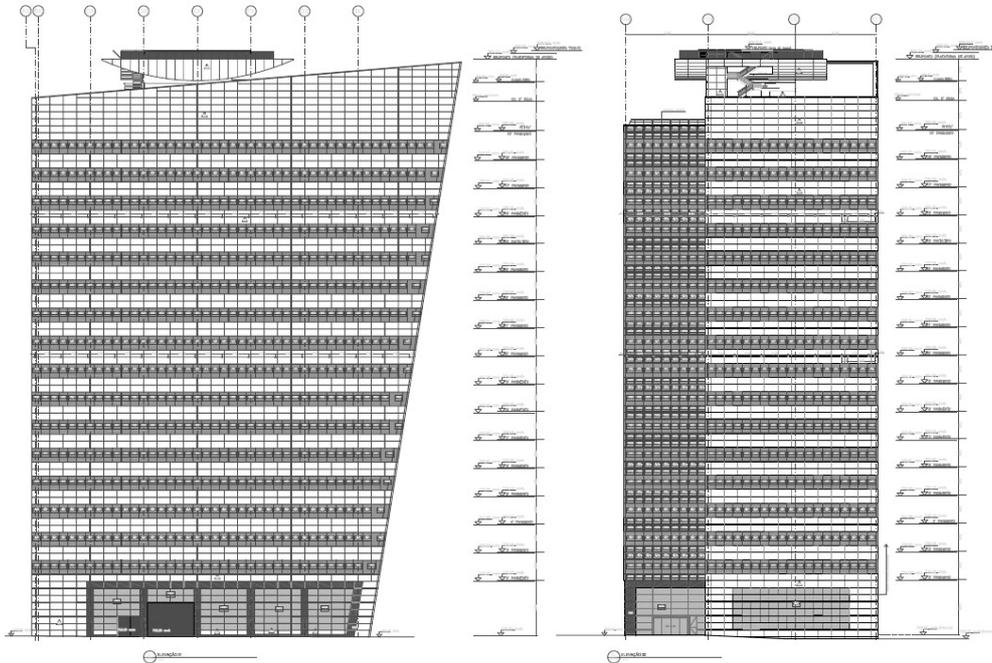


Figura 4.6: Projeto da fachada das torres A e B – Empreendimento “R”
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

4.2.2 Quanto à certificação (sustentabilidade)

O empreendimento “R” recebeu a certificação LEED³⁷ CS – *Core and Shell*, categoria *Gold*.

Duas coisas impulsionaram a eficiência energética: a postura do incorporador, que, na ocasião da etapa de desenvolvimento dos projetos e da construção da

³⁷ Certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é um critério formado por um conjunto de normas geradas pelo instituto não governamental *United States Green Building Council* (USGBC) com o propósito de análise de projeto, construção, e modos operacionais dos prédios a fim de categorizá-los quanto ao seu nível de desempenho. O USGBC foi fundado em 1993 com o objetivo de criar um sistema de classificação em sustentabilidade. É uma organização sem fins lucrativos com o compromisso de incentivar a expansão de práticas construtivas sustentáveis.

primeira fase da obra, seria também operador do empreendimento; e a decisão de obter a certificação LEED.

Em 2001, ano da concepção, o projeto considerou critérios de eficiência energética com foco na viabilidade econômica do edifício, levando em conta não apenas o custo da construção, mas também os valores de operação e manutenção, uma vez que o incorporador seria também o operador do empreendimento.

No final do ano de 2002, quando os projetos já estavam concluídos e os serviços referentes às paredes de diafragma já estavam em fase de execução, a implantação do empreendimento foi paralisada por decisão do incorporador, sendo retomada apenas em 2006.

Em 2006 tiveram início os serviços de construção das torres A e B, ao mesmo tempo em que os projetos foram atualizados, considerando as estratégias necessárias à obtenção da certificação LEED. Para isso, algumas das especificações de materiais, como vidros, madeiras e materiais regionais sofreram revisões acompanhadas pelos projetos da maioria das disciplinas. A eficiência energética foi trabalhada em todos os projetos, minimizando impactos relacionados ao consumo excessivo de energia.

Na escolha dos materiais utilizados foram priorizados os regionais (com o intuito de não criar grandes impactos relacionados ao transporte) e de conteúdo reciclado (de forma a diminuir a utilização de matéria-prima virgem, preservando os recursos naturais).

4.2.3 Processo de desenvolvimento do projeto

O desenvolvimento dos projetos de fachadas foi iniciado na concepção. Nessa etapa, o conceito da fachada partiu do projeto arquitetônico, que criou as premissas estéticas iniciais que deveriam ser seguidas no projeto específico.

Com o objetivo de otimizar o funcionamento do sistema de climatização do edifício, houve um estudo detalhado da fachada, que resultou nos planos inclinados, em 59% de superfície opaca e 41% de superfície translúcida. A fachada foi dividida em módulos para a realização de estudos do tratamento externo conforme a orientação solar.

Após a definição dessas premissas, o consultor de vidros e caixilhos (PD) definiu o melhor sistema para o projeto, as especificações de vidros de alto desempenho, dos materiais e a melhor modulação a ser seguida, além de também elaborar recomendações, descritas em forma de memoriais, para projeto, execução e armazenagem. O mesmo profissional, o consultor (PD), elaborou o projeto básico de caixilharia.

Com o projeto elaborado, foi possível para a empresa fornecedora/instaladora das esquadrias de fachada (L) detalhar os projetos de fabricação e montagem, e definir a sequência executiva dos serviços de fabricação e instalação das fachadas. Esse projeto de fabricação passa pela validação do consultor de vidros e caixilhos (PD), para então ser liberado para execução, assim como os projetos de fixação das pedras (granito) nos painéis de concreto das fachadas das torres A e B, desenvolvidos pela empresa (S), responsável pelo fornecimento do painel pré-fabricado de concreto, também submetidos à aprovação do consultor de rochas (PG). Já para a execução das fachadas em granito da torre D, o projeto de revestimento em granito foi desenvolvido pelo consultor de rochas (PG). Durante a execução, acontecem as vistorias e os relatórios dos consultores e, após a execução, a aprovação final dos mesmos.

Na torre D, além dos consultores de rochas, vidros e caixilhos, foi necessária também a contratação do consultor de impermeabilização, pois parte da fachada da torre D foi executada em alvenaria de vedação com granito fixado através do sistema americano, o que implica na necessidade de impermeabilizar a parte externa da alvenaria de vedação que ficará exposta a intempéries, uma vez que, entre a alvenaria e o granito, existe uma camada de ar.

Na fase de aquisição, os fornecedores e instaladores do granito e do sistema unitizado foram selecionados pela construtora em parceria com os consultores (PG e PD). Com base nos projetos básicos de esquadrias desenvolvidos pelo consultor de vidros e caixilhos (PD), o fornecedor de esquadria (L) desenvolveu os projetos de fabricação das esquadrias, os quais foram validados pelo consultor (PD), para então serem executados em obra.

O coordenador de projetos foi responsável pela gestão da troca de informações entre consultores, arquiteto, projetistas de outras disciplinas, incorporador e construtora. O arquiteto trabalhou em parceria direta com os consultores dos sistemas de fachadas, analisando e desenvolvendo os projetos. Coube à construtora, em parceria com o fornecedor/instalador, arquiteto e consultores, discutir e planejar todas as etapas do processo construtivo, resultando no atendimento das expectativas da incorporadora.

A Figura 4.7 representa o fluxo de atividades do processo de projeto das fachadas no caso 1.

.

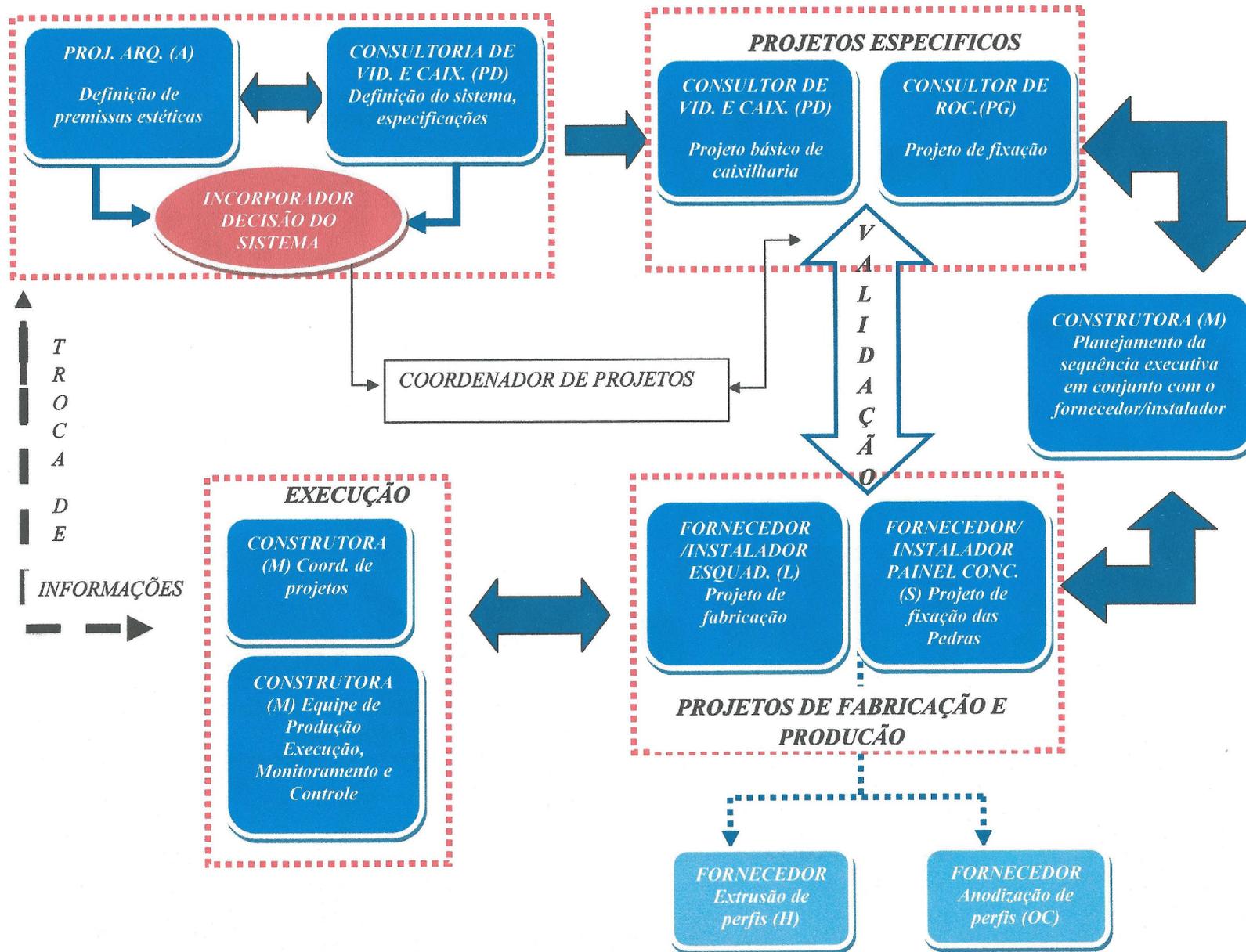


Figura 4.7: Fluxograma do Processo de projeto das fachadas

Embora os projetos sejam desenvolvidos em etapas bem definidas, é preciso lembrar que eles acontecem simultaneamente, e não em momentos subsequentes.

4.2.4 Projeto dos componentes do subsistema fachada

Projetos

Analisando o projeto de arquitetura quanto ao conteúdo, verifica-se que, em determinadas etapas do projeto arquitetônico, existem partes dos acabamentos que ainda estão em definição, ou que poderão sofrer alteração ao longo do desenvolvimento do projeto, seja por custo, disponibilidade do material ou estética. Por esse motivo, a folha inicial do projeto de arquitetura apresenta uma tabela de acabamentos com nomes genéricos, tais como: granito tipo 1 (GR1), vidro temperado (VT), entre tantos outros. Ao longo do desenvolvimento do projeto, esses acabamentos vão se definindo e, nos projetos específicos, irão aparecer definitivamente.

Os projetos específicos relacionados conforme listagem abaixo referem-se apenas aos projetos do subsistema fachada:

- Projeto básico de caixilharia – consultor de vidros e caixilhos;
- Projeto de fabricação da fachada-cortina em sistema unitizado – fornecedor/instalador de caixilhos;
- Projeto de fabricação da fachada em sistema unitizado entrevãos – fornecedor/instalador de caixilhos;
- Projeto do painel de concreto – fabricante;

- Projeto de vedação – projetista de vedação;
- Projeto do sistema americano – consultor de rochas;
- Projeto de paginação das rochas na fachada – fornecedor/instalador de granito.

A Figura 4.8 ilustra a planta baixa típica dos três edifícios (torres A, B e D) e numera as suas fachadas para identificação em descrições posteriores.

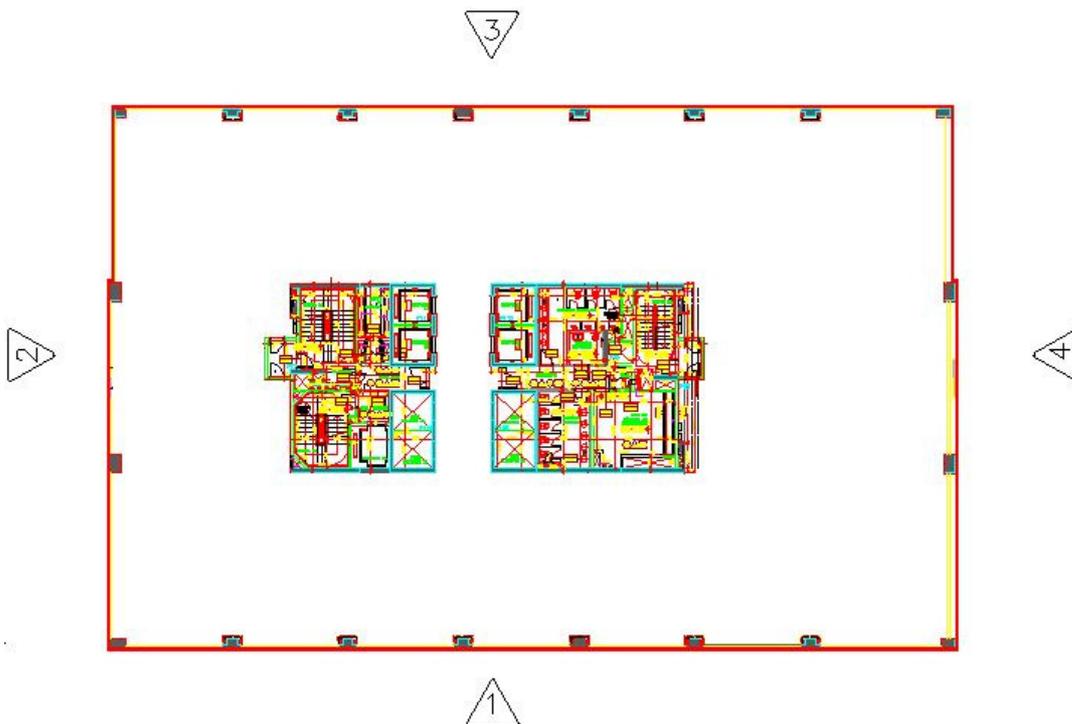


Figura 4.8: Planta baixa dos edifícios do empreendimento “R” com a numeração das fachadas
Fonte: Projeto de arquitetura, arquivo cedido pela construtora (2009)

A disponibilização do projeto específico da caixilharia, desenvolvido por consultor especializado (PD), ainda na fase de orçamento, viabiliza uma tomada de preço mais justa para o subsistema fachada, que representa cerca de 20% do valor total da obra. O projeto apresenta: desenhos, memoriais descritivos, especificações, acabamentos e tabelas. Neles, constam as definições a seguir:

- Conforme numeração de fachadas 1, 2, 3 e 4 das torres A e B, apresentadas na Figura 4.8, na fachada **1**, em 2/3 da fachada **2**, e em 2/3 da fachada **4**, verifica-se

a presença dos painéis pré-moldados de concreto armado, com granito incorporado mais caixilhos entrevãos em sistema unitizado.

- A fachada **3**, 1/3 da fachada **2** e 1/3 da fachada **4**, apresentam cortina em sistema unitizado, sendo que este foi previsto com maior profundidade para resistir às elevadas cargas de vento. O parâmetro a ser obedecido é que a distância máxima entre as faces externas dos vidros e da estrutura de concreto armado seja de 185 mm.
- As dimensões dos perfis das esquadrias permitem que a espessura total do caixilho, somado à espessura do vidro, seja igual à espessura da soma do pré-moldado mais granito. Essa condição caracteriza os perfis de forma que a profundidade desde a face externa dos vidros até a face interna dos montantes seja de, no máximo, 135 mm.
- Na torre D, as fachadas foram projetadas com as mesmas proporções de granito e vidros que as torres A e B, lembrando que o granito é fixado no bloco de vedação, e não no painel de concreto como nas torres A e B. Nos demais itens, a torre D é semelhante às outras duas.
- As folgas necessárias para absorver as deformações da estrutura devidas ao assentamento, deformação lenta e cargas de vento, assim como os detalhes de encaixe do tipo telescópico, foram consideradas no detalhamento do projeto de fabricação (fornecedor/instalador).
- Nas fachadas onde há painéis pré-moldados, foram consideradas as tolerâncias de fabricação dos painéis, dados estes informados pelo fornecedor do painel (S), e que chegam a mais ou menos 6 mm por painel.
- Os pré-moldados têm espessura projetada de 135 mm, sendo 105 mm de painel de concreto e 30 mm de pedra natural (Figura 4.9). Dessa forma, o projeto exige que os caixilhos fiquem contidos nesse espaço.

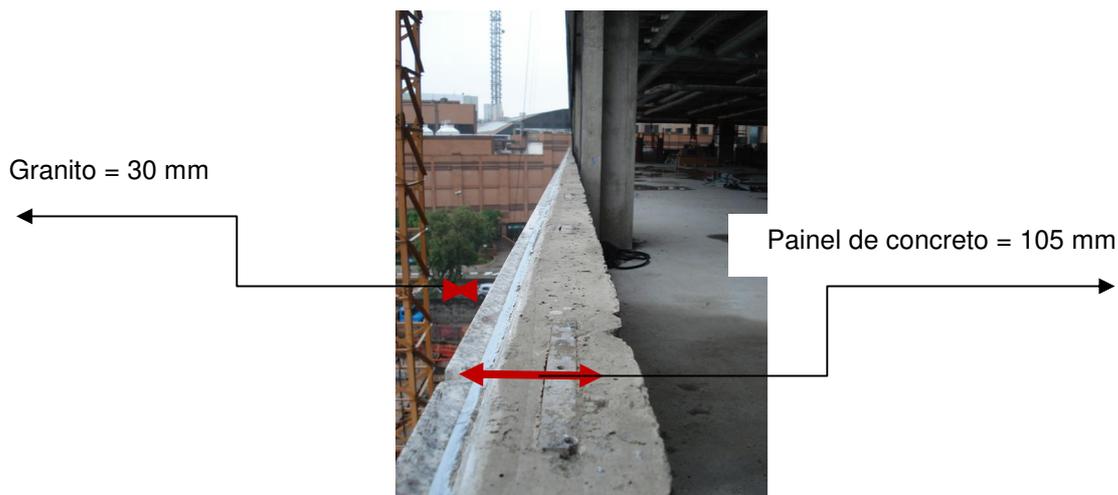


Figura 4.9: Painel de concreto com granito incorporado
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2009)

- No projeto básico de caixilharia são apresentados detalhes de soluções para os painéis unitizados junto aos cantos do edifício, pois estes apresentam condições mais críticas de fixação e montagem quanto à estanqueidade, principalmente nos cantos com uma fachada inclinada. Mesmo assim, o fornecedor/instalador deve apresentar para validação do consultor de caixilhos e do arquiteto (autor do projeto), as soluções alternativas onde se utilizem painéis unitizados em ângulo.
- O edifício apresenta fachadas verticais e uma inclinada para fora, o que exige algumas soluções específicas, principalmente para a fachada inclinada. Os desenhos apresentam os detalhes dos montantes propostos, de modo que módulos de 1,25 m x 1,68 m ou de 2,50 m x 1,96 m possam ser produzidos com os vidros já colados (Figura 4.10) e montados de uma só vez entre os pré-moldados. Dois perfis contínuos constituem verdadeiros contramarcos, permitindo a montagem de cada módulo a partir do lado interno da construção, encaixando a parte superior e descendo o conjunto até apoiá-lo no perfil inferior.

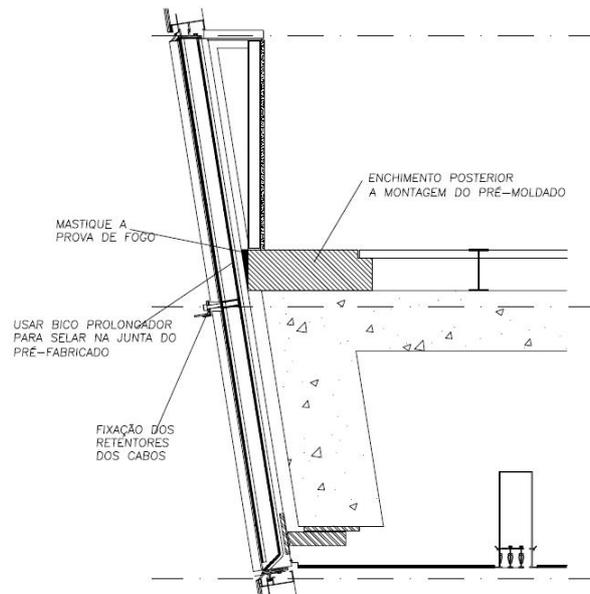


Figura 4.10: Selamento do pré-fabricado
Fonte: Projeto básico de caixilharia cedido pela construtora (2008)

- A fixação dos perfis de espera é feita nos painéis de concreto por meio de chumbadores metálicos ou de “insertos” pré-posicionados no concreto, a fim evitar furações no local e a possibilidade de se atingir ferros da armadura do pré-fabricado (Figura 4.11).

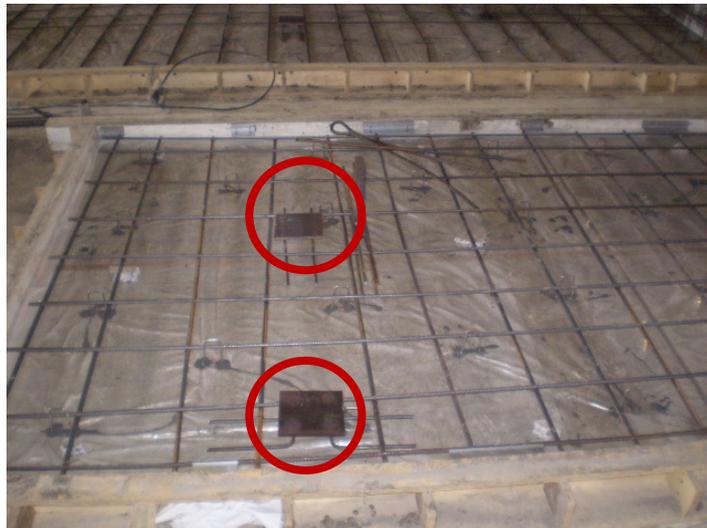


Figura 4.11: Insertos pré-posicionados no painel de concreto para receber os módulos de caixilhos. Fonte: Fotos cedidas pela construtora em junho de 2008

- Os módulos são deslizados lateralmente até encontrar o anterior, encaixando-se os montantes.

- As vedações foram feitas com a aplicação de silicone selante em dois cordões entre o contramarco e os pré-moldados (Figura 4.12).

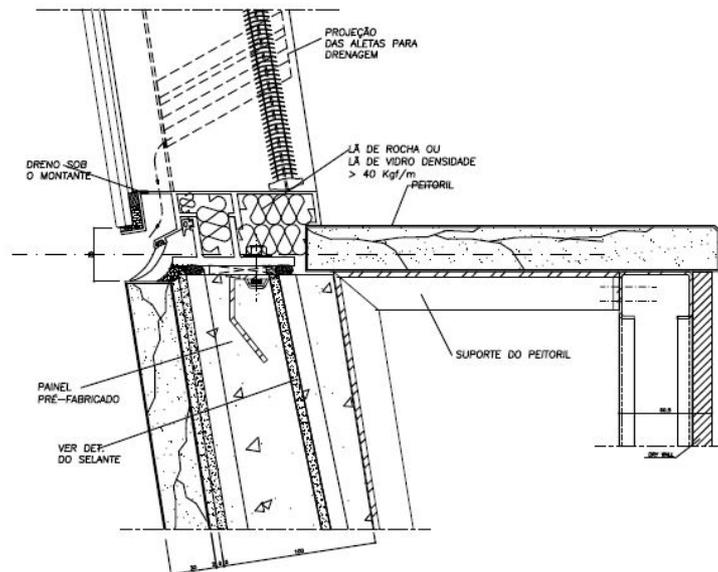


Figura 4.12: Desenho das vedações com a aplicação de silicone selante em dois cordões entre o contramarco e o pré-fabricado
Fonte: Projeto básico de caixilharia cedido pela construtora (2008)

- As travessas intermediárias dos módulos têm um desenho que apresenta uma reentrância, que permite prever encaixes para perfis complementares e gaxetas de arremate; nesses encaixes são posicionados os perfis de sustentação do peso do vidro superior. Tais perfis são anodizados em preto – os vidros se apóiam sobre tiras de EPDM, diminuindo, assim, as tensões de cisalhamento no silicone.
- As fachadas-cortina pele de vidro foram projetadas em “sistema unitizado”, utilizando os mesmos perfis utilizados nos caixilhos dos entrevãos.
- Os módulos unitizados localizados nos cantos foram objeto de detalhes especiais, sendo que os ângulos de 90° foram resolvidos em conjuntos de módulos e montados numa só operação (Figuras 4.13 e 4.14).

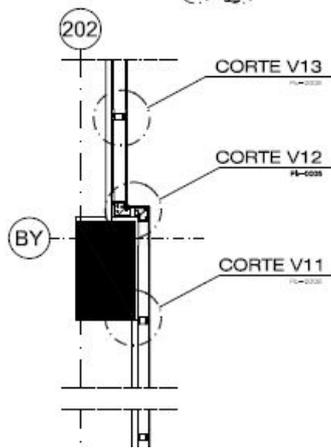


Figura 4.13: Módulo unitizado localizado nos cantos - Planta baixa
Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008)

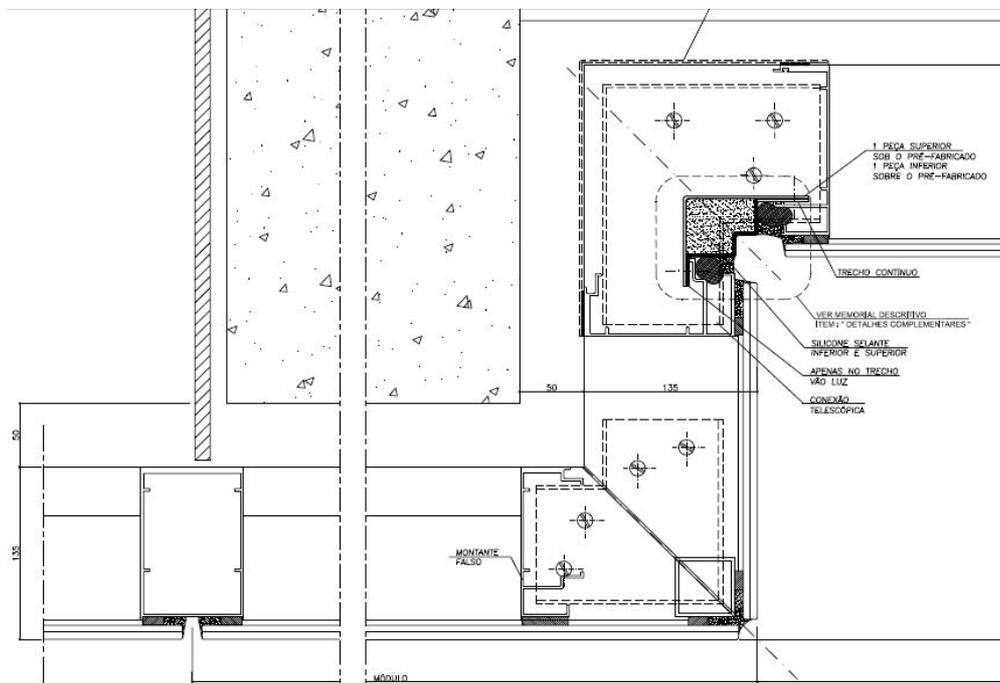


Figura 4.14: Detalhe ampliado, ambos representando o módulo unitizado com ângulo de 90º
Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008)

- Na parte superior, o intervalo entre o fundo da viga e a última travessa deverá receber isolamento termo-acústico em lã de rocha para proteger o vão entre o forro falso e a laje. Esse isolamento faz parte do fornecimento dos caixilhos, e seu dimensionamento final foi verificado pelos consultores de ar condicionado e de acústica, ambos da equipe do projeto.

Visando os desempenhos térmico e acústico do edifício, foi previsto um isolamento entre os módulos unitizados (Figura 4.15), vedações com material fonoabsorvente instaladas acima da travessa superior, na altura do forro interno, de modo a impedir a passagem de calor e som entre o espaço contido pelo forro e o intervalo vidro *versus* base da viga superior. O material fonoabsorvente é de lã de rocha, com densidade de 40 a 60 Kgf/m³. Sua instalação foi indicada nos vários cortes do projeto.

Já para o desempenho em caso de incêndio, foram previstas barreiras antichama e fumaça entre os pavimentos, instaladas logo abaixo das travessas na altura das faces superiores das lajes em cada pavimento (Figura 4.15). O objetivo é fechar o espaço entre o vidro e o elemento à prova de fogo interno da fachada. Essa fachada deverá atender às exigências do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (CBESP), contando com uma chapa metálica em aço galvanizado sobre a qual será colocado o material isolante e corta-fogo certificado pelo CBESP.

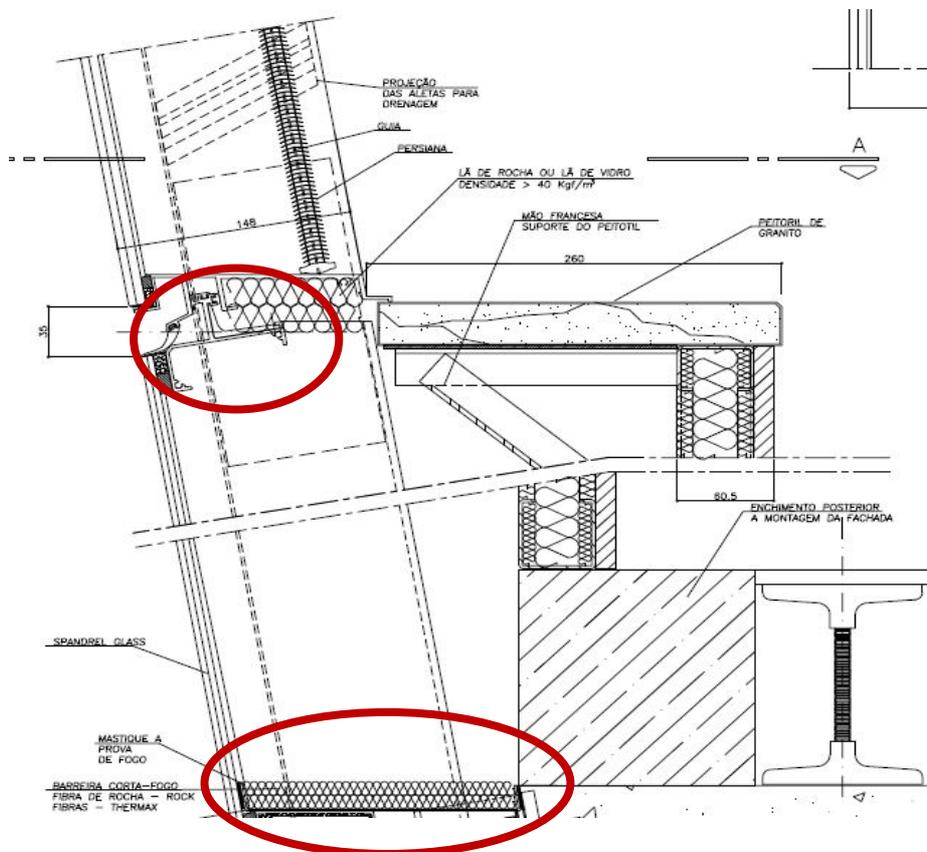


Figura 4.15: Detalhe do isolamento térmico entre os caixilhos e da barreira corta-fogo
Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008)

Um detalhe importante e delicado do projeto é o encontro dos vidros nos cantos do edifício e nos encontros com os pilares; por essa razão, o projeto apresenta soluções para o encontro e sobreposição dos trechos com granito e dos trechos em vidro. Verifica-se que há soluções particulares nos cantos, principalmente na região de mudança de plano das fachadas 4 e 4 A, onde se encontram diferentes profundidades de módulos (Figura 4.16).

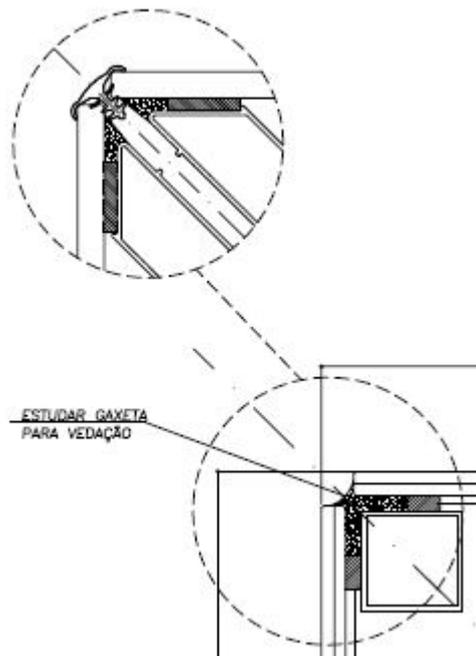


Figura 4.16: Encontro de módulos unitizados em quina e detalhe da gaxeta projetada para vedar o encontro dos dois módulos. Fonte: Projeto básico de caixilharia cedido pela construtora (2008)

- Nos trechos inclinados das fachadas 1 e 3, é possível verificar que há uma paginação específica de granitos e vidros, resultando em alguns módulos trapezoidais com dimensões variáveis; existe no projeto de arquitetura a intenção do arquiteto de marcar as juntas próximas aos cantos externos.

Caixilhos

- Os perfis de alumínio para fabricação de esquadrias são em ligas 6060 ou 6063, extrudados. Sua proteção é feita através de anodização.

- As ancoragens das esquadrias foram extrudadas em liga estrutural de alumínio pintado, sendo projetadas para fixação em “insertos” do mesmo material.
- Os “insertos” fixados no concreto de peças estruturais, pré-moldadas ou não, são em aço carbono galvanizado a fogo, visando resistência à corrosão.
- O projeto faz especificações quanto às bitolas dos parafusos e o desenho das borrachas e gaxetas, estas fabricadas com base nos desenhos do projeto de fabricação do fornecedor/instalador de caixilhos. Esses desenhos definem a composição da borracha e apresentam a memória de cálculo que garante a vedação dos caixilhos, após envelhecimento da borracha.
- Além disso, é recomendação do consultor que as amostras sejam testadas na oficina a fim de verificar se as medidas estão corretas e se as gaxetas são facilmente instaladas (engavetadas ou por pressão), bem como a compressão com os quadros fechados, antes de aprovar os moldes.
- O alumínio das esquadrias é anodizado, recebendo camada anódica de classe A -18 - de 15 a 20 micra, na cor natural.
- A selagem dos caixilhos atendeu às Normas NBR 9243:2006³⁸ e NBR 12613:2006³⁹.
- Para garantir a estanqueidade do sistema de caixilho, foi feito um dreno com silicone selante em dois cordões entre o contramarco e os elementos pré-moldados, e gaxetas em EPDM.

³⁸ **NBR 9243:** Alumínio e sua ligas – Tratamento de superfície – Determinação da selagem de camadas anódicas - Método da perda de massa.

³⁹ **NBR 12613:** Alumínio e suas ligas - Tratamento de superfície - Determinação da selagem de camadas anódicas - Método de absorção de corantes.

Painéis de Concreto

- Os painéis de concreto utilizados na fachada são de concreto leve armado, de alta resistência, 35 MPA, pré-moldados em planta industrial equipada para tal produção, nas dimensões de 3,75 m x 1,99 m, incorporando placas de granito fixadas com grampos especiais de aço inoxidável. Utilizou-se, entre o concreto e a placa de granito, uma manta plástica, com o objetivo de evitar o contato entre os dois (Figura 4.17). Conforme apresentado na Figura 4.18, esses painéis têm incorporados insertos em aço com tratamento antiferrugem para seu posicionamento e fixação em insertos semelhantes instalados nos elementos de perímetro da estrutura de concreto armado do edifício. Além disso, existem painéis com medidas e formas especiais para atender às diferentes soluções de arquitetura das fachadas.



Figura 4.17: Manta plástica colocada entre o concreto e a placa de granito, com o objetivo de evitar o contato entre os dois

Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.18: Armação dos insertos no painel de concreto
Fonte: Fotos cedidas pela construtora em junho de 2008

- Os painéis de concreto são armados com malhas em aço CA 50 ou CA 60.
- A produção se fez construindo formas em madeira e peças metálicas de reforço e fechamento, montadas sobre as mesas/plataformas que receberão as placas de granito posicionadas de acordo com a paginação definida pela arquitetura (espessuras de juntas), já incorporando os “grampos” em aço inoxidável, fixados com epóxi dentro da pedra.
- Sobre as pedras foi colocada a manta plástica permitindo a passagem dos grampos, e sobre esta será lançada a armadura prevista em projeto, calculada pela empresa fabricante dos painéis (S), posicionada de modo a deixar as folgas de cobrimento da armadura recomendada pela Norma Brasileira, a fim de garantir a necessária proteção das armações contra a corrosão causada por penetração de água, vapor d’água e oxigênio, retardando e inibindo os fenômenos de carbonatação e corrosão.
- As partes das formas em contato direto com o concreto foram previamente impregnadas com produtos desmoldantes, a fim de facilitar a retirada dos painéis concretados sem que ocorram danos nos painéis ou no granito.

- As quantidades de cada componente do painel de concreto foram determinadas a partir do projeto, desenvolvido pelo fabricante do painel (S), de modo a resultar em um concreto com peso específico aproximado de 1.800 Kgf/m³, garantindo uma resistência superior a 14 MPa para permitir a desforma.
- Quanto às fixações: os painéis são fixados à estrutura de concreto armado das fachadas através de ancoragens fabricadas em aço estrutural ASTM-A-36.
- As ancoragens são fixadas na parte superior das lajes em insertos previamente incorporados ao concreto da estrutura, sendo dotadas de parafuso de regulagem vertical e, posteriormente, soldadas em sua posição definitiva, enquanto que outras ancoragens são fixadas na parte inferior das vigas de borda, em insertos previamente incorporados ao concreto da viga, sendo soldadas para fixar a posição dos painéis após seu alinhamento e prumo.
- Foram previstos insertos para fixação dos caixilhos nos topos ao nível do peitoril de cada pavimento, que são de fornecimento do fornecedor/instalador de caixilhos, porém, posicionados e inseridos no concreto dos pré-moldados pelo fornecedor dos painéis.
- Foram previstos também insertos nos topos dos painéis do coroamento, para fixação dos rufos.
- Os insertos para fixação dos painéis a serem concretados com a estrutura do prédio deverão ser fornecidos à construtora pelo fornecedor dos painéis de concreto.

Consoante Figura 4.19, na posição da fachada onde há o encontro do caixilho unitizado com a placa de granito, exige-se cuidado na vedação do “sulco” na junta falsa entre duas pedras de granito, para garantir a estanqueidade do sistema. Colocou-se, então, uma “tira” de concreto preenchendo a junta no trecho do encontro com a Pele de Vidro.



Figura 4.19: “Tira” de concreto preenchendo a junta no trecho do encontro do granito com o caixilho unitizado. Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009

- O selante utilizado entre os painéis de concreto foi o de silicone 768 cinza, de fornecimento da *Dow Corning*, pois, segundo o engenheiro de qualidade da construtora, devem-se utilizar silicones de cura neutra.
- Do concreto foram retirados corpos de prova para ensaios de resistência, nas quantidades, formatos e condições de amostragens definidas na NBR 12655:2006⁴⁰.
- As barras de aço das armaduras de reforço seguiram a classificação CA-50 da NBR 7480:2007⁴¹.
- A montagem dos painéis nas fachadas foi executada pelo fornecedor dos painéis (S), que utilizou os equipamentos necessários em cada caso, para a elevação,

⁴⁰ **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo controle e recebimento

⁴¹ **NBR 7480:** Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado.

posicionamento e fixação, de acordo com a paginação de fachadas do projeto de arquitetura.

Granitos

Os materiais utilizados nas fachadas e pilares foram o bege Ipanema e o preto Aracruz, com 3 cm de espessura. Na torre D, o tipo de fixação adotado foi o sistema americano – ancoragens com aço inox 304, enquanto que nas torres A e B, os granitos foram aderidos ao painel de concreto.

Juntas

As posições e dimensões das juntas entre painéis, módulos, pedras e demais elementos que marcam as fachadas estão indicadas nas elevações gerais, parciais e nos detalhes, devendo ser obedecidas no projeto executivo de montagem das fachadas. A intenção da arquitetura foi que houvesse uma visível diferença entre as juntas verticais e as horizontais; como regra, considerou-se que as juntas verticais fossem as mais estreitas possíveis, e as horizontais tivessem maior largura. Portanto, assumiu-se no projeto que a junta vertical mínima entre os painéis pré-moldados com granito incorporado fosse de 18 mm, e para as horizontais, de 35 mm (Figura 4.20).



Figura 4.20: Junta de 35 mm entre os módulos de granito
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2008

- Com o intuito de melhor marcar as juntas horizontais, o desenho dos perfis que as definem foi estudado para resultar numa certa profundidade visível, e no uso de elementos escuros, sempre que possível, a fim de criar uma noção de profundidade, reforçando a marcação horizontal. Nos encontros extremos, entre pré-moldados e quadro de vidro, os perfis de peitoril e verga criam naturalmente essa profundidade; nos perfis intermediários, o da travessa apresenta uma reentrância que é aproveitada para conter os elementos de suporte do peso dos vidros acima da junta e as fixações do granito. Deve ser considerado que, embora a largura de 35 mm seja medida entre as bordas dos vidros, que apresentam maior visibilidade, não devem aparecer grandes espessuras acima e abaixo dos vidros que resultem num aspecto “chapado”, comprometendo o aspecto da junta – suportes de recuperação de peso incorporando silicones devem ser o mais fino possível. Os vidros não devem apoiar sobre o metal desses suportes, havendo um perfil em EPDM com alta dureza com, no mínimo, 2 mm de espessura. Os elementos aparentes devem ser escuros, a fim de que não desvalorizem a largura da junta. Pela mesma razão, as juntas não podem ser muito “rasas”, pois a profundidade colabora para o aspecto marcante das mesmas.

- O selamento das juntas entre painéis deverá ser feito com “duas linhas de vedação”, sendo a linha externa considerada a de vedação de intempérie, e a interna a de vedação ao ar. A execução desses selamentos, conforme mostram os projetos, deve garantir que o selo interno se posicione de forma a se desviar da vertical na parte inferior dos painéis, na direção da quina inferior externa do painel, garantindo assim que qualquer água infiltrada entre as duas linhas de defesa seja conduzida para fora e lançada ao ar por meio do correto encontro do cordão de selamento com o selo externo horizontal de vedação da junta entre o caixilho e o pré-moldado.



Figura 4.21: Selamento das juntas entre painéis de concreto no canto
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009

Vidros

- A relação WWR (*Window Wall Ratio*) do empreendimento é de 41% de áreas translúcidas e 59% de áreas opacas.
- Conforme documento desenvolvido pelo consultor de vidros e caixilhos (PD), os vidros especificados são os laminados refletivos nos pavimentos-tipo e laminados e temperados no térreo. Devido à existência de vidros com duas espessuras diferentes (8 mm e 11 mm) muito próximos entre si, o que distorceria os reflexos

de forma notável, nas fachadas-cortina, onde ocorre o encontro dessas duas tipologias, os vidros de 8 mm serão colados com espessura de silicone de 8 mm, e os de 11 mm serão colados com 6 mm de silicone, reduzindo, portanto, a diferença de coplanaridade dos vidros a apenas 1 mm.

- As três torres A, B e D contam com, aproximadamente, 23.000,m² de vidro, divididos em:
 - Tipo A – Vidros entrevãos e peles de vidro;
 - Tipo B – Vidros frente de viga;
 - Tipo C – Vidros duplos não insulados;
 - Tipo E – Vidros temperados;
 - Tipo F – Vidros estruturais temperados ou laminados e temperados.
- A dimensão padrão das placas é 1,25 m x 1,00 m – medida de projeto, lembrando que as medidas reais para corte do vidro são fornecidas pelo fornecedor/instalador do sistema de fachada contratado, e constam do projeto de fabricação executivo. Os 10% de vidros modelados têm suas dimensões variando entre triângulos de 0,50 m x 1,00 m e trapézios com bases de 1,50 m e 1,30 m, a altura sendo sempre 1,00 m. É pequena a quantidade desses trapézios maiores, e a grande parte dos vidros trapezoidais apresenta dimensões muito próximas da dimensão padrão das placas desta obra (1,25 m x 1,00 m).
- Os vidros tipo “A” são laminados refletivos de 8 mm = 4 + 4 + PVB, para o padrão 1,25 x 1,00 m, e de 11 mm = 5 + 6 + PVB para o padrão 1,25 x 1,90 m.
- A tonalidade do vidro é cinza azulado (PN 125 da Cebrace).

- Cor transmitida: neutra. Nos documentos do projeto consta uma nota que recomenda não aceitar tons amarelados ou rosados.
- Toda a matéria prima do vidro especificado é de fabricação nacional (fabricação Cebrace).
- Quanto aos valores foto energéticos: no Quadro 4.4, na coluna do meio, constam os índices especificados e atendidos, e na coluna direita, os índices máximos ou mínimos aceitáveis, conforme memorial do consultor de vidros e caixilhos.

Quadro 4.4: Índices especificados para os vidros
Fonte: arquivos da construtora (2006)

Índices fotoenergéticos	Especificados	Aceitáveis
TL (Transmissão luminosa)	30%	TL \geq 25%
Re (Refletividade externa)	18%	Re \leq 25%
Ri (Refletividade interna)	14%	Ri \leq 20%
AE (Absorção energética)	58%	AE \leq 65%
CS (Coeficiente de sombreamento)	0,35	CS \leq 0,35 - Admitido máximo 0,40
Uv	5,4 W/m ² . °C	6,0 W/m ² . °C

- Os vidros tipo “B” são do tipo “*Spandrel Glass*”, isto é, frente de viga, devendo apresentar a mesma característica de cor e refletividade externa que o tipo “A”, e espessura mínima de 8 mm. Esses vidros serão produzidos a partir de uma lâmina de vidro refletivo do mesmo tipo utilizado no vidro tipo A (vidro visão).
- Os vidros tipo “C” foram excluídos do projeto. Entretanto, tinham sido especificados em determinadas áreas, com câmara de ar, a fim de aumentar o isolamento de ruídos externos. Exige-se desse sistema um STC \geq 48 DBA. Esses envidraçamentos, do ponto de vista do fornecedor dos vidros, seriam considerados como laminados e monolíticos normais, pois a composição com a câmara de ar se faria através de solução do caixilho. A composição final resultaria num conjunto com 11 mm, sendo:

- Vidro externo: laminado com, no mínimo, 6 mm = 3 + 3 – refletivo com as mesmas características de cor daqueles que comporão os insulados acima especificados;
 - Câmara de ar de 100 mm: com eventual aplicação de material dessecante no caixilho que os limita;
 - Vidro interno com, no mínimo, 5 mm monolítico, incolor.
- Os vidros tipo “E” são incolores e transparentes, para uso em esquadrias de portas.
 - Os vidros tipo “F” são os vidros temperados especiais para esse tipo de instalação (vidro estrutural parafusado), incluindo a estrutura metálica, ferragens em aço inoxidável de solidarização dos vidros componentes das “vigas”, cabos de aço inoxidável, o silicone estrutural, calços, ancoragens, portas automáticas, etc. Os detalhes de fixação, encaixes dos vidros nos pisos, laterais e no teto em granito foram cuidadosamente executados e selados.

Os cálculos

- No memorial descritivo são apresentadas as cargas de vento e acidentais adotadas no projeto. Essas cargas foram consideradas na determinação da massa dos perfis, suas dimensões e reforços. O fabricante/instalador da caixilharia contratado teve que demonstrar o comportamento estrutural dos perfis e elementos de transmissão de esforços.
- As pressões tanto positivas quanto negativas foram calculadas com base na NBR 6487:2000⁴² atualmente substituída pela NBR 10821-3. A partir das cargas de

⁴² NBR 6487 Caixilho para edificação - Janela, fachada-cortina e porta externa - Verificação do comportamento, quando submetido a cargas uniformemente distribuídas

vento, foram determinadas as pressões positivas e negativas a que estariam submetidas as fachadas, utilizando-se os resultados nos ensaios realizados no Túnel de Vento do LAC – Laboratório de Ensaios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- A altura máxima da edificação onde foram utilizadas esquadrias é 66,00 m; portanto, foi essa a altura que definiu os fatores de correção adotados.
- De acordo com os ensaios, as maiores pressões, que são negativas, ocorrem na face que corresponde à fachada 1 da torre “B”. Para o dimensionamento dos perfis, atendendo às pressões de cálculo e as suas conveniências de ordem técnica e/ou comercial, foram consideradas três possíveis soluções:
 - a. utilizar para as esquadrias da fachada 1 da arquitetura, montantes com seção diferente daqueles a serem utilizados nas fachadas 2, 3 e 4 da arquitetura;
 - b. dimensionar montantes de acordo com as pressões sobre as fachadas 2, 3 e 4, e utilizá-los também para a fachada 1, porém, com reforços internos em barras maciças de alumínio ou aço;
 - c. dimensionar os perfis para as pressões consideradas para a fachada 1 da arquitetura, utilizando-os para todas as fachadas.

Ao final da análise do consultor, do arquiteto e do incorporador, decidiu-se adotar a solução b.

Manutenção e Limpeza

Para os serviços de manutenção e limpeza da fachada, foi previsto um sistema mecânico para lavagem e manutenção das fachadas, de acordo com Normas Brasileiras e Internacionais. Decidiu-se pela utilização de um sistema de retentores de cabo colocados nas posições pré-determinadas. O sistema foi previsto utilizando

retentores da “Gondomatic”. Os retentores para o encaixe dos cabos do equipamento de limpeza foram instalados sempre atravessando a travessa da unidade, que fica alinhada com a laje de cada pavimento, tanto nas fachadas-cortina quanto nas fachadas entrevãos, sendo que, na fachada inclinada, as peças foram instaladas em todos os pavimentos, e na fachada vertical, a cada 4 pavimentos (Figuras 4.22 a 4.24).



Figura 4.22: Junta de 35 mm entre os módulos de granito com fixação do retentor do cabo para a fixação de equipamento de lava-fachadas
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro/2008

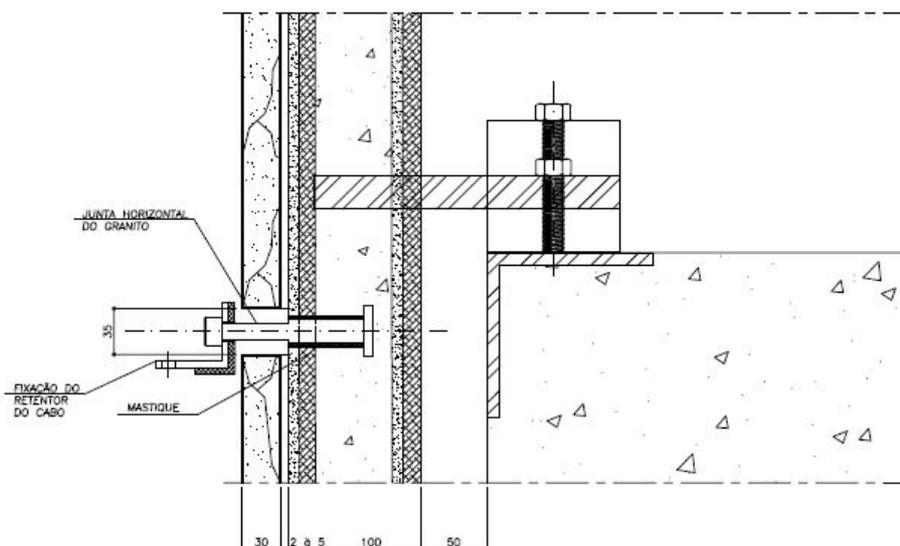


Figura 4.23: Corte que ilustra a colocação das pedras de granito, o retentor e a fixação do painel de concreto apoiada na viga para as fachadas verticais. Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008)

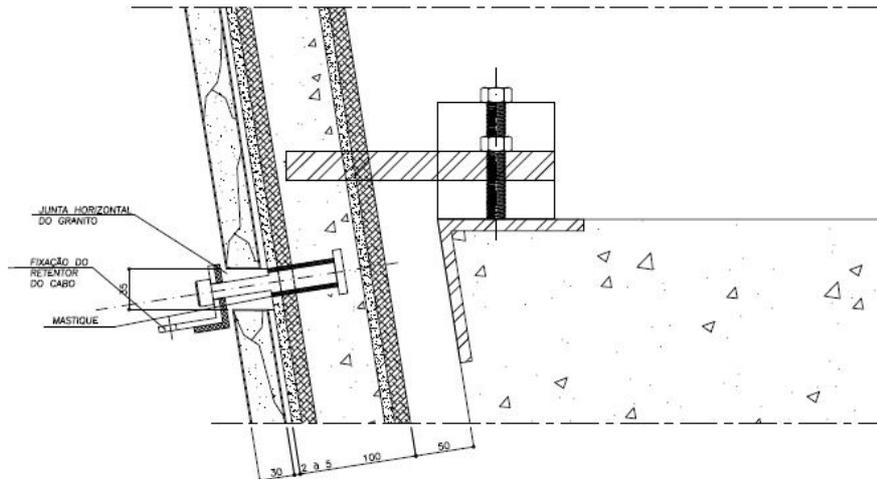
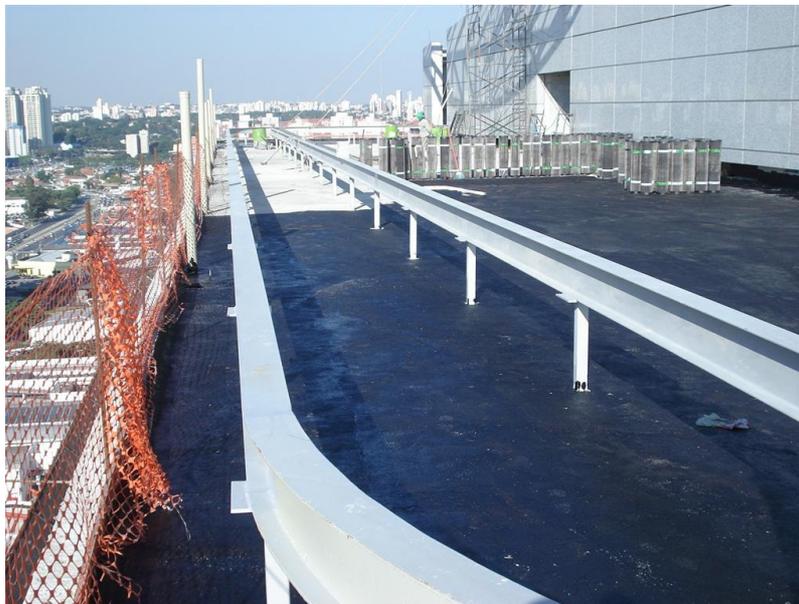


Figura 4.24: Mesmo corte da Figura 4.23, projetado para a fachada inclinada. Fonte: Projeto básico de caixilharia executado pelo consultor (PD), cedido pela construtora (2008)

Foi de responsabilidade da construtora apenas a instalação dos pinos das fachadas e trilhos localizados no 19º pavimento de cada torre, representados na Figura 4.25. A contratação da gôndola automática para o lava-fachadas representada na Figura 4.26, e a instalação dos parafusos do tipo olhal, ficou a cargo da administradora do empreendimento.



**Figura 4.25: Trilho do lava-fachadas instalado na cobertura
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (julho/2008)**

Conforme ilustrado na Figura 4.25, sobre o trilho instalado na cobertura das torres A e B (Figuras 4.26 e 4.27), é colocada uma máquina que possui uma alavanca, e uma cadeira fixada com cabos de aço. Essa alavanca se move ao redor de toda a fachada, posicionando a cadeira na fachada escolhida e baixando a cadeira gradualmente, conforme necessário.



Figura 4.26: Gôndola lava-fachadas instalado na cobertura das torres A e B em movimento
Fonte: GONDOMATIC (2011)



Figura 4.27: Gôndola lava-fachadas estacionada na cobertura
Fonte: GONDOMATIC (2011)

4.2.5 Produção

Para enumerar os problemas ocorridos na fachada do empreendimento “R”, será descrito abaixo o processo de produção dos sistemas de fachadas do empreendimento.

O processo de produção do sistema unitizado ocorreu conforme a sequência abaixo:

- Levantamento técnico da obra: após conclusão da estrutura (Figuras 4.28 e 4.29), realizou-se uma medição topográfica da estrutura que receberia a fachada e foram lançados arames, que serviram para verificar os prumos. O objetivo era identificar possíveis interferências entre estrutura e fachada, que não foram detectadas na compatibilização de projetos e/ou diferenças entre o que foi projetado e o que foi executado. Esse levantamento fornece os dados de entrada para o projeto de fabricação de caixilhos, que deve contemplar soluções para as diferenças encontradas.



Figura 4.28: Vista da estrutura da torre D no início da fase de execução das fachadas
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.29: Vista da estrutura da torre D no início da fase de execução das fachadas
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009

- Projeto de fabricação: com base neste levantamento e nos projetos desenvolvidos pelo consultor de vidros e caixilhos (PD), o fornecedor/instalador das esquadrias desenvolveu o projeto de fabricação das esquadrias. Os projetos foram validados pelo consultor de vidros e caixilhos (PD), em conjunto com a construtora.
- Definição das medidas dos vidros: determinação da relação de vidros com definição das medidas de corte. Esta relação foi elaborada pelo fornecedor/instalador das esquadrias (L).
- Planejamento da execução: as etapas da execução para a montagem da fachada foram desenvolvidas pelo fornecedor/instalador de caixilhos. No projeto de fabricação, desenvolveu-se um mapa para cada uma das fachadas, ilustrando a sequência executiva da fabricação da montagem dos caixilhos nas fachadas.
- Fabricação e entrega na obra: realizada de acordo com as recomendações do consultor de vidros e caixilhos (PD), referentes ao local de armazenamento apresentado nas Figuras 4.30 a 4.33, e as condições de transporte adequado.

Nesta etapa, ainda na fábrica do fornecedor/installador de esquadrias (L), foram avaliadas a anodização e a extrusão dos caixilhos.



Figura 4.30: Vidros em cavaletes adequados para transporte – torres A e B
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.31 Local de armazenamento dos vidros e caixilhos – torre D
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.32: Local de armazenamento dos vidros e caixilhos – torres A e B
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2008



Figura 4.33: Vidros estocados na obra – torres A e B
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009

- Instalação de ancoragens: fixação de perfis de espera nas lajes, nos painéis de concreto (torre A e B) e na alvenaria de vedação (torre D), conforme Figuras 4.34 até 4.36. A fixação é feita através de insertos pré-posicionados no concreto, para

posterior fixação de suportes para sustentação do caixilho (pele de vidro) ou contramarco (caixilho unitizado).

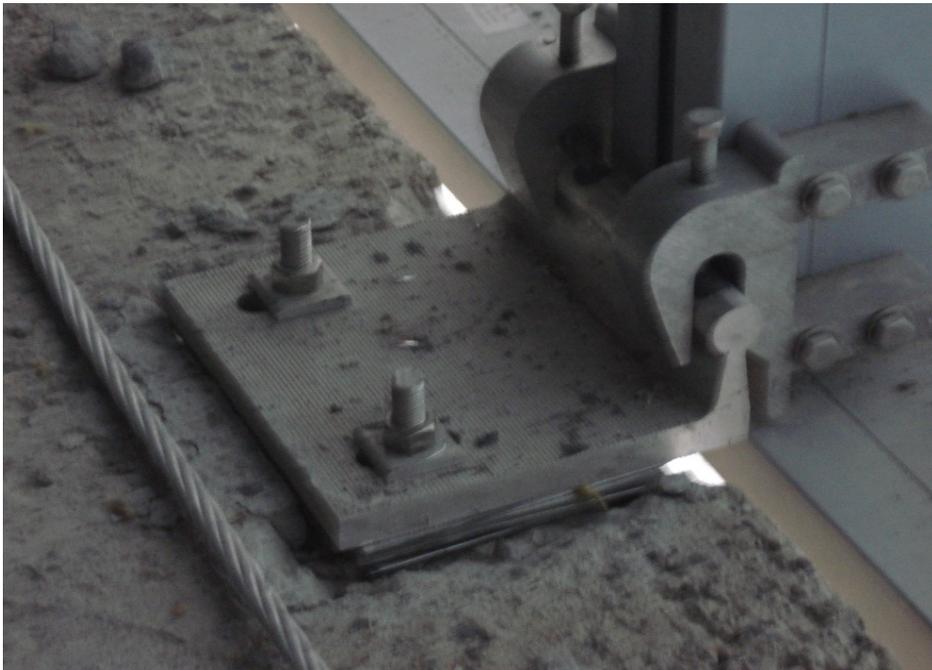


Figura 4.34: Ancoragem com calço para suporte do caixilho
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.35: Ancoragem do caixilho com alteração de posição ou altura do suporte
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2009)



Figura 4.36: Ancoragens da fachada inclinada (torre D)
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009

- Colagem de vidros: feita em área apropriada conforme recomendações do consultor de vidros e caixilhos (PD), apresentada nas Figuras 4.37 até 4.41.



Figura 4.37: Processo de colagem – posicionamento do vidro
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.38: Processo de colagem – aplicação de silicone
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.39: Processo de colagem – raspagem do excesso de silicone
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.40: Processo de colagem – limpeza fina do excesso de silicone
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.41: Processo de colagem – esquadrias prontas para serem instaladas
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

- Instalação de contramarcos nos caixilhos entrevãos: antes da instalação dos caixilhos, foi feita a colocação dos contramarcos sobre as alvenarias de vedação ou painéis de concreto (Figuras 4.42 e 4.43).



Figura 4.42: Caixilho entrevãos – instalação de contramarcos
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.43: Fachada inclinada caixilho entrevãos – instalação de contramarcos
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

- Instalação de gaxetas nos caixilhos entrevãos (Figuras 4.44 a 4.46): a finalidade das gaxetas é garantir a estanqueidade dos caixilhos.



Figura 4.44: Caixilho entrevãos – colocação de gaxeta para garantir a vedação
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.45: Caixilho entrevãos – colocação de gaxeta
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

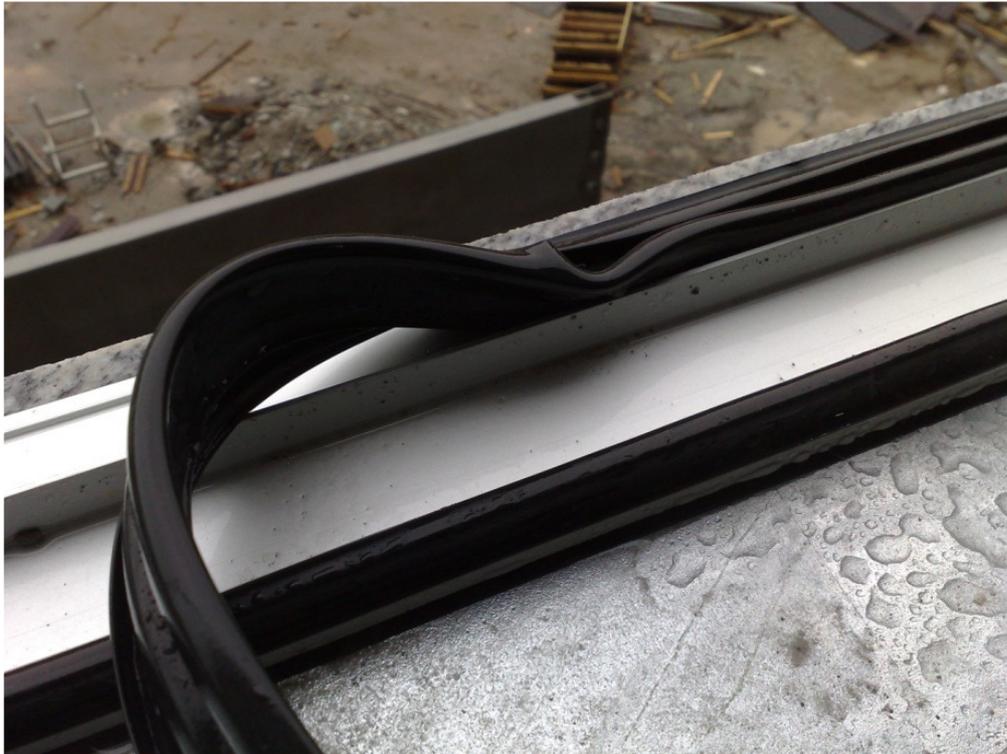


Figura 4.46: Caixilho entrevãos – colocação de gaxeta
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

- Instalação de painéis: os painéis foram suspensos e posicionados individualmente com guindaste pelo lado externo até suas posições determinadas na fachada. Na laje de cada um dos andares, dois trabalhadores auxiliaram no encaixe dos painéis (Figuras 4.47 até 4.52).



Figura 4.47: Montagem da pele de vidro (torre D)
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.48: Pele de vidro (torre D)
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.49: Módulo unitizado
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.50: O caixilho foi suspenso por um motor elétrico, e colocado próximo à posição de encaixe. Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.51: Modulo unitizado sendo instalado na fachada (torre D) e balancim para instalação
Fonte: Arquivos da autora, fotos tiradas em setembro de 2009



Figura 4.52: encaixes para a fachada em pele de vidro
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

Devido a características deste projeto, o caixilho da pele de vidro é suportado em três encaixes: um no pavimento superior, outro no inferior, e o terceiro no caixilho já existente abaixo.

Conforme mostram as Figuras 4.53, 4.54 e 4.55, a borracha de vedação da pele de vidro é inserida entre os dois caixilhos, a fim de possibilitar a movimentação e impermeabilização dos mesmos.



Figura 4.53: Borracha de vedação da pele de vidro
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.54: Pele de vidro – para o encaixe do caixilho superior, outra borracha de vedação deve ser inserida. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.55: Pele de vidro – cantoneira em alumínio acrescentada acima da borracha de vedação para fixação dos dois caixilhos
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.56: Torres A e B do empreendimento “R”
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

O processo de projeto e instalação dos painéis de concreto ocorreu de acordo com a sequência abaixo:

- Desenvolvimento do projeto executivo de acordo com a arquitetura do edifício, incluindo o cálculo estrutural dos painéis, que considera as solicitações do vento, cargas devidas ao granito e aos caixilhos que serão apoiados e demais cargas acidentais.
- Análise do projeto de arquitetura, dos projetos básicos de caixilharia produzidos pelo consultor de vidros e caixilhos (PD) e do projeto da estrutura de concreto do edifício, para então: sugerir ou discutir com a devida antecedência as alterações ou adaptações necessárias, a fim de viabilizar a montagem dos painéis nas fachadas; propiciar condições de montagem e utilização dos equipamentos da obra (ex.: guias) ou a utilização simultânea de equipamentos próprios, de forma que a operação não represente conflito com a execução da estrutura.
- Apresentação dos cálculos estruturais dos painéis e suas fixações à estrutura. Os desenhos correspondem aos projetos executivos dos painéis de todos os tipos, indicando seus elementos e acessórios, insertos, cotas gerais e de posicionamento, desenhos das juntas e indicação da posição e traçado dos selamentos.
- Todos os projetos desenvolvidos por fornecedores especializados foram submetidos à aprovação da construtora.
- Fornecimento de todos os equipamentos necessários à produção, transportes, proteção e montagem dos painéis nas fachadas do edifício.
- Definição conjunta com a construtora das posições dos equipamentos de elevação, as cargas nas pontas e ao longo da lança das guias, o alcance de operação. Também foram estudados o caminho de acesso das carretas transportadoras dos pré-moldados, os eventuais reforços ou reescoramento das

lajes para sustentação de guindastes para montagem dos painéis, principalmente nas fachadas inclinadas.

- As pedras naturais foram fornecidas já cortadas e prontas para receberem suas ancoragens (Figura 4.57) e serem fixadas nos painéis. As pedras foram entregues e armazenadas na empresa que produziu os painéis de concreto (S), conforme mostra, as Figuras 4.58 e 4.59, após a seleção do consultor de rochas e granitos (PG), contratado pela incorporadora, que também fez vistorias na fábrica dos painéis dos pré-moldados, a fim de garantir que as pedras apresentassem as características estéticas esperadas pelo cliente. Considerou-se, na inspeção, a presença de manchas, quebras, trincas, lascas ou outros defeitos de identificação visual.



**Figura 4.57: Placa de granito sendo perfurada para fixação no painel de concreto (torres A e B)
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)**



Figura 4.58: Placas de granito armazenadas na fábrica dos painéis de concreto
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.59: Placas de granito armazenadas na fábrica dos painéis de concreto
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

- Fabricação dos painéis de concreto armado, incorporando aos mesmos as placas de granito, que foram fornecidas pela construtora na fábrica dos painéis de concreto (Figura 4.60).



Figura 4.60: Processo de fabricação dos painéis de concreto
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

- Instalação dos painéis: após conclusão da estrutura de concreto das torres A e B e fabricação dos painéis de concreto, estes foram transportados e montados na obra com o uso da grua. Os painéis não foram armazenados na obra, e a entrega dos painéis foi realizada de acordo com o cronograma de montagem, mantendo na obra apenas um pequeno estoque de painéis. Os painéis foram fixados nas ancoragens devidamente posicionados na estrutura no momento da concretagem das lajes por meio dos insertos concretados nas formas dos painéis (Figuras 4.61 a 4.63).



Figura 4.61: Detalhe do apoio do painel de concreto sobre estrutura
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)



Figura 4.62: Vista interna do painel de concreto pré-fabricado apoiado na estrutura
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

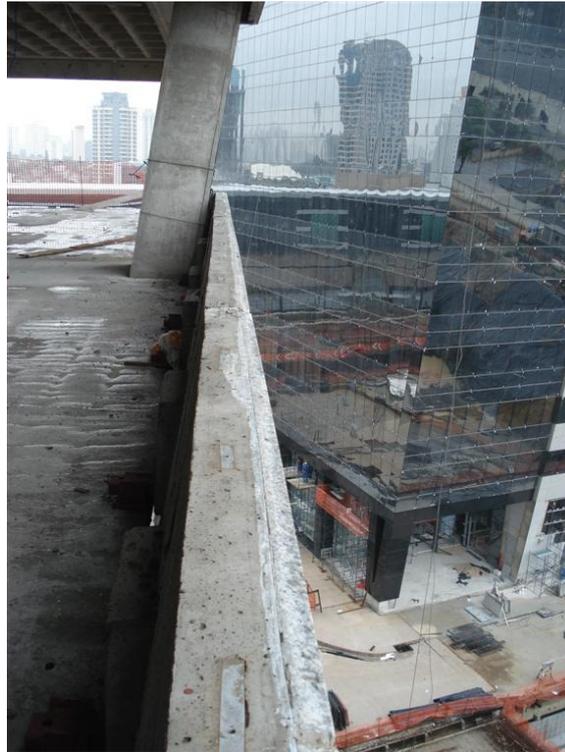


Figura 4.63: Painel de concreto pré-fabricado instalado na fachada inclinada
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (2008)

4.2.6 Problemas identificados

O processo de levantamento dos problemas identificados na obra foi realizado através do depoimento de diversos agentes da cadeia produtiva, conforme segue:

- Coordenadora do projeto pela construtora (M): relatados pela coordenadora do projeto, em entrevista fornecida à autora desta dissertação;
- Consultor de vidros e caixilhos (PD): relatados pelo consultor de vidros e caixilhos deste empreendimento em entrevista fornecida à autora desta dissertação;
- Equipe de produção (M): relatados pelo engenheiro civil, responsável pela execução da fachada em entrevista;

- Equipe da qualidade da obra (M): relatadas pelo engenheiro civil, responsável pela qualidade da obra, tanto nas torres A e B quanto na torre D. O engenheiro teceu uma breve explicação do sistema utilizado nas torres A e B, painel pré-fabricado de concreto com granito aderido, e do sistema da torre D, revestimento não aderido (granito) instalado em sistema americano.

Segundo ele, no sistema do painel de concreto, o painel é solidarizado à fachada. À medida que um andar é fechado com o painel, já é possível também fechá-lo com o sistema unitizado. A espessura do painel de concreto + granito resulta em 13,5 cm, podendo variar até 15 cm, e pesam entre 2.500 kg a 3.000 kg, o que implica uso da grua.

O engenheiro civil, comparando os sistemas das torres A e B com o sistema da torre D, mencionou o alinhamento da estrutura.

O sistema utilizado nas torres A e B (painel de concreto + granito) apresenta menos precisão e tem mais dificuldades para atingir a excelência na qualidade do que o sistema utilizado na torre D (alvenaria de vedação + sistema americano com granito); porém, o prazo de obra do sistema em painel é menor e mais fácil de ser controlado do que o sistema em alvenaria de vedação. Baseado na breve explicação do sistema, ele identificou alguns problemas que estão relatados no Quadro 4.5.

Quadro 4.5: Quadro de problemas identificados por agentes da cadeia produtiva

Agente	Construtora	Coordenadora de projeto	
<i>Local</i>	<i>Descrição do Problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>
Torre D – Viga do último pavimento	Assim como em todos os demais pavimentos, apenas 10 cm da viga invertida deveriam ter sido executados para baixo da laje, porém, o projeto foi liberado para execução com medida superior a 10 cm. O erro foi verificado na fase de execução da fachada, prejudicando assim a altura do vão livre para caixilhos, pois a vedação em alvenaria já estava executada e o insertos do caixilho e do granito já estavam instalados na vedação	Ausência de compatibilização entre os projetos de estrutura, arquitetura e projeto de fabricação dos caixilhos	A solução foi fabricar toda a série de caixilhos daquele pavimento com medida especial, uma vez que nem todos os caixilhos já estavam executados
Torre D – Primeiro pavimento	Neste pavimento, a vedação em alvenaria foi executada com altura superior a devida, pois a cota informada em projeto estava errada. O erro foi verificado na fase de execução da fachada, prejudicando assim a altura do vão livre para caixilhos	Ausência de compatibilização entre os projetos de estrutura, arquitetura e vedações	A solução foi à demolição parcial da vedação para manter a altura prevista do vão livre
Torres A e B	As vigas da estrutura foram executadas 10 cm mais altas do que o previsto no projeto O tipo de fixação padrão não pode ser utilizado. O vão luz foi reduzido	Ausência de compatibilização entre os projetos de estrutura, arquitetura	Alterar o tipo de fixação dos caixilhos e assumir um vão luz menor do que o previsto
Agente	Consultor	Vidros e Caixilhos (PD)	
<i>Local</i>	<i>Descrição do Problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>
Torre B – Deformações dos vidros da fachada da torre B	Verificou-se o empenamento dos vidros em regiões da fachada onde havia diferenças de calor criadas para uma mesma placa de vidro (foram registradas regiões com diferenças de até 20°C). Futuramente, as deformações podem ocasionar fissuras	O projeto de arquitetura adotou uma modulação na qual uma mesma placa de vidro ora cobria o pilar (pintado de preto), ora ficava fora do pilar. A parte do vidro que cobria o pilar pintado absorvia mais calor do que a parte que não cobria o pilar	A ocorrência não foi solucionada, mas o consultor sugeriu algumas formas para evitar ocorrência semelhante em outras fachadas: - Uma possível solução seria o uso de filtros especiais ou películas externas - Pagar a modulação das fachadas, de modo que uma mesma placa não fique ora sobre o vidro, ora fora dele

Quadro 4.5: Quadro de problemas identificados por agentes da cadeia produtiva (Continuação)

Agente	Consultor	Vidros e Caixilhos (PD)	
<i>Local</i>	<i>Descrição do Problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>
<p>Anodização e Extrusão dos perfis</p>	<p>Foram verificados os seguintes problemas quanto aos perfis:</p> <ul style="list-style-type: none"> - perfis com anodização manchada (apresentando listras que acompanham os reforços internos dos perfis tubulares) - perfis da guarnição de peitoril que apresentavam uma tonalidade da anodização mais escura que os perfis que lhe seriam vizinhos - perfis com deformação da seção dos tubulares, trazendo como resultado que a face mais externa dos perfis, onde o vidro é colado, não estava em ângulo de 90º com a lateral do perfil; em consequência, o sulco para a primeira gaxeta havia se estreitado 	<p>Identificou-se nas vistorias que os perfis com deformação da seção dos tubulares foram amassados durante o manuseio (transporte, carga e descarga)</p> <p>Para os problemas de manchamento não foram identificadas causas; portanto, definiu-se um maior controle de qualidade do produto acabado.</p>	<p>Foram aferidas a quantidade de micra das peças avaliadas. O resultado foi superior à especificação, de A-18, ou seja, 18 micras, e mesmo assim, as peças apresentavam manchas. Dessa forma, as empresas responsáveis pela extrusão e pela anodização se reuniram em uma vistoria na empresa responsável pela montagem e instalação das esquadrias e adotaram as seguintes ações:</p> <ul style="list-style-type: none"> - A empresa de extrusão inspecionou todo seu lote de perfis e verificou que, a partir de 40 ou 50 cm das pontas das barras, os perfis não apresentavam aquela deformação identificada, e o sulco da gaxeta estava com a abertura prevista na ferramenta (7,3 mm). Os perfis não apresentavam mais a deformação nas pontas das barras. - Realização de ensaios pela empresa de extrusão – os relatórios laboratoriais mostraram variações, mas todas estão dentro dos parâmetros de NBR pertinente. Segundo os especialistas da empresa de extrusão (H) e da empresa de anodização (OC), mesmo as ligas de alumínio estando dentro das tolerâncias de Norma, tais variações podem ser responsáveis por alterações de tonalidade na anodização

Quadro 4.5: Quadro de problemas identificados por agentes da cadeia produtiva (Continuação)

Agente	Consultor	Vidros e Caixilhos (PD)	
<i>Local</i>	<i>Descrição do Problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>
			- Fixou-se como padrão de cor o tom mais claro, presente na maioria das barras inspecionadas. O consultor de vidros e caixilhos ressaltou que cada fornecedor deveria se responsabilizar por seu controle de qualidade, de modo que perfis com problemas de extrusão não deveriam ser entregues para anodização, e que a empresa de anodização (OC) não seria responsável pela inspeção dos perfis, e não deveria anodizar aqueles que considerasse com problemas, a fim de evitar perda de tempo e trabalho.
Agente	Construtora	Engenheiro de produção responsável pela fachada	
Problemas com Material	Foram verificados perfis, arremates e acabamentos de alumínio com amassamentos e riscos. Se esses materiais fossem utilizados nas fachadas, correriam o risco de provocar infiltrações na edificação	Armazenamento inadequado para as peças ainda não instaladas e falta de proteção sobre os módulos já instalados	As instalações das fachadas usualmente não são os últimos serviços a serem executados; portanto, a solução é proteger os módulos das fachadas já instalados
Falhas na aplicação do silicone	Verificou-se que, em alguns pontos das fachadas, havia falhas na aplicação do silicone. O esquecimento de qualquer ponto de vedação pode ocasionar graves problemas com estanqueidade da fachada	Não houve verificação posterior dos serviços de aplicação do silicone	O silicone foi aplicado nos pontos onde foram identificadas as faltas deste elemento de vedação. Uma possível solução para evitar qualquer ponto de esquecimento seria a implantação de um procedimento efetivo de monitoramento e controle durante a execução.
Manchas nos vidros instalados	Foram identificadas manchas nos vidros	Este tipo de problema normalmente é causado ou pela chuva (que acaba carregando sujeira acumulada), ou pela incorreta limpeza do silicone utilizado na vedação da fachada	A solução possível seria a implantação de procedimentos periódicos de limpeza e manutenção da fachada. Tais procedimentos deveriam recomendados nas documentações entregues por todos os fornecedores da cadeia de fornecimento e montagem de qualquer componente da fachada, e deveriam ser filtrados, compilados e informados ao cliente através da documentação de entrega da obra, realizado pela construtora

Quadro 4.5: Quadro de problemas identificados por agentes da cadeia produtiva (Continuação)

Agente	Construtora	Engenheiro de qualidade	
<i>Local</i>	<i>Descrição do Problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>
Torres A e B – Tolerâncias do painel pré-fabricado de concreto <i>versus</i> tolerâncias do caixilho	Entende-se por problemas de tolerâncias as variações dimensionais das peças (comprimento, largura e altura) e medidas no seu empenamento. No empreendimento “R”, os painéis chegavam a variar cerca de 3 cm, enquanto que a variação dos caixilhos não atingiu mais que 1 cm. Estas variações impactam nas larguras das juntas entre os painéis, na compatibilidade entre os painéis e o granito, e nos encontros dos painéis com os caixilhos	Não foram estabelecidas previamente quais seriam as tolerâncias admissíveis para cada um dos sistemas adotados para a fachada	Para minimizar o número de ocorrências do problema foram estipulados os valores que seriam tolerados para tais variações. Esta foi a medida adotada até o final da obra
Manchas no granito (ver Figura 4.64)	Manchas no granito ocasionadas pela madeira utilizada na estocagem	Os painéis (concreto + granito) foram recusados na obra	A solução foi corrigir a forma de armazenamento das pedras e dos materiais de apoio conforme relatório do consultor de vidros e caixilhos.
	Empenamento dos painéis de concreto e manchamento de 50% de todo o granito comprado para a torre A	A obra da primeira torre (torre A) ficou paralisada por 4 anos. Na ocasião, alguns painéis já estavam concretados com o granito e armazenados inadequadamente - em “pé”, sob as intempéries do sol e da chuva	Os painéis foram recusados pela obra. Recomenda-se que o ato da estocagem do granito sobre o cavalete de madeira seja realizado de maneira adequada, não ocasionando contato entre os dois materiais
Inserto do caixilho	Alteração da altura do suporte/inserto do caixilho	Falta de nivelamento na concretagem das lajes	Foi necessária uma pequena alteração na posição ou altura do suporte (até 3 cm) para alinhamento da fachada, que foi realizada através de grouteamento.

4.3 Empreendimento 2

O empreendimento dois é um edifício comercial Triplo A – denominado de “I”, localizado no município de São Paulo, SP, incorporado por uma empresa conceituada no mercado da incorporação.

Assim como no empreendimento 1, o nome deste empreendimento e da incorporadora não serão revelados, sendo nomeado como empreendimento “I”, incorporado pela empresa “Y”. Também não serão mencionados os nomes dos demais agentes da cadeia produtiva envolvidos no desenvolvimento do sistema de fachada. Eles serão, portanto, tratados pelas siglas denominadas no Quadro 4.6.

Quadro 4.6: Denominação dos agentes da cadeia produtiva do subsistema fachada do empreendimento “I”

Agentes da cadeia produtiva	Denominação adotada
Incorporadora	Y
Construtora	M
Projeto de arquitetura – concepção de projeto	K
Projeto de arquitetura – desenvolvimento de projeto	A
Coordenador do projeto = arquiteto do desenvolvimento	A
Consultoria de fachada (vidros e caixilhos) – contratação cliente	IB
Consultoria de fachada (vidros e caixilhos) – contratação construtora	C
Fornecedor/Instalador de esquadrias	IT
Empresa de anodização	OC

4.3.1 Descrição do empreendimento

O empreendimento “I” é um edifício comercial, formado por uma única torre de 118 m, sendo 18 andares de escritórios com aproximadamente 2.000 m² cada, cinco níveis de subsolo, térreo, mezaninos, ático para áreas técnicas e um heliporto no último andar, com fachada em pele de vidro, curva e inclinada. Totalizando 70.402 m² de área construída em um terreno de aproximadamente 7.970 m², localizado no bairro Itaim Bibi (Figuras 4.64 (a) e (b)).

O período de desenvolvimento do projeto teve início em novembro de 2008 e se estendeu até, aproximadamente, agosto de 2010. Em 21 de agosto de 2010, foi aprovado pela Prefeitura de São Paulo (SEHAB) o projeto modificativo do empreendimento. O período da obra compreende todo o ano de 2010 e 2011.



(a) (b)
Figuras 4.64 (a) e (b): Maquetes eletrônicas do empreendimento
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

A Arquitetura

A concepção do projeto de arquitetura é de um renomado escritório americano (K), e o desenvolvimento do projeto de arquitetura foi feito por um conceituado escritório paulista (A), com quase 50 anos de experiência em projetos de arquitetura, somando aproximadamente 6 milhões de m² de projetos.

O empreendimento se adéqua ao conceito de construção sustentável, ou seja, realizado através de intervenções que adaptam o meio ambiente às necessidades humanas, economizando recursos naturais para gerações futuras. O empreendimento terá uma série de espelhos d'água, calçadas sombreadas, áreas ajardinadas conforme Figuras 4.65 e 4.66, e desenho exterior dinâmico, com volume semelhante às velas de uma embarcação.



Figura 4.65: Vista da área externa do empreendimento
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)



Figura 4.66: Imagens dos espelhos d'água
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

Quanto às premissas do cliente para a fachada:

- A área de vidro deveria proporcionar a máxima amplitude possível para a visualização da paisagem externa;
- Os *brises* deveriam estar posicionados de maneira a não representar obstáculo visual aos ocupantes;
- A altura do peitoril deveria ser mantida a 40 cm do piso acabado;
- Todos os pavimentos deveriam ter terraços na fachada Sul.

Quanto às características da fachada:

- Especificação dos vidros: laminado RB40 (*Royal Blue 40 – Guardian*);

- Pintura dos perfis de alumínio: em acabamento metalizado cor prata/RAL 9006 para as peças externas, e pintura sólida para os perfis internos, cor cinza-spa;
- *Shadow box*: cinza escuro. Foram testadas três cores para o *shadow box*: preto, prata e cinza escuro.

O arquiteto apresentou um estudo alternativo para os *brises*, no qual a modulação e a distância entre eles é igual (Figuras 4.67, 4.68 e 4.69). O objetivo era manter a leitura da fachada como um plano uniforme. Dessa maneira, o resultado foi a colocação de dois *brises* por pavimento, sendo que o projeto original apresentava cinco aletas por pavimento e foi descartado, pois causava interferência visual na fachada.

É importante lembrar que um fator limitante ao tamanho dos *brises* foi à restrição imposta pelo Código de Obras e Edificação de São Paulo, no que diz respeito ao limite máximo de 40 cm de “saliência” deste tipo de elemento, em relação à fachada. Ultrapassado tal limite, os *brises* poderiam eventualmente ser interpretados como área construída e interferir no cálculo de áreas, projeção e recuos da edificação. Era preocupante a questão dos recuos, pois o projeto não apresentava tolerância para acréscimos de áreas.

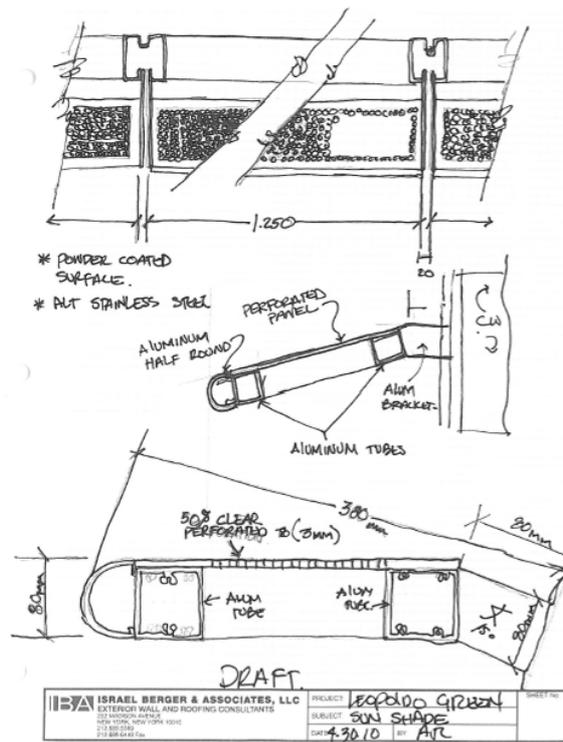


Figura 4.67: Croqui dos brises da fachada
 Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

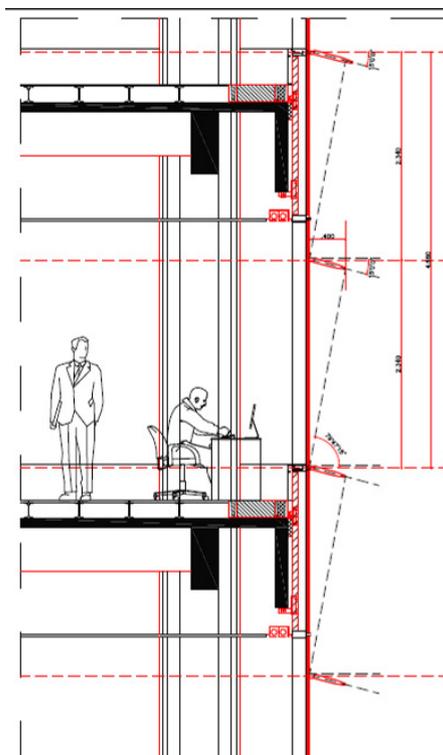


Figura 4.68: Estudo dos brises da fachada
 Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

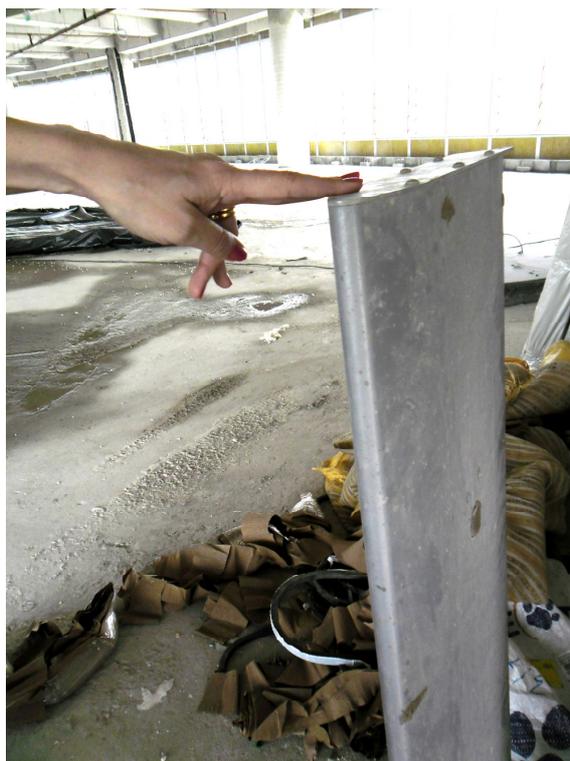


Figura 4.69: Brise da fachada estocado na obra
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em outubro/2011

Quanto à sua orientação, a Figura 4.70 mostra que o *core* está localizado muito próximo à fachada norte (N), que é a fachada com maior incidência de radiação solar (norte e noroeste). Sendo assim, ele serve de anteparo solar, o que implica na redução dos ganhos de carga térmica pelos fechamentos translúcidos e, conseqüentemente, na redução do consumo de energia para resfriamento. Além do posicionamento do *core* junto à fachada de maior exposição à radiação solar (N), outra técnica aplicada foi a colocação de *brises* nas fachadas leste e oeste, e o uso do terraço junto à fachada sul (S).

Observe que estas são algumas técnicas passivas a serem aplicadas à forma do edifício para direcionar o atendimento às condições de conforto interno da edificação citadas no item 3.1.1 do Capítulo 3 desta dissertação.

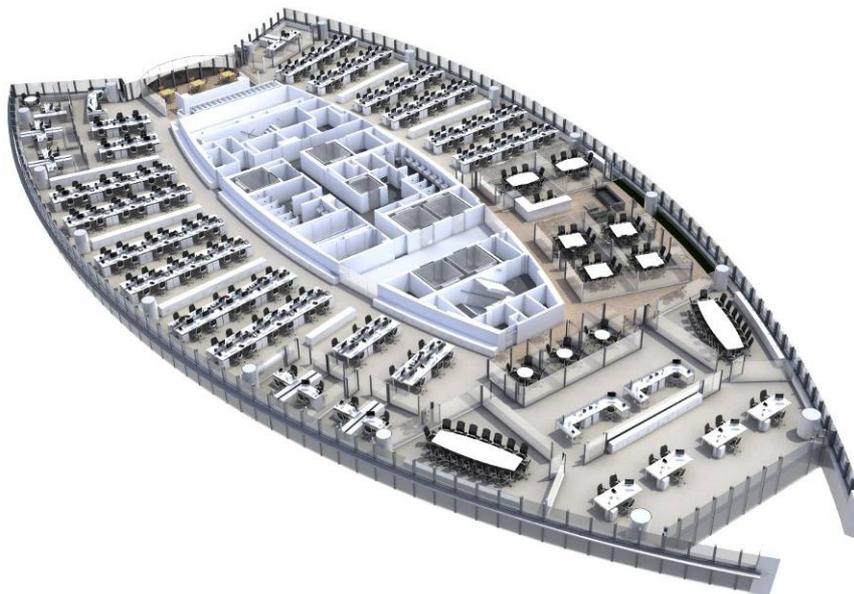


Figura 4.70: Imagem do andar tipo demonstrando a posição do core junto à fachada norte
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

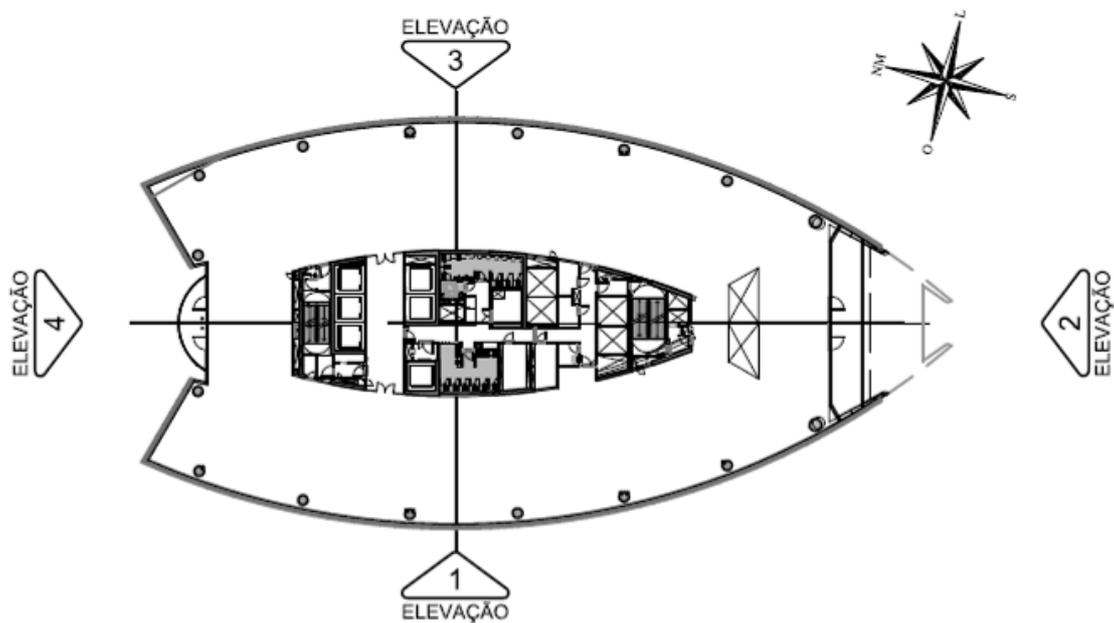


Figura 4.71: Implantação do edifício em relação a orientação solar
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

Limpeza da Fachada

Sistema de limpeza e manutenção de fachadas conforme projeto Gondomatic, constituído de equipamento eletromecânico (gôndola automática), com deslocamento horizontal sobre o núcleo da laje de cobertura do prédio através de um caminho de rolamento metálico (trilhos) na bitola de 3,00 m, com lança motorizada telescópica e giratória dimensionada para a plataforma de trabalho (cesta), atendendo todos os segmentos de fachada do prédio.

Para manter a estabilidade e total segurança dos operadores, serão instalados pinos (*washing bolts*) fixados nos caixilhos em todos os pavimentos dos segmentos de fachadas inclinadas (negativas) para aproximação da cesta junto às mesmas; nas fachadas verticais, os *sockets* serão instalados equidistantes verticalmente a 20 m ao longo das mesmas, conforme determinam as Normas Brasileiras e Internacionais (Figuras 4.72 a 4.74).

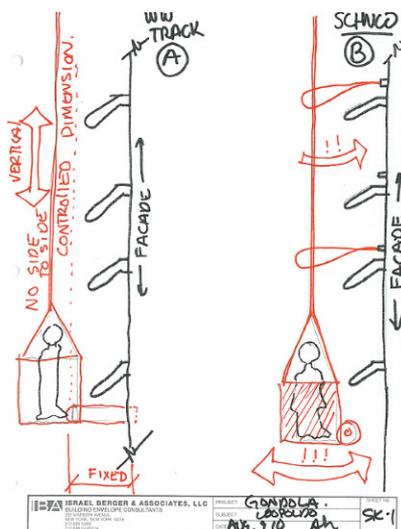


Figura 4.72: Croqui do sistema de limpeza das fachadas
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

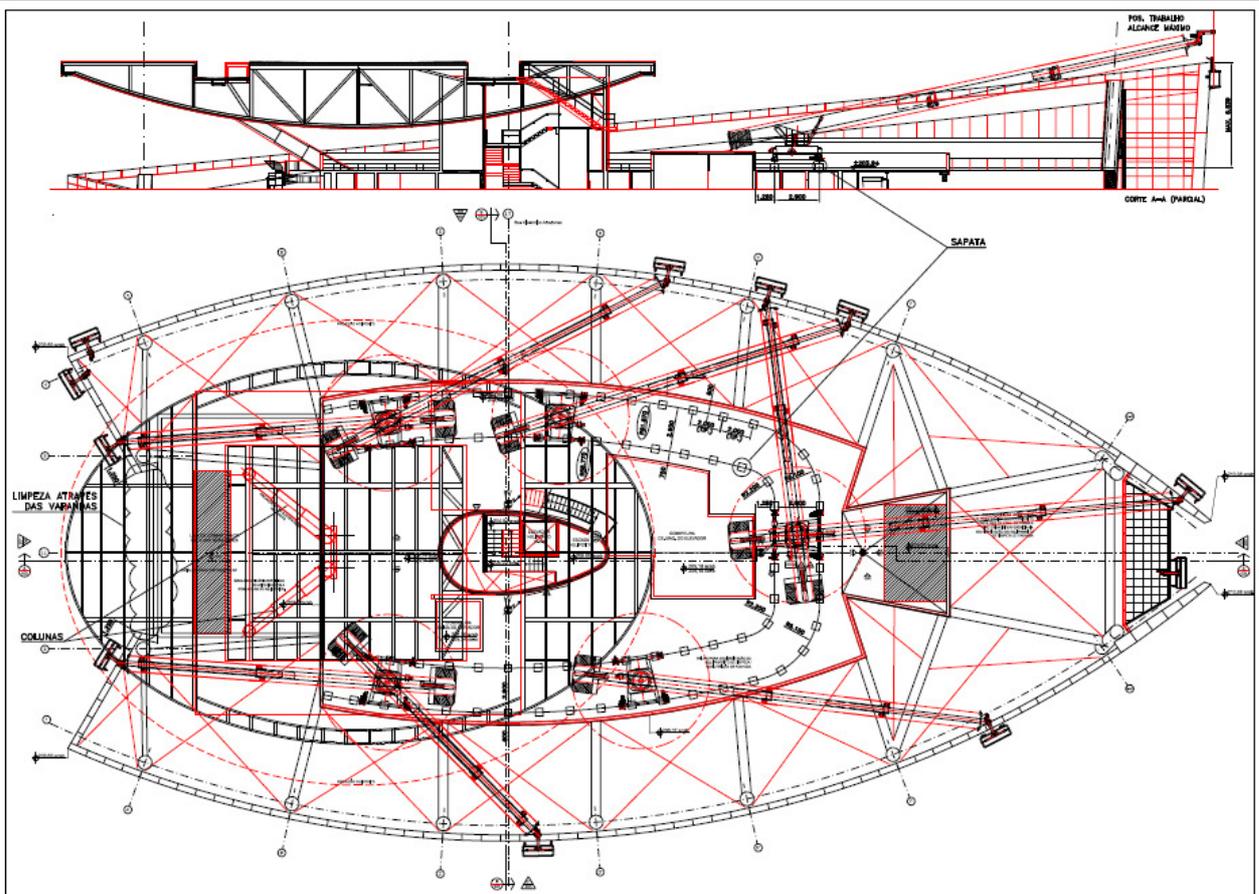


Figura 4.73: Projeto do sistema de limpeza das fachadas – planta e corte
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

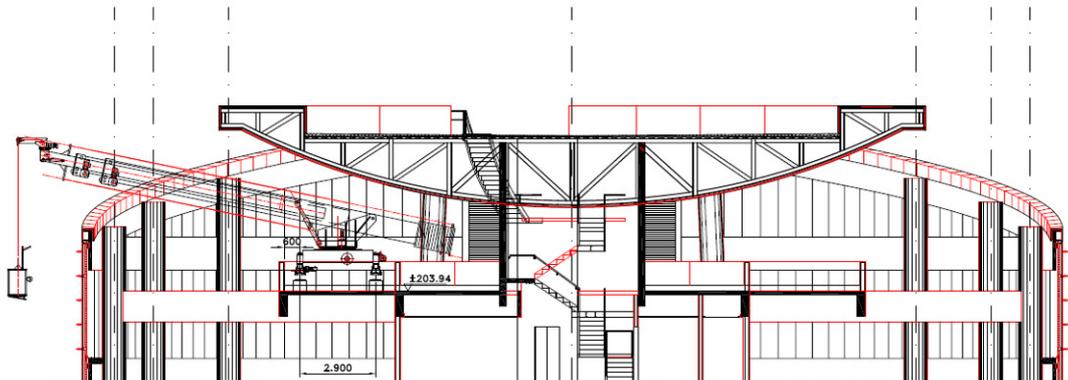


Figura 4.74: Projeto do sistema de limpeza das fachadas – corte
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

4.3.2 Quanto à certificação (sustentabilidade)

O empreendimento objetiva a certificação LEED, categoria *Gold*. A obra já conquistou a pré-certificação do LEED e, ao fim da obra, dará continuidade ao processo para obtenção da certificação final.

O que o qualificará são características estruturais cuidadosamente planejadas para oferecer o máximo aproveitamento da iluminação natural, circulação interna de ar, fontes alternativas para geração e, principalmente, economia de energia, elevadores de alta velocidade (6 m/s), uso de materiais recicláveis, e concepção de paisagismo e áreas verdes proporcionais ao tamanho do empreendimento, conforme apresentado na Figura 4.75.



Figura 4.75: Mostra a relação do empreendimento com o entorno
Fonte: Arquivos cedidos pela incorporadora (2010)

Um dos elementos de muita importância neste projeto eram os *brises*. Como eles são elementos que contribuem na eficiência energética do edifício, fez-se necessária a opinião do consultor de sustentabilidade, que teceu as seguintes ponderações:

1. Independentemente da quantidade de aletas por pavimento, o ideal é que fossem mantidas as vantagens fornecidas pelo *brise* nos resultados da simulação energética:
 - O ângulo formado entre a linha horizontal e a linha de inclinação imaginária, de ligação entre as extremidades de duas aletas consecutivas (aproximadamente 15° em relação à horizontal);
 - Ideal que as aletas fossem inclinadas, a fim de atenuar insolações em horários críticos da manhã e da tarde, uma vez que as fachadas principais estão voltadas para leste e oeste.
2. Em função da redução da quantidade de *brises*, de cinco para dois, sua largura deveria ser aumentada de 20 cm para 40 cm.
3. Realização de análise e adequação, se necessário, do projeto de ar condicionado.
4. Solicitação para que o projeto de luminotécnica/elétrica considere, próximo aos caixilhos, duas linhas de luminárias com dimerização ao invés de uma, como no início do projeto.

4.3.3 *Processo de desenvolvimento do projeto*

O desenvolvimento dos projetos de fachadas teve início na etapa de concepção do projeto arquitetônico, que criou as premissas estéticas iniciais a serem seguidas no projeto específico.

Durante o desenvolvimento do projeto, o escritório americano (K), responsável pela concepção, participou ativamente de todas as decisões de projeto, acompanhando

reuniões mensais coordenadas pelo escritório brasileiro responsável pelo desenvolvimento do projeto (A), com os projetistas das demais disciplinas, o cliente e a construtora.

A construtora passou a fazer o desenvolvimento do projeto na fase do projeto básico. O escopo da construtora era acompanhar o desenvolvimento do projeto executivo com o objetivo de desenvolver o orçamento e fazer uma engenharia e análise de valor (EAV) do produto, a fim de viabilizar o investimento pretendido pela incorporadora (Y). Para este trabalho, a construtora criou uma equipe multidisciplinar formada por um gerente de projeto, uma arquiteta – coordenadora de projetos, um engenheiro de instalações e um orçamentista.

- O primeiro passo foi estudar o projeto para conhecer as tecnologias adotadas para cada um dos subsistemas do empreendimento.
- O segundo passo foi desenvolver um orçamento do empreendimento na fase em que ele se encontrava (projeto básico), para só então entender quais subsistemas deveriam ser analisados pela engenharia de valor.

Este trabalho foi desenvolvido ao longo de um ano, resultando em diversas alterações de projeto e levando ao desenvolvimento do projeto executivo e ao início da obra.

Todas as alterações incorporadas ao projeto foram validadas pelo escritório responsável pela concepção do projeto (K).

A aplicação da EAV alterou os subsistemas de ar condicionado, elétrico, hidráulico e os revestimentos de forma geral. No entanto, os subsistemas de estrutura e fachada não foram alterados.

São **19 mil m²** de fachada-cortina em sistema unitizado com vidros de controle solar.

O projeto foi assessorado por dois consultores, sendo um de fora do Brasil (IB), desde a fase de desenvolvimento do projeto, e outro contratado na fase de execução da obra (C). Ambas as contratações foram feitas pelo cliente.

O escopo do consultor contratado na fase de execução da obra é a inspeção da fachada. Nessa inspeção ocorrem visitas com frequência variável, de acordo com o cronograma de montagem. A inspeção engloba as condições de colagem dos vidros e montagem dos caixilhos, além da verificação de conformidade com o projeto e outros pontos específicos levantados pelo consultor.

Durante o processo de **aquisição** do sistema, foi solicitado aos fornecedores de caixilho, vidro e luminária participantes da concorrência, a exigência de montagem de protótipo para aprovação dos perfis de alumínio (acabamentos interno e externo), para escolha do vidro, e a execução de uma caixa de madeira compensada simulando o ambiente do pavimento-tipo com o posicionamento da luminária conforme projeto, a fim de verificar o comportamento do vidro à noite.

Solicitou-se também a realização de ensaio de um *mock-up* da fachada-cortina em laboratório. O ensaio foi realizado pelo ITEC e contém dados quantitativos sobre o vazamento de ar, água e deformações estruturais. A Figura 4.76 mostra o *mock-up* montado pelo fornecedor/instalador da fachada para ser ensaiado no ITEC.

As orientações para a montagem do *mock-up* foram transmitidas pelo consultor de fachadas da fase do projeto (IB), assim como todos os requisitos, a sequência dos ensaios e seus respectivos critérios e valores permitidos (os critérios são a versão equivalente dos ensaios americanos).

Seguem abaixo os valores e resultados obtidos:

1. Para o critério de pré-carga (ensaio americano equivalente: ASTM E330): o resultado foi **aprovado**. Para definir a amostra da análise, foi aplicada uma

carga de 50% da carga de pressão positiva indicada em projeto por 10 segundos, e em seguida liberado.

2. Quanto ao critério de Infiltração de ar (ensaio americano equivalente: ASTM E283): o protótipo foi **aprovado**, pois nenhuma infiltração excessiva do ar foi observada.

3. Critério de penetração estática de água (ensaio americano equivalente: ASTM E331): o protótipo apresentou **falha**, porque foi observada infiltração de água no topo da maquete onde a junta de vidro intermediária está aparente. Penetrações de chumbadores também exibiram infiltração de água. Após investigações de ambos os vazamentos, determinou-se que a falta de um detalhe expôs uma junta seca, através da qual a água poderia migrar para o interior. Esse conjunto foi preenchido com a colocação do silicone de vidro projetado para junta de vidro.

4. Ensaio de desempenho estrutural (ensaio americano equivalente: ASTM E330): o resultado foi **aprovado**, uma vez que as deflexões estavam dentro dos limites permitidos;

Conclusão: Os ensaios realizados conforme orientação do consultor, com a exceção dos dois vazamentos atribuídos à instalação e montagem de itens que não se correlacionam com o desenho do sistema, foram satisfatórios, sendo que ambos os vazamentos são facilmente mitigados.

O consultor recomendou que uma visita ao local da obra fosse realizada no início da montagem e instalação, de modo a verificar se todas as questões técnicas são abordadas antes do início da obra.



Figura 4.76: *Mock-up* da fachada-cortina em sistema unitizado montado para ser ensaiado no ITEC. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (dezembro de 2010)

O *mock-up* mede aproximadamente 7,5 metros de altura por 6 metros de largura, composto por 8 painéis com seus respectivos *brises*, apresentados nas Figuras 4.77 (a) e (b) e Figura 4.78.



(a)



(b)

Figura 4.77: Figuras (a) e (b) – Suporte e acessórios do elemento de sombreamento – *brises*
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (dezembro de 2010)



Figura 4.78: Brises vistos de cima
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (dezembro de 2010)

Além disso, com o objetivo de atingir a *performance* ideal das fachadas, os consultores de fachada escreveram um memorial que tornou-se um anexo do edital de concorrência do subsistema fachada, onde foram transmitidas as seguintes orientações:

- Dados do ensaio do túnel de vento, onde foram reveladas as seguintes cargas de vento: 1,5 MPa para o campo, 2,0 MPa nos cantos, e em aproximadamente 5% da área 2,5 MPa;
- A espessura dos vidros teria que ser aumentada quando exigido pela carga de vento;
- Os vidros deveriam ser laminados no lado externo e temperados no lado interno, para atender aos padrões de exigência da segurança. O Quadro 4.7 apresenta os índices especificados para os vidros da fachada.

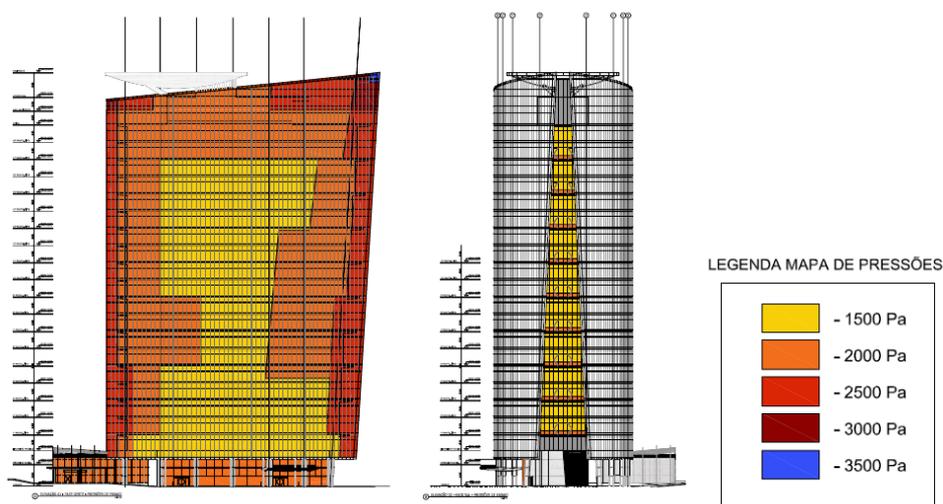
Quadro 4.7: Índices especificados para os vidros de controle solar
Fonte: Dados concedidos pela Construtora (2010)

TL – Transmissão Luminosa direta (%)	32 a 40%
Re – Reflexão Luminosa Externa (%)	22%
Ri – Reflexão Luminosa Interna (%)	14%
Ae – Absorção Energética (%)	63%
FS – Fator Solar (%)	31%
Cs – Coeficiente de Sombreamento	0,36%
“U” – Valor “U” verão	5,80 W/m ² .°C
SHGC – Ganho relativo de Calor	280 W/m ²

4.3.4 Planejamento e Produção

Depois de encerrada a concorrência para o fornecimento do sistema de fachada e definido que o fornecedor/instalador da fachada seria a empresa IT, iniciou-se o processo de fabricação e sequenciamento de montagem – produção.

A partir da assinatura do contrato firmado entre a construtora (M) e o fornecedor/instalador da fachada (IT), deu-se início ao projeto de fabricação das fachadas conforme Figuras 4.79 (a) e (b). O primeiro passo para o desenvolvimento do projeto foi o mapeamento das cargas de vento nas elevações do edifício (cargas informadas pelo relatório do ensaio de túnel de vento realizado no ITEC durante o desenvolvimento do projeto). Estas cargas e este mapeamento foram os dados de entrada para os cálculos de dimensionamento dos caixilhos, vidros e elementos de fixação das fachadas.



(a) Elevações face Oeste e face Sul



(b) Elevações face Leste e face Norte

Figura 4.79: Mapeamento das cargas de vento nas elevações do edifício
Fonte: Arquivos cedidos pelo Instalador/fornecedor da fachada (setembro de 2010)

Cada módulo padrão da fachada tem altura de 4.680 mm e largura de 1.250 mm; cada módulo recebe uma etiqueta onde constam sua largura entre eixos, altura entre eixos, seu nome (que é um número) e o número do pavimento a que pertence.

Existem os módulos especiais com alturas e larguras específicas, de acordo com o ponto da fachada em que serão instalados.

Depois de finalizado, o projeto de fabricação foi submetido à validação do arquiteto/coordenador do projeto (A).

Com a validação do projeto de fabricação inicia-se o processo de fabricação dos módulos e de todos os componentes do sistema da fachada. O cronograma acordado para essa etapa foi de 60 dias, e enquanto decorria este prazo, a construtora deu andamento aos serviços do subsistema estrutura, conforme Figura 4.80.



Figura 4.80: Conclusão da estrutura de concreto
Fonte: Fotos tiradas pela autora em janeiro de 2011

Dentre os serviços do cronograma de fabricação estão:

- Desenvolvimento de ferramentas para extrusão dos perfis e componentes da fachada;
- Confeção dos módulos;

- Fornecimento da lista de vidros com as suas respectivas dimensões para o fornecedor e vidros;
- Contratação e supervisão dos serviços de pintura dos caixilhos.

Decorridos cerca de 70% do tempo acordado para a etapa de fabricação do sistema de fachada, a construtora iniciou o processo de *follow-up* com o fornecedor/instalador da fachada (IT) e, para sua surpresa, o andamento do cronograma de fabricação era de 5%. O impacto deste atraso resultou em 60 dias de atraso no cronograma de execução da obra, pois os serviços de fechamento da fachada só puderam ter início 60 dias após o planejado.

Segundo informações da construtora, não foram realizadas inspeções nos locais onde os serviços de fabricação estavam sendo realizados. Porém, depois do resultado apresentado, a construtora passou a fazer inspeções freqüentes nesses locais.

Produção

Em janeiro de 2011 teve início a montagem da fachada, de acordo com a sequência relacionada abaixo:

- Instalação das ancoragens (Figuras 4.81 e 4.82): para a instalação, verificaram-se os seguintes serviços:
 - Locação das ancoragens;
 - Nivelamento das ancoragens;
 - Embutimento dos parafusos da ancoragem na estrutura;
 - Alinhamento vertical da estrutura;

- Pintura e impermeabilização da estrutura a receber a fachada.
- Montagem dos caixilhos: foi feita na obra. Normalmente a montagem dos caixilhos é realizada na fábrica; porém, neste empreendimento, por questões de falta de espaço disponível na fábrica de caixilhos e grande disponibilidade de espaço no local da obra, decidiu-se, entre a construtora e o fornecedor/instalador de caixilhos, que seria feita no canteiro. Para tanto, disponibilizou-se uma área no 2º subsolo. O ponto de atenção para tal serviço é a limpeza e organização do local.
- Colagem dos vidros: o ponto de atenção para a colagem foi respeitar o tempo de cura do tipo de fixação do vidro no marco. Assim como a montagem, a colagem dos caixilhos também foi feita no canteiro de obras. Para tanto, foi montada uma área de colagem no 13º pavimento, que atendeu a todos os andares abaixo dela, e outra área no 18º pavimento, que também atendeu a todos os pavimentos abaixo.
- Instalação dos painéis da fachada-cortina (Figuras 4.83 até 4.92): durante a instalação, os seguintes pontos foram controlados:
 - O alinhamento, o nível e o prumo dos perfis (Figura 4.84);
 - O embutimento da ancoragem da estrutura no gancho de ancoragem do caixilho (Figura 4.85);
 - A dimensão da junta entre os caixilhos, conforme especificação do projeto;
 - Conferência dos vidros antes da montagem, com o objetivo de verificar a integridade e limpeza dos mesmos;
 - O alinhamento, o nível e o prumo do vidro e do painel.

Na cobertura do edifício montou-se uma monovia, onde foi colocado o guindaste que içou os módulos da fachada. Os vidros colados no 13º pavimento eram içados por este guindaste, posicionados na fachada e fixados às ancoragens com o auxílio de dois funcionários que estavam no interior do edifício.



Figura 4.81: Fixação das ancoragens nas lajes
Fonte: Fotos tiradas pela autora em janeiro de 2011



Figura 4.82: Vista ampliada da ancoragem
Fonte: Fotos tiradas pela autora em novembro de 2011



Figura 4.83: Vista da fachada com andamento da colocação dos módulos
Fonte: Fotos tiradas pela autora em fevereiro de 2011



Figura 4.84: Alinhamento, nível, e prumo dos perfis
Fonte: Fotos tiradas pela autora em novembro de 2011



Figura 4.85: Embutimento da ancoragem da estrutura no gancho de ancoragem do caixilho
Fonte: Fotos tiradas pela autora em novembro de 2011

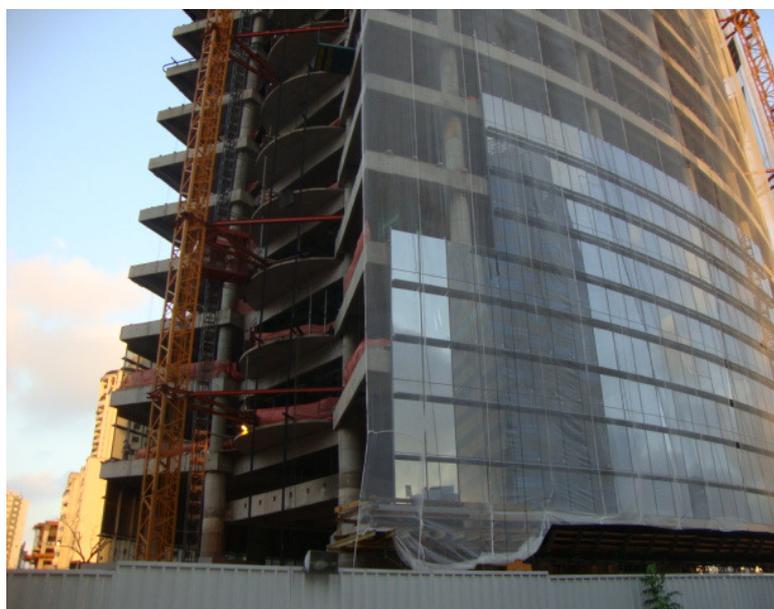


Figura 4.86: Vista da fachada com aproximadamente 1/4 dos módulos instalados
Fonte: Fotos tiradas pela autora em fevereiro de 2011



Figura 4.87: Vista interna da fachada
Fonte: Fotos tiradas pela autora em março de 2011



Figura 4.88: Vista da fachada com aproximadamente 2/4 dos módulos instalados
Fonte: Fotos tiradas pela autora em março de 2011



Figura 4.89: Vista da fachada com aproximadamente 3/4 dos módulos instalados
Fonte: Fotos tiradas pela autora em abril de 2011



Figura 4.90: Vista da fachada com aproximadamente 3/4 dos módulos instalados
Fonte: Fotos tiradas pela autora em abril de 2011

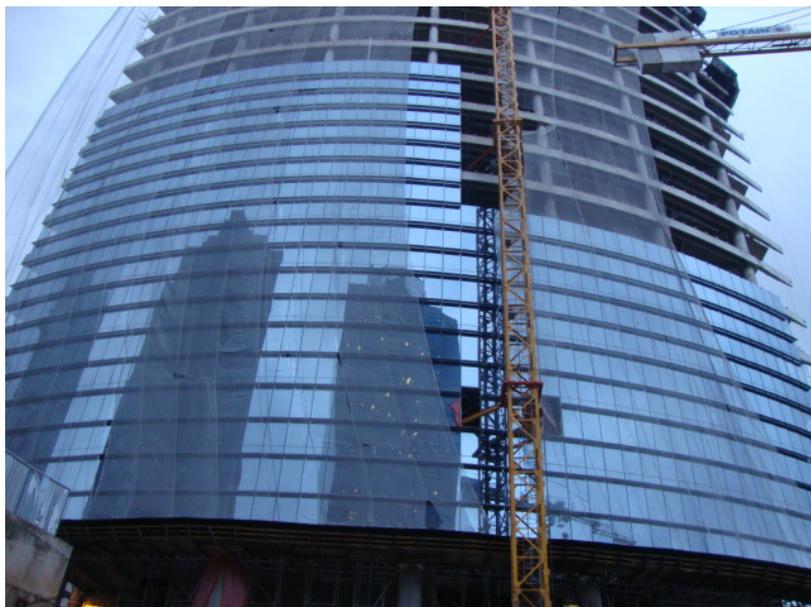


Figura 4.91: Vista da fachada com a grua
Fonte: Fotos tiradas pela autora em abril de 2011



Figura 4.92: Vista da fachada – face Norte
Fonte: Fotos tiradas pela autora em fevereiro de 2011

4.3.5 Problemas identificados

Em vistorias do consultor de vidros e caixilhos contratado para a fase de execução (C), realizadas nos dias 11 de fevereiro de 2011 e 9 de maio de 2011 para acompanhamento dos serviços de montagem, colagem de vidro e instalação da fachada, foram identificados os problemas relacionados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8: Quadro de problemas identificados pelos consultores de fachada

Agente	Consultor da etapa de execução (C)	Fachada
<i>Serviço</i>	<i>Descrição do problema</i>	<i>Recomendação técnica do consultor</i>
1. Instalação das ancoragens	Observou-se que a instalação das ancoragens foi executada em conformidade com o projeto; porém, existiam diversas arruelas dentadas mal posicionadas (Figura 4.93)	Solicitou-se a correção do problema. O consultor orientou que as arruelas deveriam ficar com suas estrias devidamente alinhadas
2. Posicionamento das ancoragens	Verificou-se que algumas ancoragens não foram instaladas na posição correta, ou seja, elas não obedeceram ao alinhamento necessário para a instalação dos painéis de fachada. No primeiro andar há uma ancoragem que está posicionada fora de nível (Figuras 4.95 e 4.96)	Com relação aos painéis instalados em ancoragens com desvio de alinhamento, entendemos que é importante um posicionamento do fornecedor/instalador no sentido de estabelecer as tolerâncias que o sistema absorve nesse sentido (desvio lateral sobre a ancoragem), bem como indicar se haverá algum problema de torção ou diferença de distribuição de carga sobre os chumbadores que comprometa a estabilidade da fachada, principalmente nos casos de ancoragens com subancoragem, onde o balanço é maior e a área de apoio é menor
3. Instalações dos painéis	Observou-se que, em diversos locais, as contraporcas de alinhamento dos parafusos de regulagem do nível do painel estavam sem o devido aperto (Figura 4.97)	Realizar os apertos devidos nas contraporcas
	A amostra referente ao posicionamento e fixação da lâ de rocha no painel não estava de acordo com o solicitado em projeto (Figura 4.98)	O consultor orientou que a lâ de rocha deveria ser posicionada por inteiro e fixada através de fio de alumínio trançado e fixado em cantoneiras de maneira que a lâ fique fixa
4. Assemblagem	Notou-se que, em diversas junções dos perfis de montagem dos quadros, faltava a vedação (Figura 4.99)	Instalar as vedações conforme projeto de fachadas e projeto de fabricação validados pelo consultor (IB)
	Verificou-se que o local de aplicação do silicone nos perfis também não estava sendo devidamente limpo. A falta de vedação e a falta de limpeza do local onde o silicone será aplicado são de extrema importância para vedação do painel	Realizar limpeza com álcool isopropílico e pano alvejado
	Observou-se que as emendas dos painéis executados para a utilização do mezanino ao 1º andar estão sem a devida vedação, e as travessas estão instaladas sem a cantoneira de vedação e fixação das travessas (Figura 4.100)	Instalar as vedações conforme projeto de fachadas e projeto de fabricação validados pelo consultor (IB)

Quadro 4.8: Quadro de problemas identificados pelos consultores de fachada (Continuação)

Agente	Consultor da etapa de execução (C)	Fachada
<i>Serviço</i>	<i>Descrição do problema</i>	<i>Recomendação técnica do consultor</i>
5. Colagens estruturais dos vidros	Observou-se que o local onde foram armazenados os módulos estava totalmente encharcado de água, e os quadros já colados estavam sendo armazenados sobre as poças de água (Figura 4.101)	Realizar limpeza do local e mantê-lo sempre limpo e com o piso totalmente seco
	Verificou-se que os quadros também já colados estavam sendo colocados apoiados no chão (Figura 4.102)	Armazenar os quadros que já estão com os vidros colados em cima do cavalete, onde se oferece condições de verificação e aplicação do silicone de maneira adequada
6. Instalação de ancoragens sistema painel	Notou-se que algumas ancoragens estavam com o parafuso de fixação da ancoragem na laje curto (Figura 4.103)	O parafuso deve ser trocado ou receber solda elétrica entre a porca e o parafuso
7. Proteção dos painéis já instalados	Verificou-se que a manutenção corretiva para proteção dos painéis já instalados não estava ocorrendo, que parou de ser instalada no 7º andar (Figura 4.104). A água e o pó de concreto são prejudiciais e podem ocasionar danos tanto ao acabamento da pintura quanto aos perfis de alumínio	Realizar proteção dos painéis instalados imediatamente a conclusão da instalação. A proteção temporária deve ser fornecida para toda a obra concluída. Utilizar papelão de até 1,5 metros de altura em todo o perímetro interno da fachada
8. Instalação dos painéis de canto a 90%	Observou-se que a manta de vedação autocolante não estava sendo instalada e, ao invés desta instalação, estava sendo aplicado silicone. O projeto indica que o serviço referente à vedação dos painéis deveria ser realizado com a manta; a questão de aplicar e vedar com silicone remete a outros detalhes que não foram previstos em projeto	Substituir o silicone por manta autocolante nos locais onde a aplicação foi executada de forma errada, e instalar manta de vedação autocolante nos painéis conforme previsto nos projetos de fabricação
	Os suportes para instalação dos <i>brises</i> não estavam ficando devidamente no mesmo nível (Figura 4.105)	Corrigir imediatamente
Agente	Consultor da etapa de projeto (IB)	Fachada
9. Material de isolamento térmico com umidade	O material instalado na fachada para isolamento térmico estava com umidade (Figura 4.106). O isolamento térmico de fibra, quando guardado molhado, permanece úmido por longos períodos de tempo, e acaba por fornecer um ambiente propício para o crescimento de mofo	Retirar o material e instalar material sem umidade
10. Juntas internas – material danificado	O material instalado nas juntas internas entre os módulos unitizados estava danificado (Figura 4.107)	Realizar troca de material

Quadro 4.8: Quadro de problemas identificados pelos consultores de fachada (Continuação)

Agente	Consultor da etapa de projeto (IB)	Fachada
11. Projetos de campo obsoletos	Ao rever a documentação disponível para o controle na obra local, observou-se que um conjunto de desenhos que vinha sendo utilizado para a instalação do projeto estava obsoleto e incompleto; portanto, não era válido para a realização de verificações e controles da instalação	Todos os desenhos usados deverão estar de acordo com a documentação atual validada. Os desenhos com aprovação final devem conter informações como dimensões de tolerância, que são necessárias para verificação de itens como a conformidade estrutural das ancoragens
12. Painéis desalinhados instalados ao longo da fachada	Verificou-se a instalação de painéis desalinhados ao longo da fachada. Alguns desalinhamentos são considerados grandes, pois apresentam aproximadamente 20 mm de diferença, tanto horizontal quanto vertical	Realizar levantamento completo de todos os painéis instalados na fachada. Após levantamento, ajustar os painéis de acordo com as tolerâncias válidas indicadas nos projetos
13. Danos em diversos painéis	O dano consiste em perfis de alumínio curvados e entortados. As marcações indicam que os danos foram causados pelo uso de martelos na superfície dos perfis de alumínio, a fim de ajustar painéis	Remover os perfis danificados antes da instalação de painéis sequenciais adjacentes
14. Alinhamento dos <i>brises</i>	Observou-se que existem <i>brises</i> que estão instalados de forma desalinhada ao longo da fachada. Alguns desalinhamentos são considerados grandes, pois apresentam aproximadamente 25 mm de diferença. O desalinhamento pode comprometer a função do dispositivo solar	Realizar levantamento completo de todos os <i>brises</i> instalados. Retirar os <i>brises</i> que foram instalados de forma desalinhada e reinstalá-los



Figura 4.93: Arruelas denteadas desalinhadas
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.94: Sapata feita com *grout*
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.95: Ancoragem fora de nível
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.96: Ancoragem desalinhada com suporte de fixação no canto da mesma
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.97: Contraporca sem o devido aperto
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.98: Lã de rocha mal fixada
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.99: Junção dos perfis painel sem vedação
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.100: Junção dos painéis sem luva e cantoneira vedação
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.101: Galpão totalmente encharcado de água
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.102: Quadro com o vidro sendo colado apoiado no chão de maneira inadequada
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



Figura 4.103: Ancoragem com parafuso de fixação curto que deve ser substituído ou soldado na porca. Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



**Figura 4.104: Manutenção corretiva das proteções dos painéis
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)**



Figura 4.105: Suporte de fixação dos *brises* nos painéis de canto fora de prumo com referência aos já instalados
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)



(a) Vista de perfil



(b) Vista frontal

Figura 4.106: O material instalado nas juntas internas entre módulos está danificado
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (março de 2011)

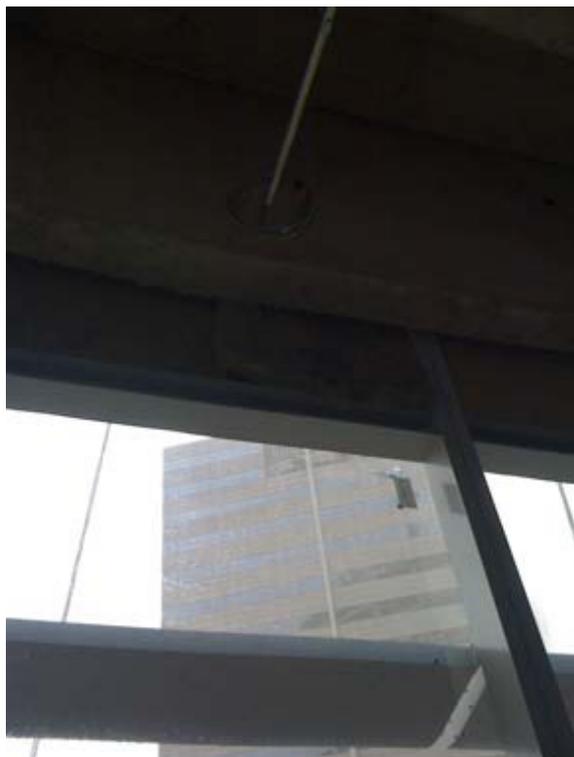


Figura 4.107: O material de isolamento deverá ser trocado, pois contém umidade
Fonte: Arquivos cedidos pela construtora (fevereiro de 2011)

4.4 Empreendimento 3

O empreendimento 3 é um conjunto de dois edifícios hospitalares, denominado de Empreendimento Hospitalar “H”, localizado no município de São Paulo, no bairro da Bela Vista. Está apresentado através de maquete eletrônica nas Figuras 108 (a) e (b).



(a) Fachada Norte



(b) Fachada Sul

Figura 4.108: Maquete eletrônica do empreendimento 3
Fonte: Arquivo cedido pelo cliente

A coleta de dados deu-se por entrevistas com os responsáveis pela área de projetos da construtora, diretoria técnica do hospital, arquitetos, coordenadores consultores e projetistas envolvidos em alguns processos de projeto; e comparecimento a reuniões de esclarecimento de projetos e consulta a documentos gerados ao longo do processo, tais como: plantas, memoriais e atas de reunião, além de documentos de gestão do próprio departamento.

Embora esta dissertação tenha um recorte para tipologia de edifícios comerciais, a experiência de acompanhar e relatar o estudo de caso de uma edificação de tipologia hospitalar revelou semelhanças para o subsistema fachada tanto no tipo de fachada escolhido quanto nas soluções desenvolvidas.

Por motivos de confidencialidade solicitados pela construtora, o nome do empreendimento e as fontes dos projetos e documentos que aparecem neste trabalho não são identificadas e são apenas referenciadas como: arquivos cedidos pela construtora ou arquivos cedidos pelo cliente. A decisão foi chamá-lo de empreendimento “H”, torres E, F. Também não serão mencionados os nomes dos demais agentes da cadeia produtiva envolvidos no desenvolvimento do sistema de fachada; eles serão tratados pelas siglas determinadas no

Quadro 4.9. No entanto, com o intuito de deixar os passos bem entendidos, serão revelados os nomes das duas empresas concorrentes ao fornecimento do sistema de fachada ventilada.

Quadro 4.9: Denominação dos agentes da cadeia produtiva do subsistema fachada do empreendimento “H”

Agente da cadeia produtiva	Denominação adotada
Cliente	H
Construtora	M
Projeto de arquitetura e coordenação do projeto	L
Consultoria de fachada (vidros, esquadrias, fachada ventilada)	PD
Consultoria de fachada (fachada ventilada) – contratação construtora	DG
Empresa 1 concorrente ao fornecimento do sistema	Keragail
Empresa 2 concorrente ao fornecimento do sistema	Hunter Douglas
Fornecedor/Instalador de esquadrias	A

Este estudo se inicia a partir do momento em que a construtora recebe o pacote de todos os projetos executivos para execução da obra e segue até a montagem do protótipo, no qual são testados, entre outros sistemas construtivos, os três tipos de fachadas especificadas para o projeto das torres hospitalares.

Este estudo de caso é composto de dois sistemas de fachada: fachada-cortina em sistema unitizado e fachada ventilada com cerâmica extrudada, sendo a fachada ventilada uma inovação tecnológica no Brasil, pois, embora muito utilizada na Europa, no Brasil foram executadas, até o momento, apenas três obras, e uma quarta está em andamento.

O estudo relata com maiores detalhes o processo de decisão pelo uso da nova tecnologia em sistema de fachadas, relatando a análise de um consultor especializado, o processo de aquisição deste sistema e a realização de ensaios realizados no Brasil. Além disso, será relatada a montagem de um protótipo, onde será possível verificar os problemas ocorridos para os dois sistemas de fachada e as ações corretivas que deverão ser tomadas para minimizar os problemas durante a execução do produto final.

4.4.1 Descrição do empreendimento

Os objetos do estudo de caso são dois edifícios de um complexo hospitalar, duas torres são denominadas E e F. A construtora é uma empresa que está no mercado há aproximadamente 40 anos, e apresenta experiência em diversos tipos de construção.

Áreas construídas:

- Torre E: 39.900,00 m²
- Torre F: 13.500,00 m²
- Total: 53.400,00 m²

A Arquitetura

A arquitetura foi desenvolvida por um escritório especializado em arquitetura hospitalar, que atua nesta área desde 1987.

Quanto ao projeto, o Bloco E é um edifício de 16 pavimentos, 39.991,00 m² de área a construir sobre um edifício existente denominado Bloco D, formado de 7 pavimentos ocupados por garagem, áreas técnicas, escritórios, recepção e acesso ao complexo hospitalar.

O Bloco F é um edifício de 11 pavimentos, 13.504,00 m² de área a construir sobre um edifício existente de um pavimento.

As estruturas dos Blocos E e F são mistas, o núcleo de elevadores será em estrutura convencional de concreto, os pilares, vigas e lajes serão em estrutura metálica, e as lajes em *steel deck* com capeamento de concreto.

Quanto às fachadas: originalmente as torres foram projetadas em painel de GRFC (*Glass Fiber Reinforced Concrete* – Cimento reforçado com fibra de vidro), ACM (*Aluminium Composite Material*) e fachada-cortina em sistema unitizado, conforme áreas apresentadas no Quadro 4.10.

Quadro 4.10: Quadro de áreas da alternativa original das fachadas
Fonte: Dados concedidos pela Construtora (2011)

	GRFC (m ²)	Sistema Unitizado (m ²)	ACM	Total
Torre E	3.395,13	10.143,19	1.788,92	15.885,24
Torre F	3.984,26	3.338,33		7.322,59
Total	7.937,39	13.481,52	1.788,92	23.207,83

São 23.207,83 m² de fachada, sendo 15.885,24 m² na torre E, e 7.322,59 m² na F. Essa área estava dividida em sistema unitizado, GRFC e ACM, sendo 13.481,52 m² de vidro no sistema unitizado, 7.937,39 m² de GRFC e 1788,92 m² de ACM.

Para fixação da subestrutura da fachada ventilada e apoio do caixilho entrevãos, foram criadas, em toda a volta dos edifícios, vigas metálicas tubulares.

A fixação da fachada-cortina em sistema unitizado foi projetada de maneira que a ancoragem fosse aparafusada na alma das vigas metálicas (vigas estruturais principais).

4.4.2 Quanto à certificação (sustentabilidade)

O empreendimento “H” busca a certificação LEED, categoria *Gold*.

A eficiência energética foi trabalhada nos projetos de instalações, minimizando impactos relacionados ao consumo excessivo de energia.

Nos projetos de arquitetura com uso de telhados jardins, a escolha dos materiais foi feita priorizando os regionais (com o intuito de não criar grandes impactos relacionados ao transporte) e de conteúdo reciclado.

Na escolha da estrutura metálica, o aço é um material 100% reciclável.

Quanto à fachada, foi adotada para a pele de vidro uma especificação de vidro laminado de controle solar, conforme índices informados no Quadro 4.11, compondo-se com tiras de 0,20 e 0,40 m de altura de um vidro laminado branco, e no caixilho entrevãos, os vidros Insulados (com câmara hermética – VHC).

Os vidros laminados brancos serão compostos a partir de um vidro Incolor extra *clear* + PVB branco + vidro incolor.

Os vidros laminados de controle solar apresentam em uma das faces uma camada refletiva obtida por deposição de óxidos metálicos em processos industriais de alta tecnologia. A cor pretendida é um azul por reflexão externa; internamente os vidros não deverão refletir tons amarelados ou rosados, sendo a reflexão interna e a cor por transmissão direta neutras. Os índices especificados pelo consultor de fachadas para os vidros encontram-se no Quadro 4.11.

Quadro 4.11: Índices especificados para o vidro de controle solar
Fonte: Dados concedidos pela construtora (2011)

TL - Transmissão Luminosa direta (%)	32 a 40%
Re - Reflexão Luminosa Externa (%)	22%
Ri - Reflexão Luminosa Interna (%)	14%
Ae - Absorção Energética (%)	63%
FS – Fator Solar (%)	31%
Cs – Coeficiente de Sombreamento	0,36%
“U” – Valor “U” verão	5,80 W/m ² .°C
SHGC- Ganho relativo de Calor	280 W/m ²

Segundo um dos concorrentes ao fornecimento em fachada ventilada (Hunter Douglas), a fachada ventilada pode contribuir com a pontuação do LEED com o seguinte potencial de pontos:

- Espaço sustentável: 1 ponto (índice de refletância);
- Energia e Atmosfera: 2 pontos (redução de até 12%);
- Materiais e recursos: 2 pontos (mais de 20% de conteúdo reciclável).

4.4.3 Processo de desenvolvimento do projeto

O desenvolvimento dos projetos de fachadas teve início na etapa de concepção do projeto arquitetônico, que criou as premissas estéticas iniciais a serem seguidas no projeto específico. O desenho do cliente era uma fachada com uma grande proporção de área envidraçada e pouca área opaca; a área opaca deveria ter uma aparência rústica e sua cor deveria ser o mais próximo possível do branco.

Dessa forma, a proposta da fachada se consolidou em pele de vidro compondo os tons azul e branco leitoso, com painel de GRFC e ACM apenas na área da empena “cega” do Bloco E.

Durante o desenvolvimento dos projetos executivos, o cliente apresentou-se insatisfeito com a solução das fachadas quanto ao uso do painel de concreto com fibra de vidro (GRFC). Segundo palavras do próprio cliente, o painel de concreto daria ao hospital uma aparência de edifício comercial e completou: “O hospital deseja algo inovador”. Com base neste comentário, o cliente solicitou ao arquiteto que buscasse outro sistema de fachada para a área onde originalmente havia sido proposto o painel de GRFC.

A opção de fachada estudada pelo arquiteto e apresentada ao cliente para substituir o painel de GRFC foi a fachada ventilada com cerâmica extrudada (Quadro 4.12).

Quadro 4.12: Quadro de áreas da alternativa das fachadas em cerâmica extrudada ventilada. Fonte: Dados concedidos pela construtora (2011)

	Fachada ventilada – cerâmica extrudada (m ²)	Sistema Unitizado (m ²)	ACM	Total
Torre E	3.395,13	10.143,19	1.788,92	15.885,24
Torre F	3.984,26	3.338,33		7.322,59
Total	7.937,39	13.481,52	1.788,92	23.207,83

Conforme se observa no Quadro 4.12, houve uma substituição literal na área de GRFC por fachada ventilada em cerâmica extrudada. Portanto, na alternativa de utilizar a fachada ventilada com cerâmica extrudada encontraremos os mesmos 23.207,83 m² de fachada, sendo 15.885,24 m² na torre E, e 7.322,59 na torre F. Entretanto, essa metragem estava dividida em sistema unitizado, fachada ventilada com cerâmica extrudada e ACM, sendo 13.481,52 m² de vidro no sistema unitizado, 7.937,39 m² de GRFC e 1788,92 m² de ACM.

Por não se tratar de uma inovação tecnológica, a fachada em sistema unitizado percorreu seu processo normal sem a necessidade de análises específicas, que será descrito no decorrer deste capítulo. Já a fachada em sistema ventilado demandou um estudo mais detalhado que envolveu o arquiteto, o consultor e a construtora.

Com o objetivo de aprofundar o estudo da fachada ventilada, o arquiteto buscou informações junto aos fornecedores do sistema já implantados no Brasil: empresas Keragail e Hunter Douglas, e que já tivessem executado, ao menos, uma obra neste país.

4.4.4 Análise técnica da Construtora

Com o intuito de encontrar segurança técnica na sua escolha, o cliente solicitou à empresa construtora uma análise crítica do sistema.

Quanto à metodologia de trabalho, a construtora optou por contratar um consultor especializado em sistema de fachada ventilada e revestimentos não aderidos para dar apoio às análises. Para tanto, as etapas de trabalho dessa análise foram:

- Reuniões técnicas com as duas empresas concorrentes ao fornecimento do sistema;
- Visitas às obras executadas no Brasil;
- Solicitação de ensaios e documentação técnica do sistema e da cerâmica extrudada para as duas empresas concorrentes ao fornecimento do sistema;
- Análise dos resultados dos ensaios;
- Análise de documentação técnica.

O objetivo da construtora foi analisar a viabilidade técnica das fachadas ventiladas com revestimento cerâmico. Não foram consideradas análises de custo. Foram analisados os sistemas propostos pelas empresas Keragail e Hunter Douglas.

A fachada ventilada no exterior, principalmente em países europeus, é muito utilizada. O espaço gerado entre o substrato e o elemento de revestimento cria uma câmara de ar renovável, colaborando para um maior conforto ambiental nas áreas internas da edificação. Nos países onde as temperaturas são muito

baixas, essa câmara é preenchida com material isolante (lã de vidro ou de rocha). Já nos países quentes, a câmara não é preenchida e permite a troca de ar constante, proporcionando um resfriamento do substrato de vedação do edifício e, conseqüentemente, da edificação.

No Brasil, somente duas obras receberam revestimentos em cerâmicas extrudadas, através do sistema de fachada ventilada, sendo que uma obra foi executada pela Keragail e outra pela Hunter Douglas.

A análise fez as seguintes abordagens quanto às duas empresas concorrentes ao fornecimento do sistema: definição e composição; dimensões dos painéis, instalação, substrato, manutenção; ensaios; visita à obra.

Baseado nas análises dessas abordagens, o consultor registrou seu ponto de vista sobre o sistema e sobre as duas empresas concorrentes (item 4.4.4.1), e teceu uma série de recomendações (item 4.4.4.2) para que o sistema pudesse ser viabilizado.

Definição e Composição

A cerâmica extrudada é um produto cerâmico de terracota, que é um material constituído por argila cozida no forno, sem ser vidrada, embora às vezes pintada (Figura 4.109). A terracota caracteriza-se pela queima em torno dos 900°C, apresentando baixa resistência mecânica e alta porosidade, necessitando de um acabamento com camada protetora para torná-la menos permeável.

Neste produto, utiliza-se a tecnologia conhecida como Hydrotect, na qual se utiliza o Dióxido de Titânio (TiO_2) para reduzir a tensão superficial na face da cerâmica, transformando-a de hidrofóbica em hidrofílica, a fim de facilitar a limpeza da fachada e eliminar os agentes poluentes. Em cada placa de cerâmica aplica-se uma camada de Dióxido de Titânio e ambos são levados ao forno, onde ocorre, em alta temperatura, a adesão da camada protetora à face da cerâmica.

Os produtos possuem coloração homogênea, não apresentando variações em sua massa, mantendo-se totalmente constantes dentro do mesmo lote de produção, visto que é um produto cerâmico.



Figura 4.109: Cerâmica extrudada
Fonte: Hunter Douglas

Dimensões dos Painéis – Keragail

Os painéis de Keragail, com 20 mm de espessura, podem ser produzidos nas seguintes dimensões:

- 250 mm x 1.200 mm;
- 300 mm x 1.200 mm;
- 350 mm x 1.200 mm;
- 400 mm x 1.350 mm.

Dimensões dos Painéis – Hunter Douglas

Os painéis da Hunter Douglas, com 24 mm de espessura, podem ser produzidos em dimensões que variam de 200 mm a 1.500 mm de comprimento, e de 150 mm a 500 mm de altura.

As tolerâncias de ambos os fabricantes foram informadas por eles e estão discriminadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Tolerâncias dimensionais da cerâmica extrudada
Fonte: Keragail e Hunter Douglas

Tolerâncias	Keragail	Hunter Douglas
Comprimento	+/- 2 mm para 1.342 mm	+/- 1,0 mm para 1.500 mm
Largura	+/- 2 mm para 404 mm	+/- 2,5 mm para 400 mm
Espessura	Máximo de +1,0 mm para 20 mm	Máximo de +1,5 mm para 24 mm

Instalação

Os painéis da Keragail são instalados através de um sistema metálico, com subestruturas compostas por perfis verticais em alumínio e ancoragens em aço inoxidável 304. Já os painéis da Hunter Douglas são instalados através de um sistema metálico, com subestruturas compostas por perfis verticais e ancoragens, fabricadas somente em alumínio 6063; não é utilizado o aço inoxidável 304 (Figuras 4.110, 4.111, 4.113 e 4.114).

O afastamento nominal de ambos é, no mínimo, de 130 mm entre o substrato e a face acabada da cerâmica extrudada. Ambos os sistemas permitem variações no prumo de mais ou menos 50 mm. Os painéis cerâmicos são fixados aos perfis verticais através dos chamados conectores.

As juntas horizontais e verticais entre os painéis cerâmicos da Keragail têm 8 mm de largura. Se desejado, do ponto de vista estético, pode-se trabalhar com juntas secas verticais. Todavia, as juntas secas limitam-se a um comprimento de 15 m e a um número de máximo de painéis, que deve ser dimensionado, ou seja, a cada 15 m deve-se ter, obrigatoriamente, uma junta vertical de 8 mm. A largura das juntas horizontais e verticais não sofre nenhum tipo de vedação. O

perfeito dimensionamento do sistema controla a entrada das águas das chuvas.

A largura das juntas horizontais e verticais entre os painéis cerâmicos da Hunter Douglas é de 10 mm. As juntas horizontais serão abertas e as juntas verticais terão um perfil plástico de PVC, que será colocado entre as placas, a fim de impedir a entrada de água.

O conceito da estanqueidade baseia-se no cálculo da variação entre a pressão atuante no interior da câmara de ar e a pressão externa. A pressão interna deve ser maior do que a externa, de maneira que a água, ao passar pelas juntas, escorra por trás dos painéis e não atinja o substrato. O sistema prevê a saída da água que escorre através das juntas entre os painéis frontais e os painéis de fundo de vigas.

A Keragail recomenda que as juntas de peitoris cerâmicos sejam rejuntadas com poliuretano (PU), limitadas, porém, a uma largura máxima de 20 mm.

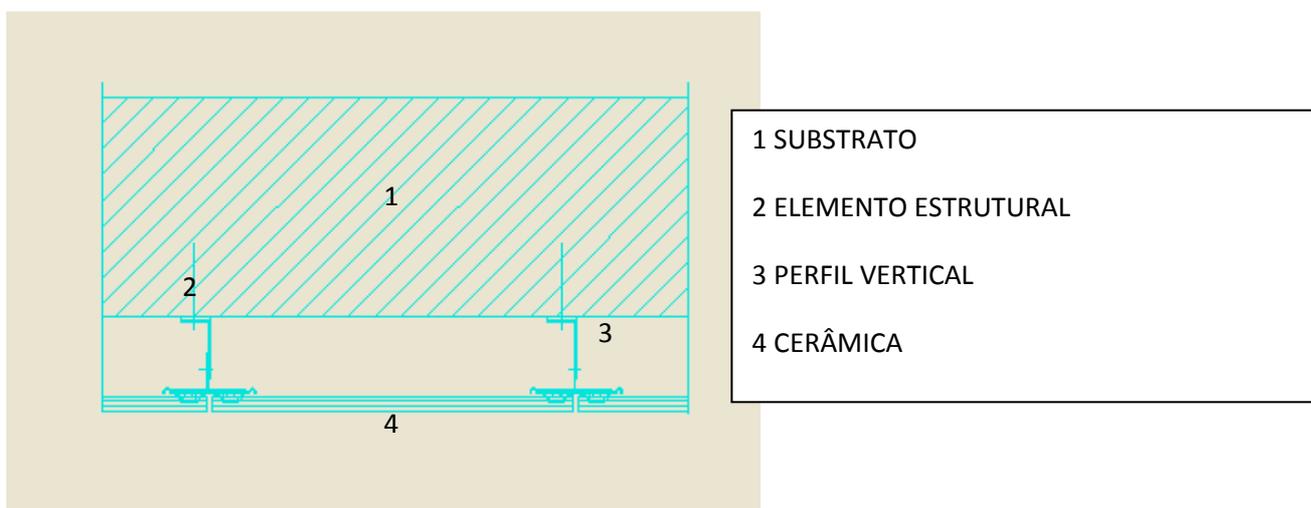


Figura 4.110: Planta baixa da fachada ventilada instalada
Fonte: Keragail (2011)

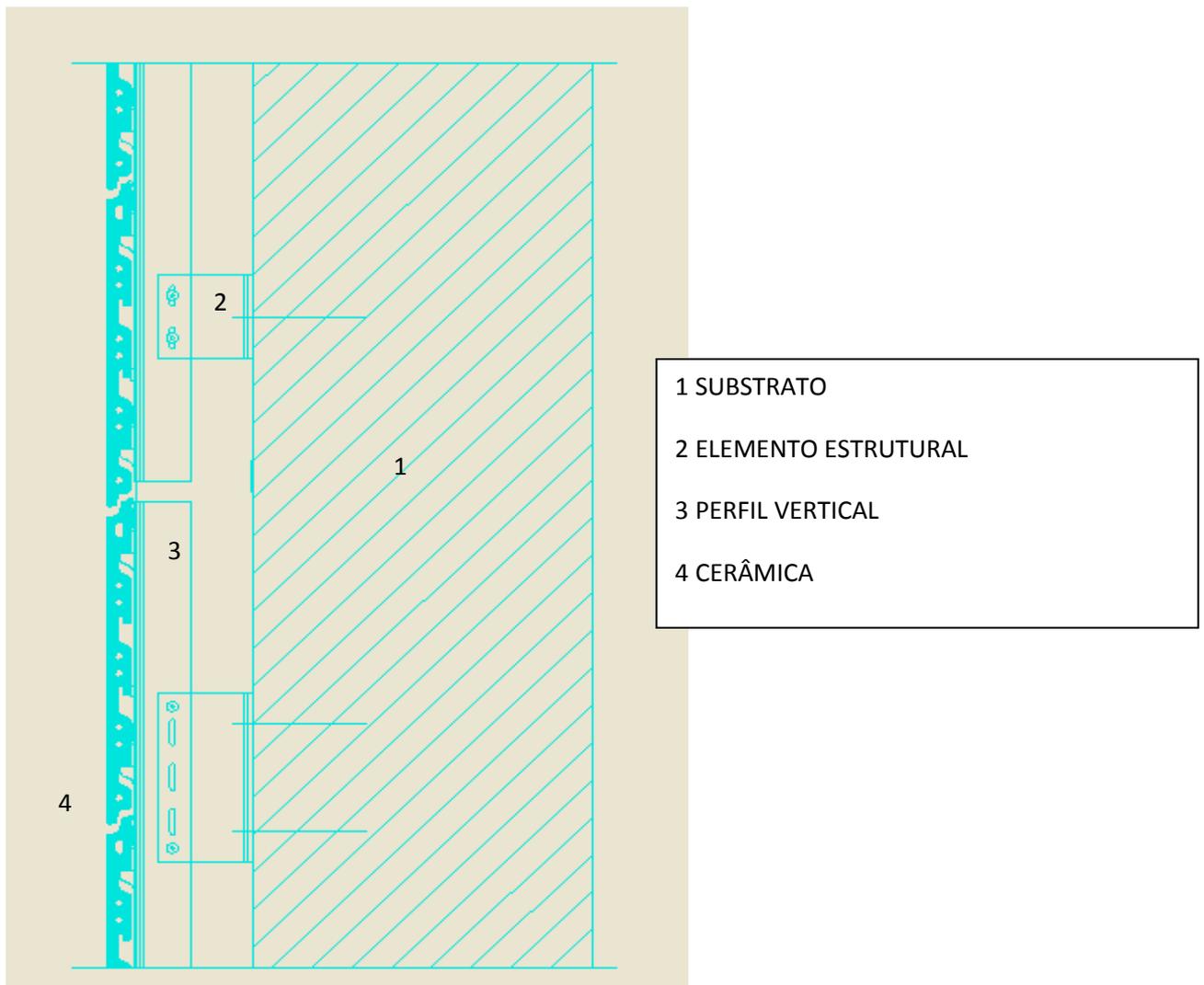


Figura 4.111: Corte genérico da fachada ventilada
Fonte: Keragail (2011)

O corte das placas fora da fábrica, quando necessário, deverá ser efetuado em máquinas de bancada, com a utilização de discos apropriados, em rotação específica para o corte de material cerâmico. Trata-se de uma operação simples, mas que deve ser executada com o devido cuidado.

Para as fachadas deste empreendimento, tanto a Keragail quanto a Hunter Douglas recomendaram que, no peitoril, fosse utilizada uma chapa metálica tipo Alucobond, que garante um perfeito acabamento junto ao caixilho e uma melhor estanqueidade numa área de fácil penetração de água, conforme Figuras 4.112 e 4.115. O fundo de viga poderá ser revestido com o painel cerâmico, com caimento para fora, mantendo-se a junta aberta para a devida

drenagem da água. Este procedimento é recomendado por ambas as empresas.

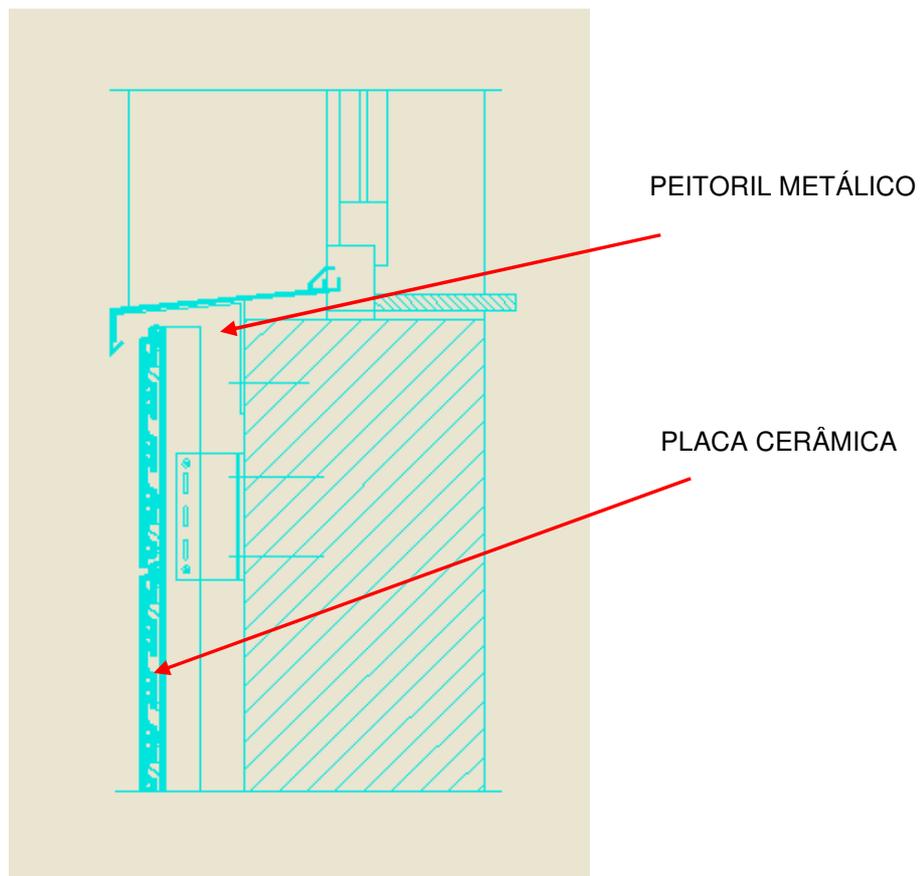


Figura 4.112: Detalhe do peitoril metálico
Fonte: Keragail (2011)

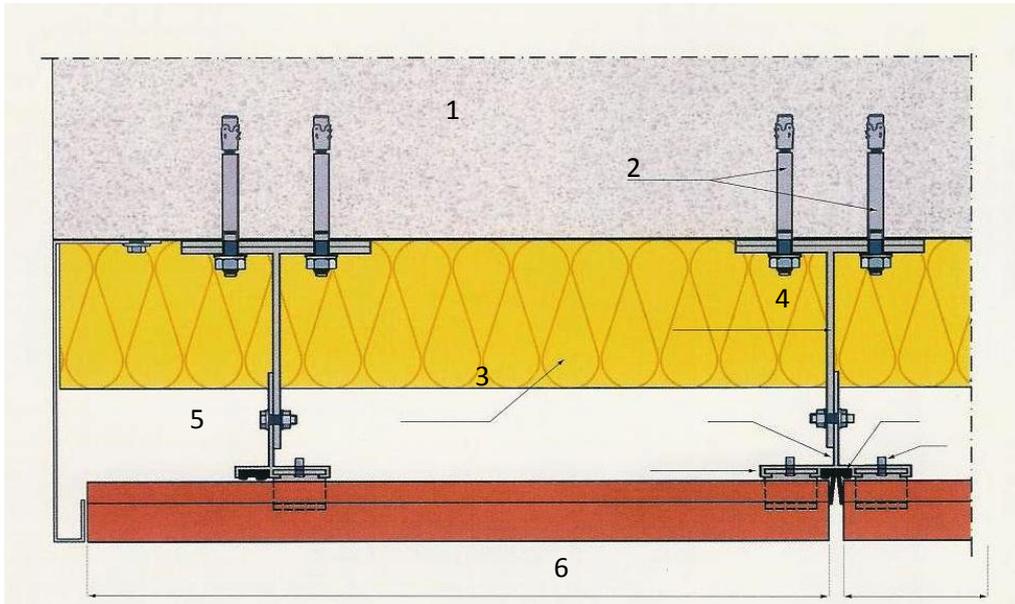


Figura 4.113: Planta Baixa da fachada ventilada instalada
Fonte: Hunter Douglas (2011)

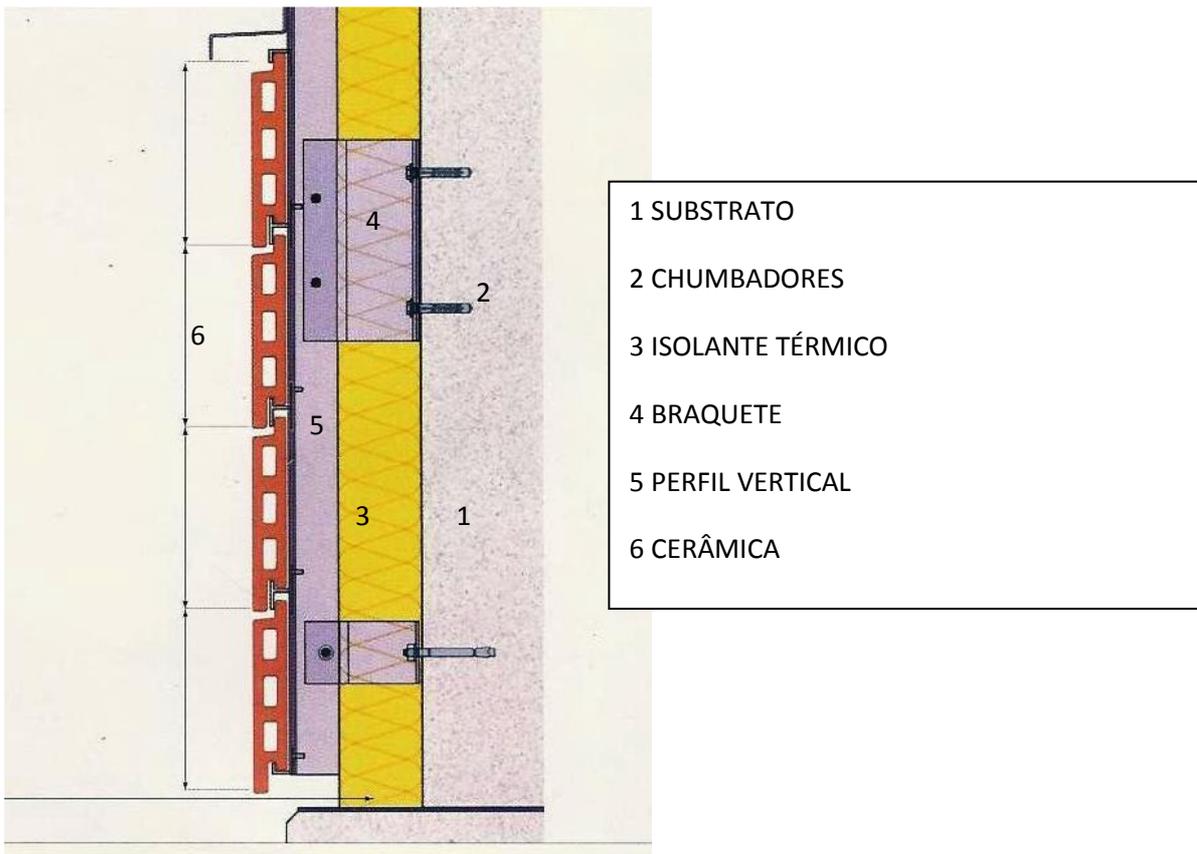


Figura 4.114: Corte genérico da fachada ventilada instalada
Fonte: Hunter Douglas (2011)

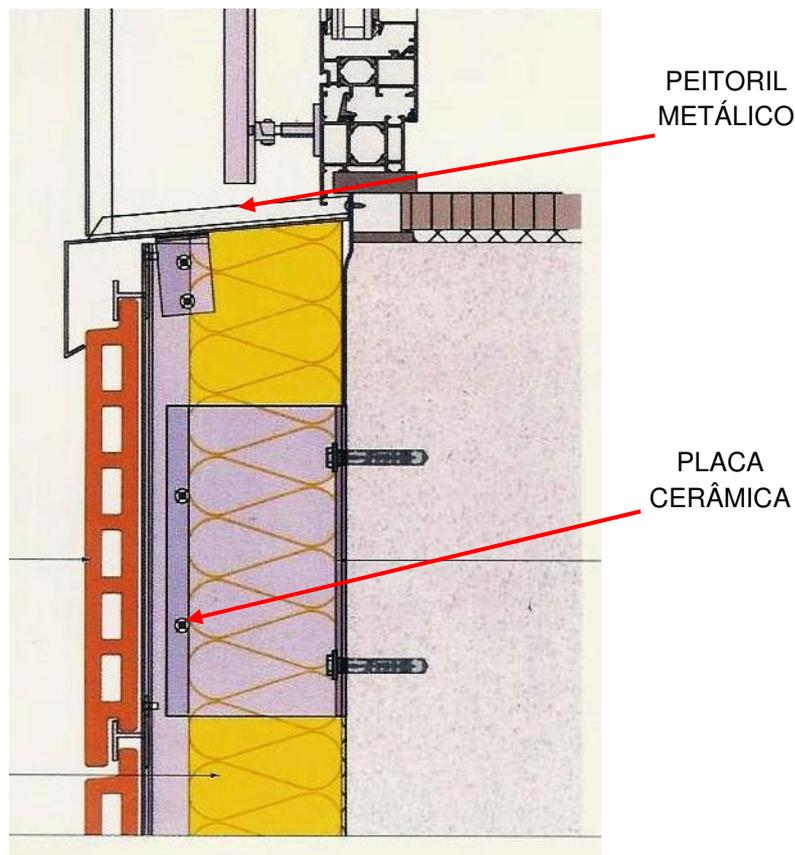


Figura 4.115: Detalhe do peitoril metálico
Fonte: Hunter Douglas (2011)

Substrato

Normalmente, os substratos mais utilizados são de concreto e/ou alvenaria. Neste projeto, o substrato será misto, composto de estrutura metálica e placas de concreto celular, a fim de minimizar as cargas atuantes na fundação.

A estrutura de sustentação composta de vigas metálicas, as quais suportarão as cargas atuantes no sistema, serão ancoradas nos pilares e, se necessário, deverão ser suportadas por pilares metálicos intermediários. As placas de concreto celular têm única e exclusivamente a função de fechamento do substrato.

A Keragail recomendou que o substrato fosse tratado com uma resina impermeabilizante, acrílica, de base aquosa, de forma a não agredir o meio ambiente. O número de demãos a ser aplicado depende do produto e das recomendações do fabricante. Opcionalmente poderá ser utilizada uma

emulsão asfáltica. A Hunter Douglas recomendou que, sobre o substrato, fosse colocada a manta TYVEK (fornecida pela Dupont), constituída por fibras contínuas, extremamente finas, de polietileno de alta densidade, que não contêm aditivos ou resinas em sua composição. Trata-se de um produto permeável ao vapor, pois os poros da membrana são extremamente pequenos, com o objetivo de permitir a passagem da água, possibilitando somente a passagem do vapor. Essa manta apresenta boa resistência aos rasgos e às perfurações, pois não é suscetível à perda de propriedades físicas, devido à ação de esforços mecânicos, quaisquer que sejam as direções.

Manutenção

A limpeza das fachadas revestidas com painéis cerâmicos deverá ser realizada a cada dois anos, através da lavagem das placas com detergente neutro diluído em água, na proporção recomendada pelo fabricante do produto.

Havendo necessidade de troca de alguma placa danificada, o processo de substituição na Keragail é muito simples, bastando somente o descolamento de duas placas imediatamente acima daquela danificada. Não é necessária a substituição dos perfis verticais e/ou dos adaptadores.

Havendo necessidade de troca de alguma placa danificada, o processo de substituição da Hunter Douglas é muito simples, sem a necessidade da movimentação de nenhuma placa adjacente. Não é necessária a substituição dos perfis verticais e/ou dos conectores.

Ensaio

O consultor recomendou a elaboração dos seguintes ensaios:

- Densidade aparente seca e saturada;
- Absorção d'água;

- Resistência à flexão;
- Resistência à compressão;
- Dilatação térmica linear;
- Ensaios de comportamento dos painéis cerâmicos e subestruturas metálicas quando submetidos às cargas de vento que estarão atuando nas fachadas.

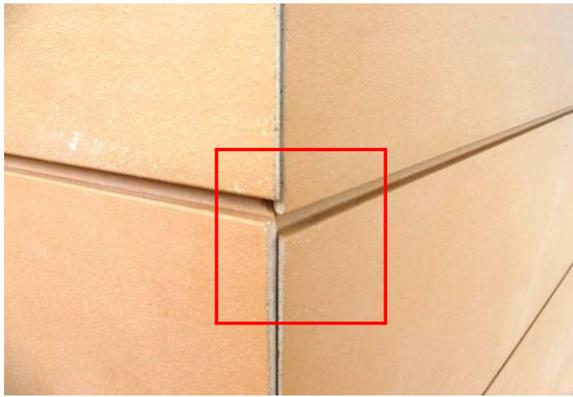
Obras Visitadas

A primeira obra executada pela Keragail no Brasil foi visitada pela construtora e pelo consultor. Trata-se de um edifício comercial situado na Rua Jurubatuba, 460, Brooklin, São Paulo, SP (Figura 4.116).

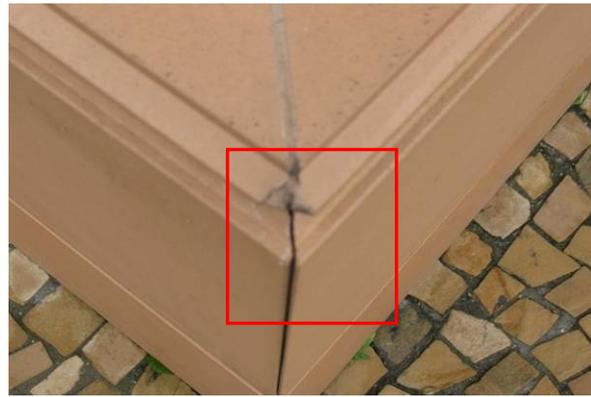


Figura 4.116: Vista frontal do edifício
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em fevereiro de 2011

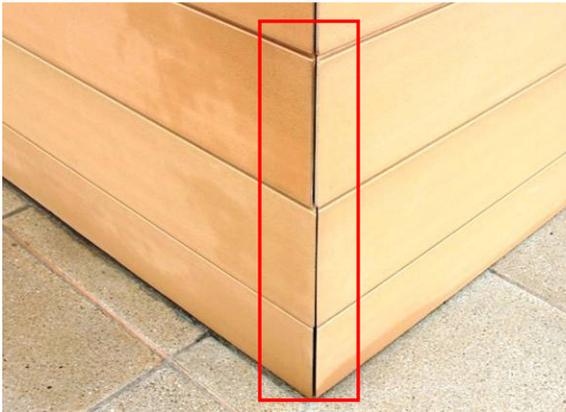
Durante a visita, foram observadas algumas não conformidades que, de acordo com a análise da construtora e do consultor, não deveriam ser aceitas, uma vez que comprometem a qualidade do sistema como um todo (Figuras 4.117 (a), (b), (c), (d), (e) e (f)).



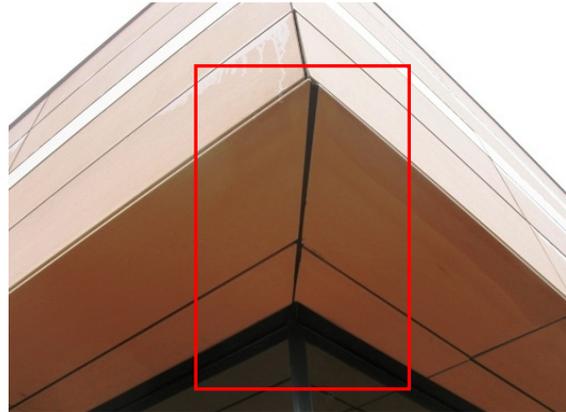
(a) Juntas desencontradas



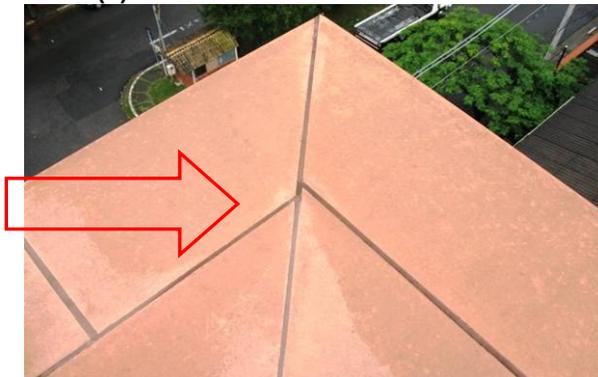
(b) Bordas quebradas



(c) Desalinhamento vertical no canto a 90°



(d) Junta de forro com largura variável



(e) Peitoris desencontrados



(f) Forros desencontrados

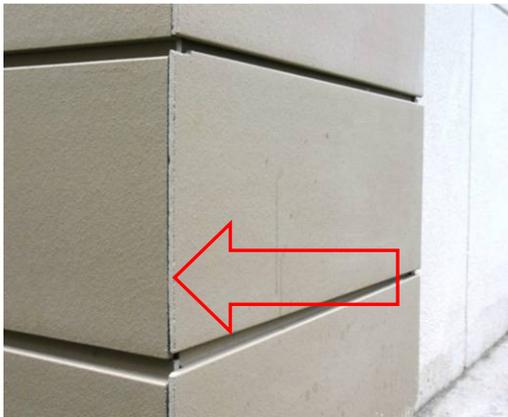
Figura 4.117: Não conformidades encontradas na obra da Keragail
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em fevereiro de 2011

A primeira obra executada pela Hunter Douglas no Brasil também foi visitada pela construtora e pelo consultor. Trata-se de um edifício comercial situado na Av. Brig. Luís Antonio, 5.003, Ibirapuera, São Paulo, SP.

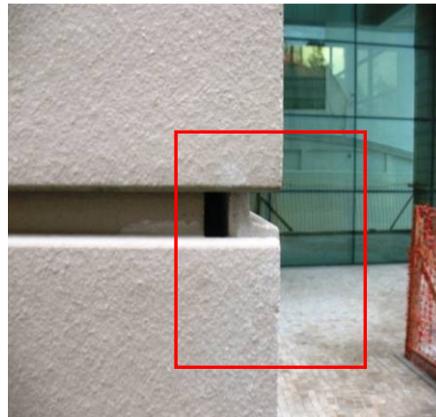


Figura 4.118: Vista frontal do edifício
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em fevereiro de 2011

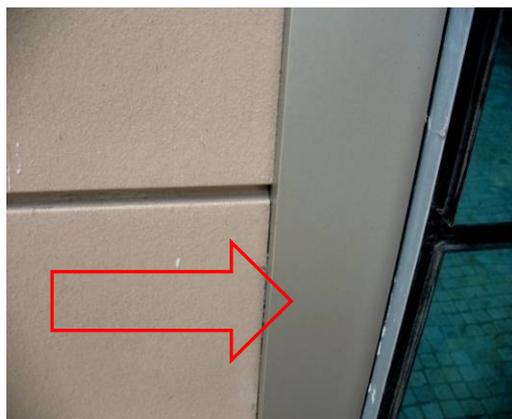
Durante a visita na obra executada pela Hunter Douglas, foram observadas as mesmas não conformidades da obra anterior (Figuras 4.19 (a), (b), (c), (d), (e) e (f)).



(a) Desalinhamento vertical no canto a 90°



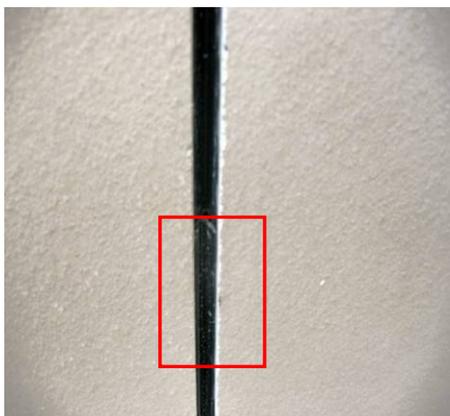
(b) Juntas desencontradas



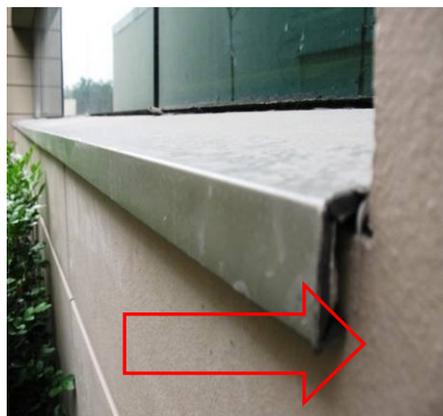
(c) Corte irregular junto ao caixilho



(d) Bordas quebradas



(e) Falha na colocação do perfil de PVC



(f) Acabamento defeituoso

Figura 4.119: Não conformidades encontradas na obra da Keragail
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em fevereiro de 2011

4.4.4.1 Ponto de vista do consultor

Após as reuniões técnicas mantidas com os dois fornecedores, as visitas às obras executadas no Brasil e a análise da documentação específica recebida de cada empresa, o consultor e a construtora concluíram que os sistemas oferecidos pelos dois fornecedores eram bastante similares.

As cerâmicas extrudadas de ambos são compostas de terracota e tratadas com uma película de Dióxido de Titânio, e levadas ao forno em alta temperatura para a devida adesão da película à cerâmica.

Os elementos metálicos são fabricados em alumínio e aço inoxidável, no caso da Keragail, e somente em alumínio, no caso da Hunter Douglas.

A estanqueidade do sistema Keragail baseia-se no cálculo da diferença entre a pressão atuante na câmara de ar e a pressão externa, ao passo que a Hunter Douglas utiliza-se de uma barreira física para impedir que a água chegue até a câmara de ar, aliado ao conceito da diferença de pressão.

A montagem de ambos acontece através de placas cerâmicas extrudadas, que são ancoradas a perfis metálicos verticais que, por sua vez, são fixados ao substrato através de outras ancoragens metálicas.

Independentemente do fornecedor selecionado, o sistema poderá ser instalado no substrato desenhado para este empreendimento: vigas metálicas e placas de concreto celular, sendo que as cargas serão suportadas pelas vigas, e as placas de concreto serão responsáveis somente pelo fechamento do substrato.

A Keragail recomenda que o substrato seja tratado com produtos químicos impermeabilizantes, ao passo que a Hunter Douglas recomenda o uso de uma manta de polietileno para exercer a função de barreira contra a água. Conclui-se, portanto, que a qualidade do substrato é um componente de grande importância no sucesso do sistema.

Na visita às obras já executadas, foi possível observar que as não conformidades encontradas são muito parecidas:

- Juntas desencontradas;
- Encontros a 90º desalinhados;
- Cortes irregulares;
- Bordas danificadas.

Os dois fornecedores, quando indagados sobre os pontos acima, alegaram que alguns defeitos são de responsabilidade da própria empresa, e outros de responsabilidade do contratante, como por exemplo: no momento de fabricação das cerâmicas, ainda existiam muitas indefinições no projeto, o que implicou que 90% dos cortes realizados nas cerâmicas fossem feitos no local de obra, e não na fábrica.

Outro motivo apontado foi a solicitação de alterações constantes no projeto e reduções de prazos significativos.

Além disso, ambas as empresas informaram que as irregularidades apontadas já estão sendo tratadas internamente pelo corpo técnico das empresas, e que não voltarão a ocorrer nos empreendimentos futuros.

Para as não conformidades de cortes irregulares e bordas danificadas, ambos os fornecedores explicaram que a forma de evitá-las é não realizando cortes das peças na obra; todas as peças deverão vir cortadas de fábrica. As cerâmicas que serão instaladas a 45 graus deverão receber um detalhe de corte em fábrica, no qual os chanfros são cortados “retos” (Figura 4.120).

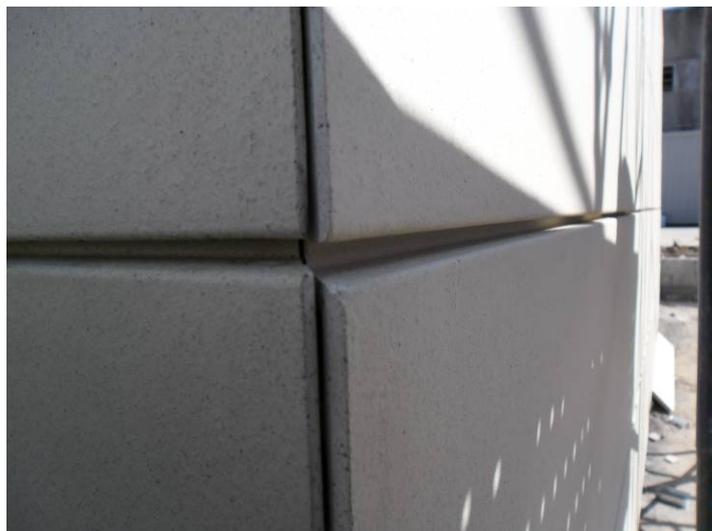


Figura 4.120: Corte da cerâmica que será instalada a 45 graus
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em fevereiro de 2010

4.4.4.2 Recomendações do consultor e da construtora

Em função das considerações acima, tanto o consultor quanto a construtora recomendaram que a escolha sobre uma das duas empresas deveria ser baseada no comprometimento com o projeto como um todo, ou seja, na elaboração de um projeto executivo detalhado do sistema proposto, dentro das normas técnicas vigentes no Brasil, no comprometimento com a qualidade dos materiais e serviços, no atendimento aos prazos de obra e dentro do menor custo.

Para adoção do sistema, recomendaram-se as seguintes providências:

- Elaboração do projeto executivo do substrato, atentando para pontos importantes, tais como: resistência às cargas a que a fachada estará submetida, escolha do melhor sistema de impermeabilização que garanta a estanqueidade da fachada, verificação da necessidade de tratamento térmico e acústico e compatibilização com o projeto de arquitetura, estrutura, caixilhos e fechamentos em ACM.
- Realização dos ensaios mencionados, com a finalidade de ratificar o desempenho dos produtos e do sistema propostos pelas duas empresas concorrentes ao fornecimento do sistema.
- Desenvolvimento do projeto executivo do sistema de fachada ventilada, compatibilizando-o com os outros sistemas utilizados nas fachadas (sistema unitizado e fechamentos em ACM) e as demais disciplinas de interface (arquitetura, estrutura, vedação).
- Aprovação do projeto de todos os sistemas propostos para a fachada junto ao arquiteto, projetistas e consultores.

4.4.5 Processo de Aquisição do sistema

Após a apresentação do relatório ao cliente, este decidiu iniciar o processo de concorrência entre os dois concorrentes ao fornecimento do sistema: Keragail e Hunter Douglas. Com o intuito de assegurar-se de que as não conformidades identificadas nas obras visitadas ocorressem no seu empreendimento, o cliente solicitou à construtora que exigisse dos concorrentes a realização dos ensaios identificados pelo consultor ou a apresentação de ensaios equivalentes realizados na Europa, desde que as situações nas quais estes ensaios foram realizados fossem similares à situação deste empreendimento. Apenas o ensaio de resistência à cargas de vento deveria, obrigatoriamente, ser realizado aqui no Brasil, preferencialmente no ITEC (Instituto Tecnológico da Construção Civil) ou no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas), e de acordo com as orientações do consultor de fachadas.

Edital de concorrência

Para a confecção do edital de concorrência foram envolvidos, além da construtora (S) e da engenharia do cliente (H), o arquiteto (L) e o consultor de fachadas (PD), conforme fluxo apresentado na Figura 4.120.

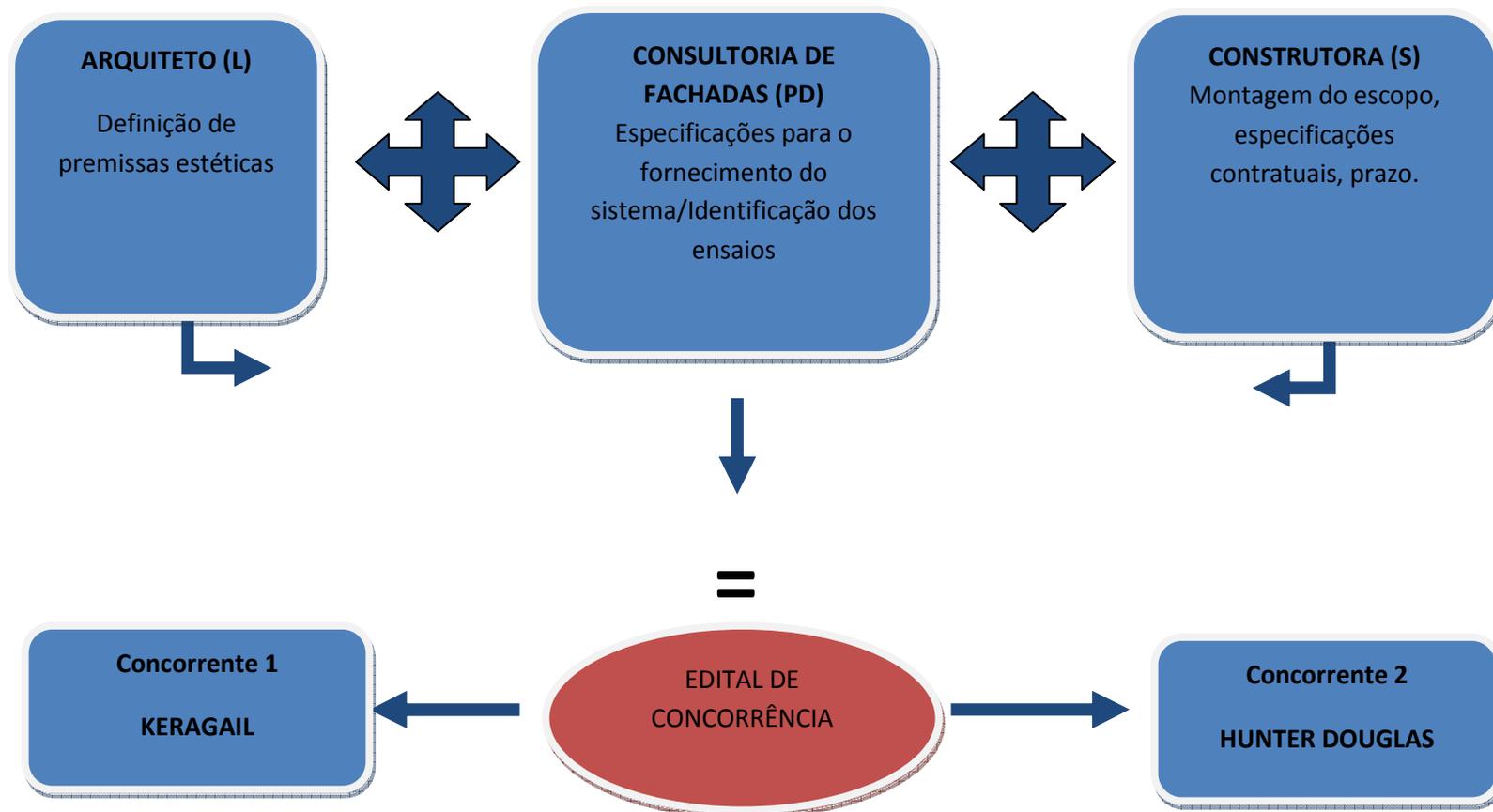


Figura 4.121: Fluxo dos envolvidos na confecção do edital das fachadas

Memorial descritivo para o fornecimento do sistema ventilado para fachadas utilizando cerâmicas do tipo “terracota”

O memorial desenvolvido pelo consultor de fachadas anexo ao edital de concorrência abordava diversos itens, dentro deles os mais significativos e ainda não abordados neste capítulo, e serão transcritos a seguir.

A primeira observação do memorial recomendou a verificação da existência de normas brasileiras para cerâmicas do tipo TERRACOTA e, em não havendo, a utilização das Normas DIN ISO.

Geometria dos painéis cerâmicos

A geometria pode variar de fabricante para fabricante, o que obriga que cada um informe a adequação de cada produto às condições desejadas para uso nesta obra. O fabricante deverá, portanto, demonstrar o desempenho de seu produto considerando as dimensões definidas pela arquitetura, as condições de uso e as cargas que atuarão sobre as fachadas, predominantemente as pressões negativas do vento – Sucções.

As características básicas a serem atendidas pelas cerâmicas para uso em fachadas, sendo que todas deverão atender às normas Brasileiras pertinentes, e na falta delas as normas européias DIN. EN ISO 10545, são:

- Absorção de água;
- Determinação da expansão térmica linear;
- Determinação da Resistência Química.

Observação: os itens absorção de água, determinação de “expansão molhada”, determinação da expansão térmica linear e determinação da resistência química foram atendidos através da apresentação de ensaios feitos em outros países, não sendo realizados ensaios no Brasil.

Condições de Desempenho Estrutural

As dimensões das placas devem ser definidas pelo projeto de arquitetura, dentro das tolerâncias de fabricação e limites de resistência das mesmas. O ensaio em túnel de vento determinou as pressões entre 1.000 Pa e 1.500 Pa no geral, mas ocorrem picos de 2.000 Pa e, eventualmente, de 2.500 Pa. O ensaio as localizou em mapas das fachadas.

As regiões que definiram em projeto o uso da fachada ventilada são aquelas que apresentam pressões entre 1.000 Pa e 1.500 Pa e, eventualmente, 2.000 PA.

Os concorrentes ao fornecimento do sistema deverão garantir o desempenho estrutural de seu sistema para as pressões indicadas, determinando as características de seu material, dimensões, espessura e modulação das fixações, a fim de atender às mesmas pressões das condições de segurança normais a serem adotadas de acordo com as normas brasileiras.

No memorial desenvolvido pelo consultor de fachadas foram descritos os parâmetros que deveriam ser seguidos para a realização dos ensaios de desempenho do sistema.

Segundo o memorial desenvolvido pelo consultor de fachadas, há três elementos a serem analisados quanto a seu desempenho estrutural:

1. A Placa de Cerâmica Terracota: esse elemento é analisado como laje ou viga ancorada em dois ou mais apoios. Esses elementos devem ser testados para resistirem às pressões positivas e negativas dos ventos nas fachadas, considerando suas dimensões, condições de apoio/fixação e espessura. Durante os ensaios, devem ser analisadas as flechas no centro das placas para as várias pressões aplicadas, bem como o cisalhamento das abas de apoio/ancoragem na região dos apoios.

2. As ancoragens: apresentam diferentes desenhos quando de um ou outro fornecedor; elementos metálicos submetidos às sucções transmitidas pelas placas cerâmicas;
3. Os Montantes Verticais: dão suporte às ancoragens que estarão fixadas ao substrato.

Segundo orientações, o ideal é um ensaio único que permita a verificação dos três elementos estruturais, em condições bem próximas das que ocorrem na fachada montada. Dessa forma, o recomendado foi a montagem de um painel com as cerâmicas instaladas, e a aplicação das pressões positivas e negativas previstas, conforme ensaio em túnel de vento do edifício. O laboratório escolhido deve ser credenciado pelo Inmetro.

Recomendou-se que os ensaios fossem feitos até a ruptura de um dos elementos estruturais, sem prejuízo da medição das deformações que ocorrem nas placas de terracota e nos montantes metálicos. A falha no desempenho de algum elemento para a montagem “testada” determinará novo ensaio, alterando-se as condições de montagem – espaçamento entre montantes/ancoragens, espaçamento entre os apoios dos montantes e espessura das placas de terracota.

Como as fachadas apresentam regiões com incidência de diferentes pressões, esses ensaios determinarão, eventualmente, diferentes parâmetros de montagem para atendimento de tais pressões, em cada caso.

Ensaio de túnel

Para entender melhor os parâmetros adotados para o ensaio da fachada ventilada, é importante informar os resultados do ensaio em Túnel de Vento realizado para este projeto (Figuras 4.122 e 4.123).

A análise do Mapeamento das Pressões nas Fachadas das edificações deste projeto resultantes do Ensaio em Túnel de Vento indicou que as pressões mais frequentes serão máximas de 1.500 Pa, e as ocorrências com 2.000 Pa e 2.500 Pa foram localizadas. A faixa de variação de pressão prevista e acentuada poderá oscilar desde 2.500 Pa (sob pressão) até -3.000 Pa (sucção). Os ângulos de incidência do vento mais prejudiciais são aqueles que se situam próximos do eixo norte-sul, tanto nos sentidos norte a sul, como no sentido oposto.

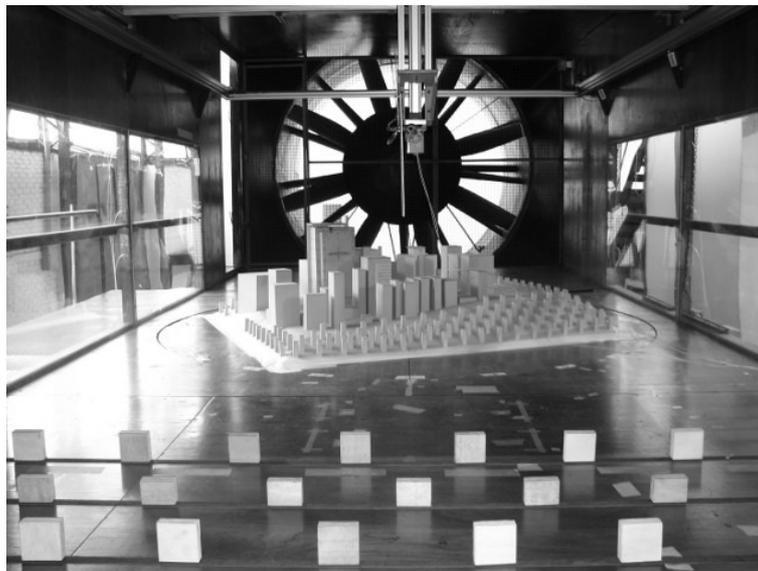


Figura 4.122: Modelo (maquete) em escala 1:250, construído para os ensaios
Fonte: Arquivos do cliente em 17 de dezembro de 2009

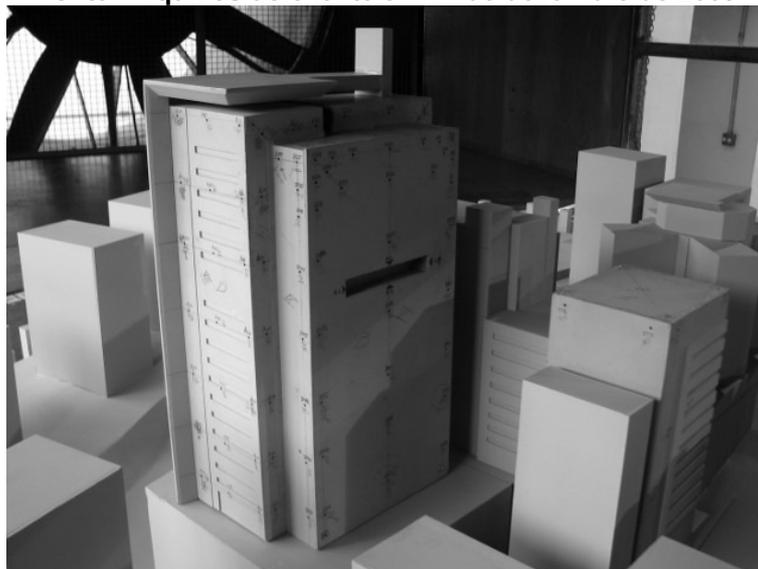


Figura 4.123: Detalhe de uma fachada do modelo
Fonte: Arquivos do cliente em 17 de dezembro de 2009

Ensaio do material em laboratório

O edital de concorrência para o sistema de fachada ventilada solicitou que os concorrentes ao fornecimento do sistema deveriam submeter seu produto (cerâmica extrudada instalada em sistema de fachada ventilada) ao ensaio de cargas de vento.

O ensaio foi orientado pelo consultor de fachadas (PD) contratado pelo cliente, e acompanhado pela construtora, representante do consultor e representantes do escritório de arquitetura.

Os ensaios foram realizados tanto para cargas positivas (pressão) quanto para cargas negativas (sucção), e dois cenários foram adotados: fachada totalmente vedada e fachada não vedada, sendo esta segunda a nossa situação real.

A fachada ventilada tem uma característica não estanque e, quando se aplicam sobre ela as cargas de vento, estas cargas se dissipam através das juntas dos painéis de cerâmica.

O ensaio da empresa Hunter Douglas será relatado a seguir.

Especificações

Este ensaio teve por objetivo testar a cerâmica extrudada e seus perfis de instalação, ou seja, o sistema como um todo.

As especificações do *mock-up* montado para o ensaio, conforme Figuras 4.124 até 4.130, são:

- Dimensões: 2,90 de altura, 3,50 de largura, sendo seis painéis com altura de 40 cm e comprimento de 1,50 m, com juntas variando entre 8 mm e 10 mm entre os painéis;

- Espessura das placas de cerâmicas: 24 mm;
- Distância entre os montantes: 1º módulo = 1,00 m; 2º módulo, 0,50 m;
- Pressões positivas e negativas de 750 Pa, 1.500 Pa e 2500 Pa;
- Elucidativamente comparado com ações de velocidades de vento que variam de 125 Km/h a 228 Km/h (35m/s a 64m/s).

Obs.: Caso o ensaio da cerâmica com espessura de 24 mm não atingisse o desempenho esperado, seriam realizados ensaios com as cerâmicas de espessura igual a 28 mm e a 30 mm.

A Hunter Douglas decidiu testar, além da carga de vento, o comportamento da cerâmica quanto à estanqueidade à água.



Figura 4.124: Vista frontal do painel *mock-up* montado para o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.125: Vista posterior do painel *mock-up* montado para o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.126: Vista da câmara de ensaio e do *mock-up* montado para o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.127: Detalhes do painel de cerâmica extrudada instalado no *mock-up*
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.128: Detalhes do painel de cerâmica extrudada instalado no *mock-up*
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.129: Detalhes da subestrutura do *mock-up*
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.130: Detalhes da subestrutura do *mock-up*
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

Orientações ao ensaio

Embora as orientações para o ensaio já tivessem sido transmitidas no edital de concorrência, no dia do ensaio, antes de seu início, o consultor de fachada orientou a técnica do ITEC sobre como proceder para medições de deflexão das placas e dos perfis. Ele solicitou que fossem colocados três medidores de deflexão (relógios comparadores), um em cada perfil e um no centro da placa (Figura 4.131). Para que fosse colocado o perfil no centro da placa, foi necessária a colocação de um perfil auxiliar, conforme Figura 4.132. Os detalhes dos medidores colocados estão ilustrados nas Figuras 4.133 e 4.134.



Figura 4.131: Vista posterior do painel com os medidores de deflexão colocados
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.132: Vista dos medidores de deflexão com perfil auxiliar para colocação do medidor no centro da placa
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.133: Vista aproximada dos medidores de deflexão
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

Após a colocação dos relógios comparadores, aplicaram-se as cargas, mediu-se a deformação, aguardou-se a estabilização da cerâmica (voltar da deflexão) e mediu-se novamente, descontou-se um valor do outro e, por fim, chegou-se à medida real de deflexão.



Figura 4.134: Vista dos medidores de deflexão (relógios comparadores)
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

Comportamento do material perante as cargas de vento

Preliminarmente foram aplicadas as cargas de vento negativas e positivas sobre o *mock-up* sem vedação, situação real na qual o material será utilizado nesse empreendimento. Nesta situação, foram aplicadas cargas de vento desde 20 km/h até 218 km/h, independentemente da quantidade de carga aplicada e de serem elas negativas ou positivas. O vento se dissipou e o material não apresentou nenhuma reação à carga.

Na situação da fachada totalmente vedada (Figura 4.135) foram aplicadas cargas de vento desde 20 km/s até 218 km/h. Quando aplicada a carga máxima de sucção (negativa) a uma velocidade de 218 km/h, dois elementos de fixação se romperam e, ao se romperem, empurraram a placa de cerâmica pra frente, que trincou. O resultado pode ser observado nas Figuras 4.136 a 4.139.



Figura 4.135: Fachada totalmente vedada para o ensaio de cargas de vento
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.136: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.137: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.138: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

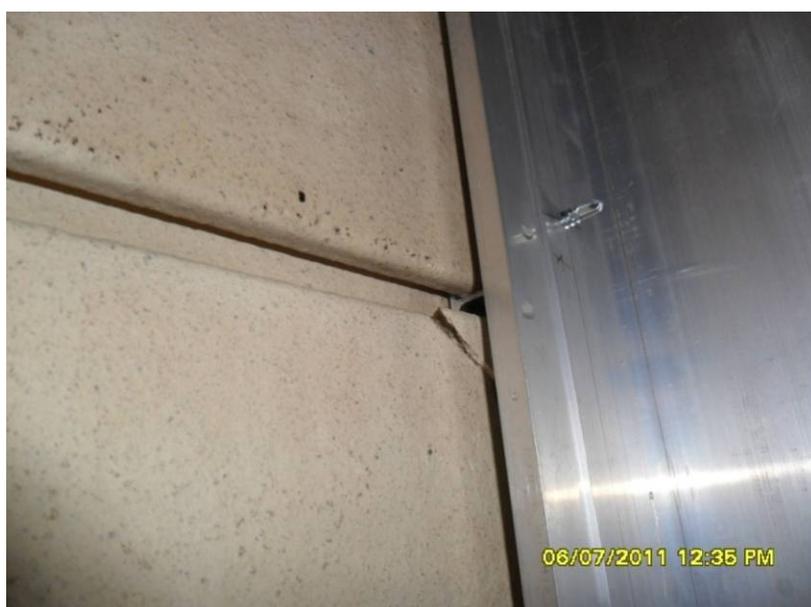


Figura 4.139: Trecho da placa de cerâmica que se rompeu durante o ensaio
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

Desempenho do material quanto à estanqueidade à água

Embora não tenha sido solicitado pelo consultor ou pelo cliente, a empresa Hunter Douglas decidiu realizar o ensaio de estanqueidade, que se apoiou sob dois cenários: primeiramente, foi aspergida água sem carga de vento, e houve vazamentos apenas nos pontos da fachada onde a junta entre as placas eram maiores que 8 mm (Figuras 4.140, 4.141 e 4.142), o que levaria à adoção de

um requisito no qual as juntas entre placas cerâmicas não poderiam ultrapassar 8 mm e, para tanto, as placas deveriam atender critérios rigorosos de planicidade.



Figura 4.140: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade sem carga de vento. Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.141: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade sem carga de vento. Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011



Figura 4.142: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade sem carga de vento. Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

No segundo cenário, a água foi aspergida com carga de vento de 20 km/h, e o resultado foi que toda a água aspergida passou para o lado interno da fachada, conforme Figuras 4.143 e 4.144.



**Figura 4.143: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade com aplicação de carga de vento
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011**



Figura 4.144: Comportamento das placas cerâmicas quanto à estanqueidade com aplicação de carga de vento
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em julho de 2011

O resultado do ensaio de estanqueidade com carga de vento era esperado pela construtora e foi alertado ao cliente através de relatório e apresentação ao conselho.

A fachada ventilada não possui características de estanqueidade, o que implica no fato de que o edifício tem que ser construído com 100% de estanqueidade para que possa receber este sistema de fachada.

Parecer dos consultores

Tanto o consultor de fachadas contratado pelo cliente (PD) quanto o consultor contratado pela construtora para análise do sistema de fachada ventilada aprovaram material da empresa Hunter Douglas.

De acordo com o parecer emitido pelo consultor (PG) contratado pela construtora para análise do sistema de fachada, o ensaio foi realizado em condições de pressão desfavoráveis ao material, ou seja, o material foi ensaiado em uma câmara "fechada", a fim de que se chegasse a uma pressão mais adequada, fato este que não ocorre nas condições da obra. Como não existe uma norma brasileira específica para o material e para o ensaio em questão, a alternativa encontrada foi a utilização de normas semelhantes, podendo ocorrer algumas distorções, que deverão ser entendidas e avaliadas.

Para as pressões positivas aplicadas, nota-se que houve deformações admissíveis e nenhuma ruptura. No caso das pressões negativas, ocorreu o mesmo fenômeno, com exceção feita a uma única placa que se rompeu no lado que estava sem a fixação central, quando submetida a uma pressão de 2.300 Pa.

Ao considerar os resultados dos ensaios e verificar os mapas de pressão que estarão atuando nas fachadas, nas áreas onde serão instaladas as fachadas ventiladas, não foi observada nenhuma não conformidade que impeça a utilização do material e do sistema proposto pela Hunter Douglas.

De acordo com o parecer emitido pelo consultor (PD) contratado pelo cliente, o ensaio foi considerado positivo, pois a amostra foi significativa – seis placas em cada lado – e não só as flechas foram mínimas, como também as flechas residuais foram negligíveis. Num ensaio real de pressão de vento, foi confirmado o sistema com cerâmicas extrudadas com espessura total de 24 mm, com a geometria de extrusão oferecida pela Hunter Douglas, pois suportaram todos os esforços a que estiveram sujeitas, até cargas superiores a 2000 Pa. A carga de Ruptura verificada foi de 2.300 Pa. Nos pontos acima dessa pressão de 2.000 Pa, deverão ser instalados suportes intermediários reduzindo os vãos, de modo que as cerâmicas suportem cargas superiores aos 2.500 Pa (pressão de ensaio de segurança).

4.4.6 O protótipo

Ficou acordada entre cliente e construtora a montagem de um protótipo do empreendimento com dois objetivos: estético e técnico.

O objetivo estético é apresentar ao grupo de médicos, investidores e à sociedade responsável pelo hospital como seriam suas novas instalações e, principalmente, como seriam as fachadas do edifício.

Já o objetivo técnico se justifica porque, através da montagem desse protótipo, seria possível testar todos os sistemas construtivos a serem aplicados nos dois edifícios do seu novo empreendimento, e as interferências que possam existir entre eles.

Para o subsistema fachada foi uma oportunidade muito interessante, uma vez que o projeto do protótipo criou situações nas quais os três tipos de fachada (ventilada com cerâmica extrudada, pele de vidro, caixilho entrevãos de fachada ventilada, ACM) fossem testados. Dessa maneira foi possível, além de testar cada uma das fachadas, discutir e encontrar a solução das interfaces entre elas.

A fachada ventilada será montada pela empresa Hunter Douglas; a fachada em ACM e a fachada-cortina em sistema unitizado serão montadas pela empresa Artalum, e usarão o sistema da Shucco.

Foi necessária a realização de uma sequência de reuniões para discutir os detalhes das fachadas:

1. Primeira reunião: cliente, construtora, Shucco, Artalum e o arquiteto responsável pelo projeto.

Nesta reunião foram expostos pela Shucco e pela Artalum os produtos que seriam desenvolvidos para a montagem do protótipo e para a montagem das fachadas das torres. Foram aprovadas pelo arquiteto as seguintes especificações:

- Cor dos caixilhos: branco RAL 9001 brilhante;
- Espessura dos caixilhos;
- O desenvolvimento de um elemento que esconda a borracha preta de EPDM.

Foram levantadas dúvidas sobre o sistema de fixação, tolerâncias e cronograma de montagem da fachada ventilada, o que implicou em uma segunda reunião.

2. Segunda reunião: cliente, construtora, Shucco, Artalum, Hunter Douglas.

Nesta reunião foram discutidas a sequência de montagem dos três tipos de fachada (sistema unitizado, fachada ventilada e ACM); as tolerâncias de cada um dos três tipos; os pontos de interfaces; as necessidades de soluções de estanqueidade nos pontos onde a fachada-cortina e fachada ventilada se encontram, assim como os pontos de encontro do caixilho entrevãos com a fachada ventilada, a estanqueidade do peitoril e do fundo de viga. Houve necessidade de uma terceira reunião.

3. Terceira reunião: cliente, construtora, Shucco, Artalum, consultor de caixilhos (PD).

Nesta reunião foram expostas todas as necessidades de soluções que surgiram na segunda reunião. Estes pontos foram discutidos e deram origem ao projeto de fabricação e montagem da fachada em sistema unitizado e da fachada ventilada. Os projetos de fabricação de ambos os sistemas foram entregues para a construtora, cliente e arquiteto.

Produção do protótipo

Etapas de Execução da Fachada

Após a montagem da estrutura metálica (vigas, pilares, vigas de fachada e laje *steel deck*), a empresa fornecedora da fachada-cortina em sistema unitizado (Artalum) foi acionada para a realização dos seguintes serviços:

- Abertura de nichos no *steel deck* (Figura 4.145).
- Fixação das ancoragens na mesa superior das vigas (Figura 4.145).

- Groutamento dos recortes (nichos).
- Instalação dos módulos da fachada (Figura 4.146).



Figura 4.145: Ancoragem instalada nos nichos do *steel deck*
Fonte: Foto tirada pela autora em agosto de 2011



Figura 4.146: Ancoragem da fachada instalada na mesa superior da viga metálica e groutada Fonte: Foto tirada pela autora em agosto de 2011



Figura 4.147: Vista da fachada em sistema unitizado
Fonte: Foto tirada pela autora em agosto de 2011

Outra opção sugerida pela empresa Artalum consistiu em cortar o *steel deck* antes da concretagem, fixar a ancoragem na aba superior da viga e, só depois, concretar a laje.

Nos trechos onde foi projetado o sistema de fachada ventilada era necessária a execução de vedação em placa cimentícia ou em bloco de concreto celular, sob responsabilidade da construtora. Essa vedação, também chamada de substrato, é necessária para garantir a estanqueidade da fachada ventilada, que, por definição, não possui tal propriedade. Por questões de agilidade (e disponibilidade no mercado), a construtora optou por utilizar a placa cimentícia ao invés do bloco de concreto celular.

Após a montagem da fachada-cortina e a execução da vedação em placa cimentícia (Figura 4.148); a empresa Hunter Douglas iniciou a montagem da fachada ventilada, que seguiu os seguintes passos:

- Instalação da manta de impermeabilização sobre o substrato/vedação (manta Tyvek da Dupont);

- Instalação da subestrutura de suporte das placas cerâmicas. Conforme projeto das torres, essas subestruturas serão fixadas na viga de fachada (viga metálica projetada especialmente para suportar o caixilho entrevãos e a subestrutura das cerâmicas extrudadas, ou seja, da fachada ventilada);
- Instalação das cerâmicas sobre as subestruturas.



Figura 4.148: Fachada unitizada e vedação em placa cimentícia para a área que receberá a fachada ventilada. Fonte: Foto tirada pela autora em agosto de 2011

Após instalação da fachada ventilada, foi instalado, no quarto 1, guarda-corpo da varanda, e no quarto 2, o caixilho entrevãos.

4.4.7 Problemas identificados

O Quadro 4.13 relata os problemas ocorridos durante a execução do protótipo, descreve suas causas, apresenta a solução adotada e a ação a ser tomada para evitar que o mesmo problema aconteça durante a execução dos edifícios.

Quadro 4.13: Quadro das ocorrências, causas e origens, soluções adotadas e ações corretivas

Agente	Construtora	Coordenadora de projeto	
<i>Descrição do problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>	<i>Recomendação Técnica</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="188 357 672 411">• <u>Forma de fixação da fachada em sistema unitizado no edifício</u> <p data-bbox="188 437 672 491">Falta de definição prévia sobre a localização da fixação da ancoragem da fachada</p>	<p data-bbox="701 357 1285 544">Incompatibilidades entre projeto executivo e projeto de fabricação: No projeto de arquitetura estava previsto que as ancoragens da fachada-cortina seriam fixadas na alma da viga; no projeto de fabricação estava previsto que as ancoragens seriam fixadas nas lajes e, na execução, elas foram fixadas na aba (mesa) superior da viga de borda.</p> <p data-bbox="701 576 1285 850">A falha está em toda a cadeia de valor: O fornecedor não verificou os projetos de arquitetura e o projeto conceitual do consultor de fachadas; a construtora não verificou que havia diferenças entre eles; o arquiteto recebeu o projeto de fabricação e não verificou que estava diferente do projeto da arquitetura; o arquiteto (responsável pela compatibilização do projeto) não compatibilizou os projetos executivos com o de fabricação, e o consultor não foi consultado a respeito pelo coordenador de projetos, como deveria.</p> <p data-bbox="701 882 1285 991">A construtora não cobrou a validação do consultor e do arquiteto como deveria. Embora tenham sido realizadas diversas reuniões para esclarecimento de dúvidas, este aspecto nunca foi colocado em pauta.</p>	<p data-bbox="1317 357 1599 603">Fixar as ancoragens da fachada na aba superior da viga de borda conforme projeto do fornecedor/instalador da fachada. (para as torres, ainda está sendo discutida a solução mais adequada)</p>	<p data-bbox="1630 357 2051 603">(1) O fornecedor/instalador da fachada deverá desenvolver um projeto de fabricação baseado no projeto arquitetônico, no projeto conceitual da fachada e no projeto de estrutura metálica, uma vez que este projeto previu ou deverá prever a criação de elementos estruturais para fixação e apoio da fachada</p> <p data-bbox="1630 635 2051 1070">(2) Durante o desenvolvimento do projeto de fabricação, deverão acontecer reuniões de trabalho entre o fornecedor/instalador, o arquiteto, o projetista estrutural, o consultor da fachada e a construtora, com o objetivo de se discutir soluções a serem adotadas, identificar itens não previstos nos projetos, as possíveis necessidades de revisão, além de identificar os responsáveis por cada uma das ações necessárias e definir a sequência executiva de fabricação e montagem da fachada de maneira compatível com o plano de ataque da obra</p> <p data-bbox="1630 1102 2051 1264">(3) Após finalização do projeto de fabricação, este deverá ser submetido à aprovação do consultor de fachadas e validação do arquiteto quanto à compatibilização com os demais subsistemas</p>

Quadro 4.13: Quadro das ocorrências, causas e origens, soluções adotadas e ações corretivas (Continuação)

Agente	Construtora	Coordenadora de projeto	
<i>Descrição do problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>	<i>Recomendação Técnica</i>
<ul style="list-style-type: none"> Rompimento do concreto para instalação da fixação da fachada <p>Laje concretada sem ancoragens</p>	<p>Falta de gestão da produção sobre serviços de interfaces. Embora a empresa fornecedora/instaladora tenha sido informada da data de concretagem da laje para que as ancoragens fossem posicionadas concomitantemente, a mesma não compareceu, e a laje foi concretada sem as ancoragens. A construtora não identificou a forma de como deveria ser realizada a fixação por não haver detalhes ou projetos disponíveis, resultando, dessa forma, na concretagem da laje sem nichos</p>	<p>Rompimento do concreto com a utilização de martelete nos trechos indicados pela empresa fornecedora/instaladora do sistema de fachada para que as ancoragens fossem fixadas na aba superior da viga de borda</p>	<p>(1) Disponibilização do detalhamento da fixação das ancoragens pela empresa fornecedora/instaladora da fachada e posterior validação pelo arquiteto e pelo consultor de fachadas (PD) em tempo hábil</p> <p>(2) Elaboração do plano de ataque pela construtora em conjunto com a empresa fornecedora/instaladora</p>
<ul style="list-style-type: none"> Estrutura de fixação do caixilho entrevãos <p>O fornecedor/instalador informou que não é possível instalar o caixilho especificado sem a execução de estrutura auxiliar</p> <p>A empresa fornecedora/instaladora solicitou a instalação de dois pilares de 40 x 60 x 281 sobre a viga da fachada para fixação do caixilho entrevãos. Somente após 15 dias foi solicitada uma verga de 4 cm de altura para apoio do mesmo caixilho</p>	<p>(1) Ausência de compatibilização entre o projeto de arquitetura e o projeto de caixilhos (PD)</p> <p>(2) Ausência de compatibilização quanto às necessidades da fachada com o projeto de arquitetura e o projeto de estrutura</p> <p>(3) A construtora não recebeu os projetos de fabricação e não pode realizar uma análise crítica dos mesmos. Consequentemente, eles não foram validados pelo consultor de fachadas e pelo arquiteto responsável pela compatibilização</p> <p>(4) Ausência de reuniões de trabalho envolvendo toda a cadeia de valor (arquiteto, consultor de fachada, fornecedor/instalador de fachada, projetista de estrutura e construtora). As reuniões que aconteceram foram para tratar de assuntos pontuais e não de compatibilização entre informações e projetos</p>	<p>Instalação de uma contraverga de 4 cm sobre a viga metálica como complemento para se chegar à cota determinada pelo projeto de caixilho</p>	<p>(1) Verificar quais itens necessitam de execução para atenderem à fixação dos caixilhos e compatibilizá-los com os projetos das demais disciplinas</p> <p>(2) Revisar os projetos de arquitetura, estrutura metálica e demais disciplinas conforme resultado da compatibilização</p> <p>(3) Unidade na solicitação de itens necessários</p> <p>(4) Realizar reuniões de alinhamento de informações (posicionamentos, tolerâncias, etc.) entre o fornecedor de estrutura metálica, fornecedor de caixilhos, arquiteto, consultor de fachadas e o Consórcio</p>

Quadro 4.13: Quadro das ocorrências, causas e origens, soluções adotadas e ações corretivas (Continuação)

Agente	Construtora	Coordenadora de projeto	
<i>Descrição do problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>	<i>Recomendação Técnica</i>
	<p>Obs.: No projeto de fabricação da fachada falta a visão do todo, ou seja, falta considerar o edifício como produto final: o projeto é apresentado em cortes e detalhes isolados. A fachada é vista como o produto final, e não o edifício. Essa ocorrência revela incompatibilidade de informações e falta de amadurecimento do sistema, além de falta de unidade na empresa fornecedora/instaladora da fachada</p>		
<ul style="list-style-type: none"> Requadro do caixilho <p>Ausência de especificação de acabamento para o requadro do caixilho (Figura 4.149)</p>	<p>Conforme citado anteriormente, os pilaretes metálicos para sustentação dos caixilhos em projeto não estavam previstos. Da mesma forma, não foi previsto o acabamento do requadro do caixilho (em ambos os quartos)</p>	<p>Solicitação da especificação do acabamento ao arquiteto</p>	<p>Revisão dos projetos de arquitetura; compatibilização com os projetos de caixilho; apresentação de detalhes específicos demonstrando os diferentes acabamentos</p>
<ul style="list-style-type: none"> Estrutura de fixação do caixilho entre o quarto e varanda <p>No início do processo do protótipo, a empresa fornecedora/instaladora da fachada informou não ser possível instalar o caixilho entre o terraço e o quarto sem a execução de estrutura auxiliar, e solicitou dois pilaretes e uma verga para fixação do caixilho que 'sai' para a varanda</p>	<p>Os pilares em questão (solicitados pelo fornecedor/instalador do caixilho) não estavam desenhados no projeto de arquitetura e nem nos projetos de estrutura (concreto ou metálica). A compatibilização entre as informações e o projeto de arquitetura não foi realizada. Este é mais um assunto que revela incompatibilidade de informações (Figura 4.151)</p>	<p>Solicitação de detalhamento para a execução da estrutura auxiliar (pilaretes). Em resposta, recebemos o croqui da figura 2 para execução dos pilaretes em concreto, com as medidas de 30 x 14 cm. Questionamos sobre a possibilidade de executá-los em metálica, e a autorização seguiu as seguintes diretrizes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Pilaretes: tubo retangular 100 x 150 x 4,76, aço ASTM-A36 <p>Verga sobre caixilho: tubo retangular 100 x 150 x 4,76, aço ASTM-A36 (Figura 4.150)</p>	<p>(1) Levantar itens que necessitam de execução para atenderem à fixação dos caixilhos e compatibilizá-los com os projetos das demais disciplinas</p>

Quadro 4.13: Quadro das ocorrências, causas e origens, soluções adotadas e ações corretivas (Continuação)

Agente	Construtora	Coordenadora de projeto	
<i>Descrição do problema</i>	<i>Causa ou origem</i>	<i>Solução Adotada</i>	<i>Recomendação Técnica</i>
<ul style="list-style-type: none"> Estrutura de fixação do guarda-corpo de vidro <p>Nos projetos de arquitetura e estrutura metálica, não havia detalhes do encontro dos pilaretes (indicados nos projetos de arquitetura em concreto) com a viga tubular metálica. Para instalação do guarda-corpo de vidro, a empresa fornecedora/instaladora da fachada solicitou dois pilaretes metálicos com largura de 25 cm, a serem executados sobre a viga de fachada. Como esta viga possui 15 cm de largura, ficou um balanço de 10 cm do pilar</p>	<p>Ausência de compatibilização quanto às necessidades da fachada, o projeto de arquitetura e o projeto de estrutura (Figuras 4.152 e 4.153)</p>	<p>(1) Fixação dos pilaretes metálicos em cima da viga tubular (Figura 4.152)</p> <p>(2) Posteriormente, foram executados complementos para estes pilares até o piso, a fim de sustentar as placas de granito, além de mais três novos pilaretes de 60 x 80 mm (Figura 4.153)</p>	<p>(1) Levantar itens que necessitam de execução para atenderem à fixação dos caixilhos e compatibilizá-los com os projetos das demais disciplinas</p> <p>(2) Revisar os projetos de arquitetura, estrutura metálica e demais disciplinas conforme resultado da compatibilização</p>
<ul style="list-style-type: none"> Impermeabilização do substrato da Fachada Ventilada <p>Foram identificados pontos onde a manta (Tyvek) foi perfurada pelos parafusos de fixação dos perfis metálicos (que não foram considerados em projeto), gerando vulnerabilidade em alguns trechos, podendo comprometer sua estanqueidade (Figuras 4.154 e 4.155)</p>	<p>Ausência de detalhamentos da impermeabilização e dos perfis metálicos em projeto</p> <p>A placa cimentícia foi instalada sobre a viga de fachada, e não alinhada a ela. Desta forma, o instalador teve que rasgar a manta colocada sobre a placa cimentícia para localizar a viga metálica e fixar o parafuso autobrocante</p> <p>Obs.1: A produção informou que passou a localização correta da viga, ou seja, a justificativa de rasgar a manta para encontrá-la não procede</p> <p>Obs.2: A equipe de produção do protótipo informou que a viga supracitada, de fornecimento da Codeme (viga tubular), encontra-se totalmente desalinhada, e por isso a placa cimentícia foi executada por fora' da mesma</p>	<p>Realizou-se uma sobreposição de mantas (15 x 15 cm) nos trechos onde ela foi perfurada e aplicou-se silicone</p>	<p>(1) Elaboração de detalhes que considerem os perfis metálicos de fixação da cerâmica</p> <p>(2) Validação, pelo fornecedor, da manta da assertiva repassada pelo consultor de fachadas Paulo Duarte de que as fibras da manta se recompõem ("simplesmente se fecham e se ajustam contra o fuste do material")</p> <p>(3) A construtora deverá dispor de registros de treinamento da mão de obra</p>



Figura 4.149: Vista da lateral da fachada ventilada com o pilarete de fixação do caixilho
 Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em agosto de 2011

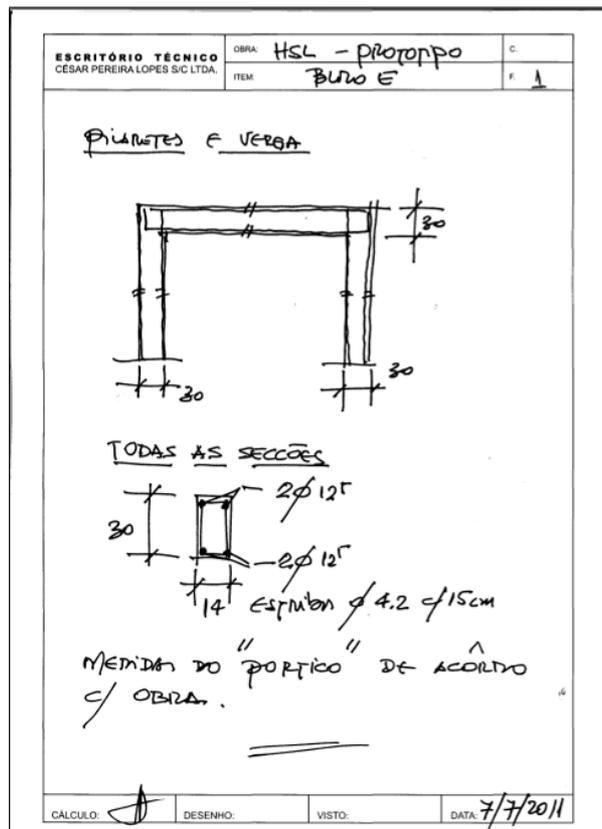


Figura 4.150: Croqui dos pilaretes e da verga para execução em alvenaria
 Fonte: Arquivos cedidos pela construtora



Figura 4.151: Pilaretes 10 cm maiores que o especificado com a verga metálica
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em agosto de 2011

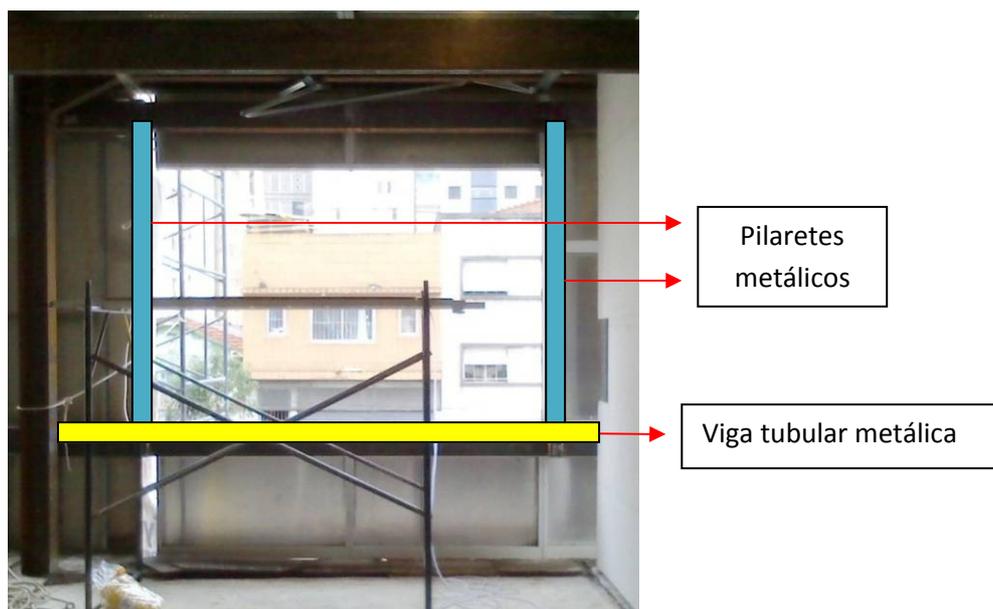


Figura 4.152: Vista interna do vão onde será instalado o guarda-corpo em vidro com os pilaretes de fixação
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em agosto de 2011

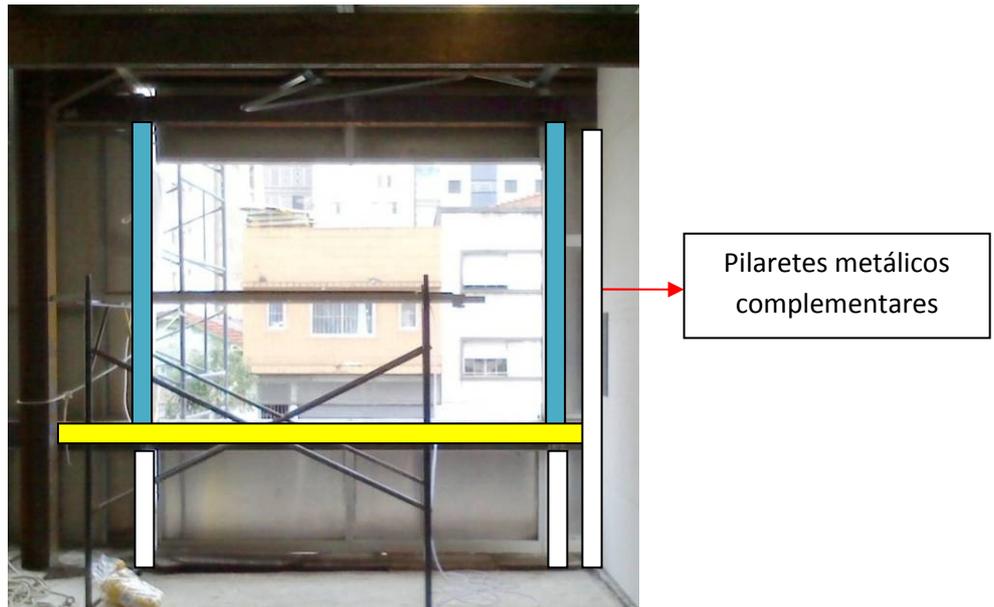


Figura 4.153: Vista interna do vão onde será instalado o guarda-corpo em vidro com os pilaretes de fixação
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em agosto de 2011



Figura 4.154: Instalação da cerâmica extrudada na subestrutura e, sob ela, a manta Tyvek
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em agosto/2011



Figura 4.155: Manta Tyvek com a subestrutura perfurando-a
Fonte: Arquivos da autora, foto tirada em agosto de 2011

O protótipo serviu como ferramenta de desenvolvimento de projeto, não atendendo aos reais objetivos, que seriam a montagem de um protótipo com base em projetos totalmente desenvolvidos para que fosse possível a checagem dos problemas e as interferências de execução, a validação dos produtos especificados e a avaliação da capacidade dos fornecedores em atender a obra.

A montagem do protótipo mostrou a todos os envolvidos no processo (cliente, arquiteto, consultor, construtoras e fornecedores/installadores), itens que precisarão ser revisados, projetados e/ou desenvolvidos de forma mais detalhada, além de compatibilizados para que a execução das obras dos edifícios (blocos E e F) seja realizada de maneira a atender as necessidades do cliente, a fim de não proporcionar retrabalhos e não causar impactos de custo, prazo e qualidade.

4.5 Análise dos Casos

A análise dos três estudos de caso baseou-se numa comparação das práticas comuns aos três empreendimentos, com o objetivo de verificar quais delas são mais adotadas no processo de desenvolvimento do subsistema fachada. A análise percorreu os principais pontos relatados no decorrer dos estudos. Foram feitas comparações quanto aos agentes da cadeia de valor deste subsistema, as etapas de desenvolvimento, o produto e os problemas identificados.

4.5.1 Análise dos agentes da cadeia produtiva x responsabilidades

Analisando os estudos de caso, tornou-se possível a identificação dos agentes da cadeia produtiva envolvidos no desenvolvimento do subsistema fachada e suas respectivas responsabilidades.

A partir destes dados, foi possível traçar um paralelo com as referências bibliográficas apresentadas no item 3.4 do Capítulo 3, no qual descreveu-se a cadeia produtiva do subsistema fachada e suas respectivas responsabilidades, para então, no Capítulo 5, apresentar as recomendações pertinentes.

Projetistas e consultores: cabe à **arquitetura** o desenvolvimento das paginações da fachada, a identificação dos locais e formas de fixação em conjunto com o projetista de estrutura e o consultor de fachadas. Aos **consultores**, cabe o desenvolvimento dos conceitos da fachada e dos seus elementos, o fornecimento da lista de especificações dos vidros baseado no projeto de arquitetura, além da validação dos projetos de fabricação desenvolvidos pelos fornecedores. Ao **coordenador do projeto dos três empreendimentos apresentados**, coube a compatibilização dos projetos de todas as disciplinas, incluindo o projeto de fabricação da fachada.

Os **fornecedores**: ao **fornecedor/instalador** do sistema de fachada unitizado fica a responsabilidade de desenvolver os projetos de fabricação e montagem; identificar, desenvolver e fabricar as ferramentas necessárias à extrusão dos perfis e componentes da fachada, e fornecer a lista de vidros com as suas respectivas dimensões de corte para o fornecedor do vidro.

A **construtora** é responsável por gerenciar a execução analisando criticamente todos os projetos, planejando as sequências executivas de todos os sistemas de fachada, controlar os custos, realizar as aquisições, garantir a qualidade de cada sistema e do produto final (o edifício), além de fazer a gestão do prazo da execução do produto.

O Quadro 4.14 relaciona todos os agentes da cadeia produtiva envolvidos no desenvolvimento do subsistema fachada, compreendendo desde a etapa de projeto até a etapa de montagem da fachada.

Quadro 4.14: Agentes da cadeia produtiva envolvidas no subsistema fachada

Agente da cadeia produtiva	Responsabilidades
Incorporadora/Cliente	Programa de necessidades Premissas do produto
Projeto de arquitetura	Criação de premissas estéticas Especificação de cores e acabamentos para os caixilhos, vidros, granitos, etc Especificação da espessura das juntas
Coordenador do projeto (escritório de arquitetura)	Troca de informações entre os agentes envolvidos no projeto (design), incorporador, construtora
Projeto de vedações	Desenvolvimento do projeto de vedações Entrega do projeto compatibilizado com as demais disciplinas
Consultor de fachada (vidros e caixilhos)	Especificação do sistema de fachadas quanto a vidros e caixilhos Especificação de componentes Desenvolvimento do projeto básico de caixilharia Recomendações sobre execução e armazenagem Validação dos projetos de fabricação de vidros e caixilhos
Consultoria de fachada (rochas e sistema não aderido) Obs.: Este agente somente existiu no estudo de caso do empreendimento 1	Seleção e validação dos granitos Recomendações sobre armazenamento, transporte e fixação dos granitos Desenvolvimento do projeto do sistema americano Recomendações sobre o sistema americano
Consultor de fachada (ventilada em cerâmica extrudada) Obs.: Este agente somente existiu no estudo de caso do empreendimento 3	Análise do sistema oferecido pelos fornecedores Recomendações e análise sobre os ensaios a serem realizados Análise do projeto de fabricação quanto ao desempenho do sistema e interface com os outros subsistemas (estrutura, vedações, etc.) e outros sistemas de fachada
Fornecedor/Instalador de esquadrias	Desenvolvimento do projeto de fabricação e montagem da fachada-cortina em sistema unitizado Definição da sequência executiva da montagem das fachadas (em conjunto com a construtora) Recebimento e estocagem dos vidros
Empresa de extrusão de perfis	Extrusão dos perfis de alumínio que serão utilizados nos caixilhos, conforme projeto de fabricação
Empresa de anodização	Responsável pela qualidade da camada de anodização dos caixilhos

Quadro 4.14: Agentes da cadeia produtiva envolvidas no subsistema fachada (Continuação)

Agente da cadeia produtiva		Responsabilidades
Fornecedor de painel de concreto Obs.: Este agente somente existiu no estudo de caso do empreendimento 1		Desenvolvimento dos cálculos para fabricação dos painéis Desenvolvimento do projeto dos painéis Montagem dos painéis Recebimento e armazenagem dos granitos Fixação dos granitos nos painéis Definição da sequência executiva da montagem das fachadas (em conjunto com a construtora)
Fornecedor de Granito Obs.: Este agente somente existiu no estudo de caso do empreendimento 1		Desenho do corte das peças de granito Recebimento e entrega dos granitos na fábrica do painel de concreto ou na obra (dependendo do sistema)
Fornecedor de vidros		Corte, laminação e preparação do vidro conforme romaneio entregue pela construtora
Consultor de impermeabilização Obs.: Este agente somente existiu no estudo de caso do empreendimento 1		Desenvolvimento do projeto de impermeabilização da estrutura Desenvolvimento do projeto de impermeabilização das vedações externas (torre D)
Construtora	Gerente do Projeto	Responde por todo desempenho da obra quanto aos custos, prazos e qualidade tanto para o cliente (incorporadora) quanto internamente, na construtora Visão macro dos assuntos de obra
	Coordenador de projetos	Garante que os projetos atendam as necessidades da obra Antecipa possíveis problemas e buscar soluções, para que isso não cause impactos de custo, prazo e qualidade
	Suprimentos	Seleciona e contrata os fornecedores de material, mão de obra ou os dois
	Planejamento	Elabora o plano de ataque da obra Elabora a logística do canteiro de obras Controla os prazos de execução da obra Define as sequências executivas da obra
	Engenheiro da Qualidade	Verificação de todas não conformidades de recebimento, armazenagem e execução da obra
	Equipe de Produção (engenheiro responsável pela execução da fachada)	Vistoria e montagem da fachada quanto ao prazo, qualidade e sequência Controla e monitora a execução de todos os serviços da obra

4.5.2 Quanto às etapas de desenvolvimento

Analisando o fluxo dos envolvidos na confecção do edital das fachadas do estudo 3, apresentado na Figura 4.121, e o Fluxograma do Processo de projeto das fachadas do estudo 1, apresentado na Figura 4.7, conclui-se que os três estudos seguiram o mesmo fluxo de trabalho para a realização das etapas do desenvolvimento do projeto (idealização do produto, concepção inicial e viabilidade, desenvolvimento do produto, análise dos processos, formalização do produto, detalhamento dos produtos e dos processos) e execução (planejamento, execução, entrega do produto, operação e manutenção) definidas na Figura 4.2 do item 4.1.2 deste capítulo.

O **arquiteto** definiu as premissas estéticas da fachada, enquanto o **consultor** definiu e especificou o sistema. Este trabalho foi avaliado pelo **cliente**, que decidiu pela sua aprovação.

O **consultor** desenvolveu os projetos específicos que foram parte integrante do processo de aquisição do sistema realizado pela construtora.

Após a **contratação do fornecedor/instalador** da fachada, realizada pela construtora com anuência do cliente, este desenvolveu os projetos de fabricação que foram validados pelo consultor.

A **construtora**, em paralelo com o **fornecedor/instalador** da fachada, planejou a sequência executiva de fabricação e montagem da fachada.

4.5.3 Análise do produto – quanto à fachada

Os estudos de caso 1 e 2 foram projetados de forma a se integrarem ao espaço urbano, através da criação de praças e do uso do paisagismo no térreo dos empreendimentos.

Os estudos nos revelam a preferência pelas fachadas de vidro tanto nos estudos de caso 1 e 2, que são edifícios comerciais “AAA”, quanto no estudo de caso 3, que é um edifício hospitalar.

No empreendimento 1, a fachada envidraçada em sistema unitizado ocupa 41% da área total das fachadas das três torres do empreendimento, sendo que os outros 59% são ocupados por elemento opaco (painel de concreto granito em sistema americano).

Área total das fachadas (três torres) – 42 mil m².

Áreas envidraçadas (três torres) – 17,3 mil m².

No empreendimento 2, a fachada-cortina em sistema unitizado ocupa 100% das áreas de fachada, não havendo nenhum elemento opaco nas fachadas. São **19 mil m²** de fachada-cortina em sistema unitizado.

No empreendimento 3, a fachada envidraçada em sistema unitizado ocupa 58% da área total das fachadas das duas torres do empreendimento, sendo que os outros 42% são ocupados por elemento opaco (cerâmica extrudada em fachada ventilada), **23,7mil m² de fachada e 13,4 mil m² em fachada-cortina sistema unitizado.**

Área total das fachadas (três torres) – 23,7 mil m².

Áreas envidraçadas (três torres) – 13,4 mil m².

Os três empreendimentos revelam preocupação com a estética das fachadas e com a especificação de vidros de controle solar, cujos índices fotoenergéticos especificados para os vidros dos três empreendimentos são muito semelhantes. Entretanto, o estudo de caso 2 revela uma arquitetura que projeta uma fachada para cada orientação solar: terraços na face sul, *core* posicionado muito próximo à face norte (servindo de anteparo na fachada com maior incidência de radiação solar) e *brises* nas faces leste e oeste.

Pode-se observar que estas são algumas técnicas passivas a serem aplicadas à forma do edifício para direcionar o atendimento às condições de conforto interno da edificação citadas no item 3.1.1 do Capítulo 3 desta dissertação.

Quanto à prática de realização de ensaios, os três empreendimentos estudados realizaram os ensaios de túnel de vento, a fim de definir exatamente as cargas de vento aplicadas nas fachadas dos edifícios para, assim, minimizar as espessuras e cargas dos elementos de fachada a serem especificados para as edificações. Dois deles (estudos 2 e 3) exigiram em seus editais de concorrência a montagem de *mock-up* para a realização de ensaios de deformações estruturais e de estanqueidade ao ar e à água. Em ambos os editais, as orientações de como deveriam ser montados os *mock-ups* e como deveriam ser realizados os ensaios foram descritas pelo consultor de fachadas.

4.5.4 Análise dos problemas identificados

Nos estudos de caso 1 e 3 foram identificados problemas de **desenvolvimento e compatibilização de projetos**, enquanto que no estudo de caso 2, a maioria dos problemas identificados refere-se às etapas de aquisição e execução, sendo o problema mais crítico o atraso de cronograma causado pela falta de inspeção nas etapas de fabricação dos componentes da fachada.

Os estudos 1 e 2 apresentaram problemas de **qualidade nos perfis**; no estudo 1 houve problemas de riscos, amassamentos e na anodização dos perfis, enquanto que no estudo 2, os perfis de alumínio estavam curvados e entortados. A utilização desses perfis representam riscos de infiltrações nas edificações.

O empreendimento 2 não apresentou problemas de **interface** porque só havia um sistema de fachada; já os empreendimentos 1 e 3, que possuíam mais de um sistema de fachada, apresentaram problemas de interface entre os

sistemas. Em ambos os estudos foram identificados problemas nos encontros entre sistemas diferentes: pontos sem vedação ou com vedação inapropriada e desalinhamento devido às diferenças nas tolerâncias de cada um dos sistemas. A necessidade da **proteção dos módulos** de painéis já instalados é comum aos empreendimentos 1 e 2, e foi ponto de discussão na montagem dos editais de concorrência do empreendimento 3.

As **vedações** apresentaram uma constante falha identificada pelos consultores. No empreendimento 1, foi percebida após a execução total da fachada; no estudo 2, ela foi identificada durante as inspeções do consultor, o que torna mais fácil a correção do problema; no estudo 3, a falha foi verificada e discutida durante os serviços de montagem do protótipo, pois surgiram problemas de vedação nas interfaces entre os diferentes sistemas especificados para a fachada.

Uma prova de que as **tolerâncias dimensionais** dos sistemas têm que ser discutidas e definidas durante o projeto de fabricação é que estas foram identificadas durante as inspeções do consultor no empreendimento 2, foi ponto de discussão durante a montagem do empreendimento 1, e durante o projeto de fabricação do protótipo e processo de aquisição dos sistemas no empreendimento 3.

O Quadro 4.15 apresenta um resumo dos problemas identificados em mais de um dos estudos de caso.

Quadro 4.15: Quadro resumo dos problemas de ocorrência comum entre os três estudos de caso

Estudo	Problemas identificados					
	Desenvolvimento e compatibilização de projetos	Verificação de perfis danificados	Interface entre sistemas de fachada diferentes	Proteção dos módulos de fachada já instalados	Vedações das fachadas	Tolerâncias dimensionais dos sistemas de fachada
Estudo de caso 1 Comercial “AAA” denominado “R”	X	X	X	X	X	
Estudo de caso 2 Comercial “AAA” denominado “I”		X		X	X	X
Estudo de caso 3 Hospitalar denominado “H”	X		X	X	X	X

4.5.5 Considerações finais sobre os estudos de caso

Seguem relacionadas abaixo as observações demonstradas pelos estudos de caso quanto aos agentes e o processo de desenvolvimento das fachadas:

O cliente pode ser tanto o incorporador, como nos estudos de caso 1 e 2, ou o cliente final, como no estudo de caso 3.

Os estudos mostram que existe o consultor especializado em fachadas de vidros e os consultores especializados em sistemas que adotam outros tipos de fachadas, como por exemplo, consultores de revestimentos não aderidos, sistemas ventilados, ACM, etc.

As atividades desenvolvidas pelo arquiteto, pelo consultor e as validações do cliente/incorporador são controladas pelo **coordenador de projetos**, que nos três estudos de caso é também o arquiteto responsável pelo desenvolvimento do projeto e pela compatibilização do mesmo.

Cabe à **construtora** planejar, monitorar e controlar. **Planejar** por meio de cronogramas e planos de ataque que estabeleçam a sequência de fabricação e montagem da fachada, logística do canteiro – definindo de forma conjunta com o fornecedor o local onde serão realizadas algumas das diversas etapas de fabricação da fachada, tais como a montagem dos caixilhos e a colagem dos vidros, os equipamentos a serem utilizados, os locais e as quantidades a serem armazenadas.

O **Monitorar e controlar** refere-se tanto às etapas de instalação/montagem das fachadas na obra quanto às etapas de desenvolvimento dos projetos de fabricação e da fabricação dos componentes. O estudo de caso 2 revelou que a construtora não realizou de forma completa e adequada as atividades de monitoramento e controle, pois monitorou e controlou apenas as etapas que aconteceram no canteiro de obras, ou seja, a etapa de montagem, esquecendo

das etapas de fabricação que antecedem a montagem da fachada e duram cerca de 60 dias, contados a partir da validação do projeto de fabricação, que tem duração média de 90 dias.

Na etapa de fabricação são realizadas atividades como a fabricação de ferramentas de extrusão, extrusão, pintura ou anodização dos caixilhos, colagem dos perfis, aquisição dos vidros, entre outras. Quando uma dessas atividades atrasa ou acontece de maneira indevida, o impacto nas etapas subsequentes é muito grande, causando atrasos nos prazos de entrega do empreendimento, como ocorreu no estudo de caso 2. Controlar os prazos e inspecionar a qualidade das etapas de fabricação e montagem são atividades de extrema importância para a obtenção da excelência na entrega do produto final.

Verifica-se nos estudos de caso a figura do **coordenador de projetos** que faz parte da equipe da construtora, cujo papel consiste em realizar as atividades necessárias à etapa de preparação e execução de obras (PEO), mencionada no Capítulo 3 desta dissertação. Este coordenador tem a responsabilidade de analisar criticamente todos os projetos com foco na construtibilidade; analisar o cronograma de projetos de acordo com as datas da execução da obra, a fim de que os projetos estejam sempre disponíveis para as etapas de aquisição e execução; comunicar à equipe de obras e ao cliente todos os assuntos relacionados aos projetos; realizar interface entre equipe da obra, fornecedores e projetos; coordenar os projetos de fabricação; coordenar os protótipos e amostras.

Os projetos recebidos pela construtora devem ser analisados de forma sistêmica, com o intuito de avaliar as soluções e sugerir alterações com foco nos objetivos determinados pelo cliente, sejam eles redução de prazo, redução de custo, aumento do desempenho, etc. Os projetos devem ser analisados com foco na construtibilidade das soluções e o atendimento ao planejamento inicial da obra. A Análise dos projetos é liderada pelo Coordenador de Projetos (integrante da equipe da construtora). No entanto, é importante que haja participação das diversas áreas envolvidas no processo, sendo elas:

Planejamento, Suprimentos, Produção e Qualidade, além dos fornecedores de serviços e materiais que podem auxiliar na identificação de alternativas e na manutenção ou redução do custo do empreendimento. Na etapa de execução de obras existe uma troca de informações constante entre o coordenador de projetos da construtora e o coordenador de projetos da etapa de desenvolvimento de projetos. A interface entre os projetos e fornecedores é realizada por este coordenador da equipe da construtora.

Verificando os sistemas de fachada especificados para os empreendimentos, conclui-se o que havia sido previsto quando da seleção do objeto de estudo do terceiro caso: embora o empreendimento 3 tenha uma tipologia de edificação diferente dos outros dois objetos de estudo, os sistemas de fachada adotados, as etapas de desenvolvimento do projeto deste subsistema, e os problemas identificados foram semelhantes entre os três estudos de caso.

Após análise comparativa dos três estudos de caso, conclui-se que as práticas de desenvolvimento do processo de projeto das fachadas adotadas pelos três estudos de caso acontece de forma semelhante e requer cuidados também semelhantes para melhoria do seu processo. Com o intuito de propor melhorias deste processo, o capítulo seguinte trará recomendações para as diversas etapas do desenvolvimento dos projetos do subsistema fachada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Recomendações

Analisando toda a bibliografia estudada para este trabalho, além de todas as questões levantadas nos estudos de caso, a conclusão dessa dissertação tem a pretensão de relacionar algumas recomendações para o subsistema fachadas, sendo que tais recomendações serão divididas em:

- Etapas e atividades de projeto.
- Etapa Integração projeto-execução.
- Escopos de projeto e consultoria.

5.1.1 Etapas e atividades de projeto

Uma das funções da coordenação do projeto é integrar todos os subsistemas do edifício na fase que antecede a construção. As recomendações para as atividades de projeto têm início na etapa de estudo preliminar, na qual se faz uma escolha preliminar do tipo de fachada que será adotada para o edifício.

Analisando as etapas, serviços e conteúdos para desenvolvimento de um projeto de fachadas proposto por Oliveira (2009) na Tabela 3.1 do Capítulo 3 desta dissertação, criou-se um paralelo entre as recomendações feitas nesta dissertação com as etapas propostas, de forma que as recomendações seguiram as fases e etapas por ela definidas.

Na fase de **Concepção de projeto**, na etapa de idealização do produto, faz-se a seguinte recomendação:

Na etapa de decisão e escolha dos tipos de subsistemas a serem adotados, deve-se considerar o local da obra, a cultura local, as cargas que os subsistemas descarregam na fundação, a logística operacional, os requisitos, exigências e códigos nacionais, as legislações de forma geral, as cargas de vento – que podem ser determinadas por norma ou por ensaio de tunel de vento realizado especificamente para aquele determinado edifício.

Na fase de **Desenvolvimento de Projetos**, etapa de Desenvolvimento do produto (Estudos preliminares), faz-se a seguinte recomendação:

Recomenda-se que, nesta etapa onde são definidos os parâmetros iniciais para determinação do sistema de esquadria a ser utilizado, a escolha se faça com base em critérios estéticos, de custos, de prazos de desenvolvimento e execução esperados.

Quanto à estética, é ideal que sejam especificados os materiais, os aspectos dos vidros e o acabamento dos perfis de alumínio.

Na fase de **Desenvolvimento de Projetos**, etapa de Formalização/Anteprojeto, este trabalho traz a seguinte recomendação:

O **ensaio de túnel do vento** é indispensável para o desenvolvimento de um projeto de fachada com maior segurança, pois determina com bastante precisão as cargas típicas na fachada, para as quais o código é geralmente conservador.

Na fase de **Desenvolvimento de Projetos**, mais especificamente etapa de Formalização/Projeto básico (ou pré-executivo), esta dissertação recomenda:

No desenvolvimento do projeto é preciso considerar a compatibilização dos projetos de todos os subsistemas, solucionando todas as interfaces para que

seja alcançada a integração dos processos, assim como a compatibilidade com as legislações pertinentes. É preciso desenvolver as **condições para limpeza e manutenção das fachadas**. Prever o fácil acesso às fachadas; locais para fixação das ancoragens de cadeiras suspensas ou trilhos para colocação de guindastes no topo dos edifícios.

A **paginação das fachadas** é uma atividade de projeto que aparecerá em duas etapas sequenciais do processo: primeiro no projeto de arquitetura, desenvolvido a partir da troca de informações entre o arquiteto e o fornecedor/fabricante do tipo de fachada selecionado; no segundo momento, outro projeto de paginação é desenvolvido, desta vez pelo fornecedor/fabricante contratado para execução da obra.

Projeto de paginação desenvolvido pela arquitetura: tem a responsabilidade de definir as dimensões, posicionamento, dimensão das juntas, com materiais e componentes disponíveis no mercado.

Esta troca de informações entre os possíveis fornecedores/fabricantes e o arquiteto do projeto pode resultar em mais de uma opção de paginação e/ou qualificar um determinado fornecedor em relação aos demais.

5.1.2 Integração projeto-execução

Na etapa de integração projeto-execução, encontram-se aspectos relacionados à técnica e aspectos relacionados à gestão.

Quanto aos aspectos técnicos, deve-se estar atento às necessidades de ensaios laboratoriais e ensaios de verificação da estanqueidade e comportamento sob cargas uniformemente distribuídas, que são realizados em laboratórios específicos (ex: ITEC, IPT) em protótipos projetados especialmente para os ensaios e idênticos aos que serão utilizados nas

fachadas, tanto no que diz respeito às especificações técnicas quanto no que diz respeito ao sistema de funcionamento e instalação.

As recomendações e especificações dos ensaios deverão ser informadas pelo consultor de fachadas.

Da mesma forma, é necessária a realização de ensaios com componentes como o silicone estrutural utilizado nos caixilhos.

Todos os ensaios devem ser acompanhados por um representante do fornecedor, da construtora, do consultor e do cliente. O laboratório emite um documento relatando como o ensaio foi efetuado e qual o resultado obtido. Com base neste documento, o consultor da fachada emite seu parecer aprovando ou reprovando o material testado.

O ensaio do silicone estrutural analisa o tempo de cura e a adesão do silicone ao metal e ao vidro. Os ensaios são validados pelo representante do fornecedor do silicone e pelo consultor de fachada.

Quanto aos aspectos de gestão, acredita-se que o controle do prazo e da qualidade sejam as áreas de conhecimento de maior importância para este subsistema. É necessário lembrar que a fachada encontra-se no caminho crítico da obra, uma vez que demanda a realização e aprovação de diversas etapas antes do início de sua montagem propriamente dita.

As etapas que antecedem a montagem da fachada seguem relacionadas abaixo com as respectivas recomendações para que sejam atendidos os prazos e a qualidade necessários.

Dando continuidade ao critério de criar um paralelo entre as recomendações desta dissertação com as fases e etapas propostas por Oliveira (2009), seguem as recomendações para a etapa definidas neste trabalho como integração projeto-obra.

Quanto à fase da **Preparação e Execução de Obra (PEO)**, etapa de Contratação de fornecedores/instaladores:

- **Aquisição:** recomenda-se à construtora o conhecimento **da empresa fornecedora da fachada** através de algumas ações: pesquisa das cinco últimas obras realizadas, com o objetivo de questionar aos seus contratantes qual o desempenho deste fornecedor; desenvolvimento de um plano de ação junto ao consultor, a fim de que ocorrências já conhecidas de outras obras não se repitam; exigir do fornecedor a presença em campo de um responsável com poder de decisão, para acompanhamento dos serviços da fachada. Nesta dissertação recomenda-se o envolvimento da construtora, mais especificamente do comprador da construtora, na função de líder do processo.
- O consultor de fachada deverá escrever um documento que determine quais ensaios deverão ser apresentados para os sistemas de fachadas, além de definir os critérios de aceitação da fachada e itens específicos do projeto que não sejam possíveis de serem representados graficamente ou informados no projeto.

Quanto à fase de **Preparação para a Execução da obra (PEO)**, etapa de Detalhamento:

- **Projeto de paginação desenvolvido pelo fornecedor/instalador:** tem a responsabilidade de compatibilizar a paginação da arquitetura com a paginação da produção. É este projeto que deverá definir as medidas de fabricação, tolerâncias, tipos e quantidades de repetições dos módulos de fachada, sejam eles módulos de painéis de concreto, cerâmicas extrudadas, chapas de ACM, módulos unitizados, ou outros tipos de fachada.

Também é neste projeto que se define a padronização dos elementos de fixação e ancoragens; a sequência executiva de montagem que, conseqüentemente, será a sequência executiva de fabricação.

- **Elaboração do projeto de fabricação:** nesta etapa, recomenda-se que sejam realizadas consultas e reuniões com o **arquiteto**, a **construtora** e o **consultor de fachadas**, para que sejam solucionadas todas as interferências entre a fachada e os subsistemas que mantenham interface com ela, e todos os detalhes de vedação, estéticos e funcionais da fachada. É recomendável que a construtora designe um profissional da sua equipe para fazer um *follow up* do detalhamento dos projetos de fabricação.
- **Aprovação do projeto de fabricação:** este deverá ser validado pelo **arquiteto** quanto às especificações relacionadas com a estética, o atendimento às expectativas do cliente e a compatibilização com os projetos das demais disciplinas e com o projeto de fabricação da fachada; pelo **consultor de fachadas** quanto às especificações técnicas (espessura e tipo de liga do alumínio, espessura das placas de ACM, detalhes de fixação, detalhes de vedação); pela **construtora** quanto à sequência de fabricação e montagem.

Com relação à fase de **Preparação para a Execução da obra (PEO)**, etapa de Planejamento para execução:

- **Etapa de Planejamento:** o projeto de fabricação/produção deverá estar integrado ao projeto de logística do canteiro de obras e à equipe de planejamento, para que assim seja considerado o plano de ataque da obra e a sequência executiva de fabricação e montagem. O projeto deve prever a logística operacional: locais de descarga, armazenamento, movimentação dos materiais e componentes, posição e movimentação dos equipamentos de montagem. Para exemplificar, considere que o tipo de fachada selecionada fosse o painel de concreto; é adequado que os painéis estejam armazenados no raio de atuação da grua e os painéis estejam armazenados de acordo com a sequência executiva de montagem na fachada.

Na fase de **Gestão e execução de obras**, mais especificamente etapa de Direção e execução dos trabalhos, as recomendações são:

- **Etapa de fabricação:** nesta etapa, recomenda-se a inspeção periódica durante todas as fases de fabricação e em todos os locais onde estejam se desenvolvendo partes do processo da fabricação dos componentes da fachada (criação de ferramentas especiais de extrusão, extrusão das peças, caixilhos, montantes, ancoragens, fixações em geral, módulos, subestruturas, anodização ou pintura, recebimento dos vidros, entrega na obra, montagem no edifício). A inspeção deve ser realizada pelo **consultor da fachada** e pelo **responsável pela área de qualidade da construtora**. Recomenda-se à construtora que inclua no escopo do consultor de fachadas a inspeção destas fases junto com o seu representante da qualidade. A periodicidade das inspeções deve estar atrelada ao cronograma da obra.
- **Etapa de Instalação:** recomendam-se inspeções periódicas do responsável pela área de qualidade da construtora e do consultor de fachadas após conclusões intermediárias de montagem das fachadas. Para tais inspeções, é necessário que local de instalação tenha demarcações claras sobre o que está concluído e pronto para análise e aceitação, a fim de que o consultor e o representante da qualidade possam declarar se as áreas inspecionadas podem ser consideradas concluídas e aceitas.

As seções das fachadas deverão ser concluídas conforme planejamento no plano de ataque da obra, ou seja, de acordo com sequência executiva de fabricação e montagem prevista, que pode ser: execução e conclusão de elevações completas, elevações por andar ou elevações de andares completos (andar por andar). As seções que forem consideradas substancialmente concluídas poderão ser inspecionadas e aceitas, e deverão receber proteção temporária a fim de não danificar o material aceito.

A proteção temporária deve ser fornecida para todas as partes da fachada consideradas concluídas. Como prática, recomenda-se como mínimo a

montagem de uma proteção de papelão de até 1,5 m de altura em todo o perímetro interior da fachada.

5.1.3 Escopos de projeto e consultoria

Dando sequência ao paralelo das recomendações desta dissertação com as fases e etapas propostas por Oliveira (2009), as propostas para contratação do projeto e consultoria de fachada consideram o desenvolvimento das seguintes etapas:

- Desenvolvimento de Projetos
 - Estudos Preliminares
 - Anteprojeto
 - Projeto básico
- Preparação para execução da obra
 - Contratação de fornecedores/instaladores – Aquisição do sistema
 - Detalhamento construtivo
 - Planejamento para execução
- Gestão e execução da obra
 - Direção e execução dos trabalhos
 - Supervisão técnica

- Estudos Preliminares

Nesta etapa, o projetista/consultor de fachada deverá realizar atividades como:

- Estudo do projeto de arquitetura, a fim de definir os parâmetros iniciais para determinação do sistema de esquadria a ser utilizado, bem como sugestões de modificação nos casos em que os conceitos técnicos ou a relação custo/benefício possam ser melhorados.
- A definição, em conjunto com o arquiteto, das tipologias das esquadrias, cor dos acessórios, especificação dos materiais, vidros e acabamento dos perfis de alumínio (anodização/pintura), etc.
- O cálculo estimado para a determinação das características estruturais dos perfis e das espessuras dos vidros, feito a partir das cargas determinadas no ensaio em Túnel de Vento ou calculadas através dos parâmetros determinados nas normas e na localização da edificação, altura relativa ao terreno, forma e características do entorno.

- Anteprojeto e Projeto básico

Nas etapas de anteprojeto e projeto básico deverão ser realizadas pelo projetista/consultor atividades como:

- Dimensionamento dos perfis de alumínio de acordo com suas características geométricas.
- Elaboração dos projetos de todas as esquadrias contendo informações completas e cortes necessários para sua perfeita interpretação, bem como a elevação das esquadrias com indicação de tipo, medidas, quantidades e localização na obra.

- Verificação e conferência do quantitativo e dimensões das esquadrias apresentadas no projeto de detalhamento do arquiteto e plantas dos pavimentos.
- Especificação técnica dos vidros com as definições de tipo, espessura e cor (monolítico, laminado, temperado); composição dos vidros laminados com informação da espessura e tipo de vidro de cada lâmina, bem como as especificações do PVB (polivinil butiral); definição conjunta com o projetista de ar condicionado dos parâmetros de transmissão fotoenergética, tais como reflexão interna e externa, absorção de energia, coeficiente de sombra, fator solar e de transmissão térmica; descrição da forma de tratamento de borda para cada tipo de vidro; procedimento para recebimento de estocagem e manuseio dos vidros; planilha contendo a quantidade (área – m²), sem perda, por esquadria e de cada tipo de vidro do projeto; estudo do aproveitamento de acordo com a modulação das esquadrias e as placas disponíveis para os diversos tipos de vidro a serem empregados; cálculo das espessuras mínimas segundo as normas pertinentes, de acordo com cada tipo de vidro e sua utilização, segundo a modulação apresentada pelo projeto arquitetônico e as cargas de vento e acidentais no local.
- Aquisição do sistema

Durante a concorrência do fornecimento do sistema de fachada, denominada etapa de aquisição, o projetista/consultor desempenha atividades como:

- Indicação dos fornecedores/instaladores capacitados tecnicamente para fornecimento do sistema e execução da obra, assim como a indicação de fabricantes de componentes e matéria-prima ou de beneficiamento (empresas de extrusão, anodização, fornecedores de alumínio, etc.).
- Avaliação das instalações de outros fornecedores indicados pelo cliente.

- Análise técnica de detalhes principais de linhas próprias apresentadas como alternativa pelos proponentes durante o processo de concorrência.
 - Análise técnica das propostas quanto ao cumprimento dos requisitos relacionadas nos projetos e especificação técnica.
 - Aprovação dos projetos de fabricação das esquadrias de alumínio elaborados pelo fabricante.
 - Indicações de quais ensaios serão exigidos do fornecedor/instalador da fachada.
 - Definição dos parâmetros a serem considerados para o ensaio.
- Detalhamento construtivo

A etapa de detalhamento construtivo consiste na integração entre os projetos de arquitetura, projetos de fachada e projetos de fabricação e montagem. Nesta etapa deverão ser discutidos, projetados, validados e solucionados todos os detalhes construtivos de interface entre os diversos sistemas de fachada (quando houver mais de um), entre os sistemas de fachada e os outros sistemas que fazem interface com a fachada.

O projetista/consultor de fachada deverá analisar criticamente e validar todos os projetos de fabricação e montagem desenvolvidos pelo fornecedor/instalador da fachada.

- Planejamento para execução

O consultor deverá desenvolver as diretrizes para orientar o projeto de fabricação quanto à logística do canteiro de obras e o plano de ataque da obra (sequência executiva de fabricação e montagem). O projeto deve prever locais de descarga, armazenamento, colagem dos vidros (quando

feita no canteiro), movimentação dos materiais e componentes, posição e movimentação dos equipamentos de montagem.

- Direção e execução dos trabalhos

Nesta etapa deverão fazer parte do escopo do projetista/consultor as definições de alinhamento, padronização de medidas, nível, prumo, tolerâncias dimensionais, entre outras, sempre em conjunto com a empresa fornecedora/instaladora e a construtora.

Deverão fazer parte também o acompanhamento dos serviços de fabricação das esquadrias na fábrica da empresa contratada; o acompanhamento dos serviços de instalação dos contramarcos, ancoragens e esquadrias na obra, bem como todos os serviços de vedação das mesmas; o acompanhamento de ensaio de estanqueidade e resistência a cargas distribuídas, bem como a montagem do *mock-up* para os ensaios (feita no laboratório), com a finalidade de verificar o atendimento aos parâmetros que foram estabelecidos pelo próprio consultor quanto às características do *mock-up*. São eles: dimensões das esquadrias, espessura dos perfis, dimensionamento das juntas, elementos de vedações, espessuras dos vidros, sistemas de fixação, etc.

Quanto à supervisão técnica: no escopo do consultor deve constar a necessidade da supervisão técnica, que deverá ser realizada através de inspeções de todos os serviços relacionados à fachada: protótipos, ensaios em laboratórios, inspeção na fábrica, inspeção na montagem. As inspeções devem acontecer periodicamente, de acordo com o cronograma de montagem e/ou quando solicitadas, e devem gerar relatórios, nos quais serão descritos os problemas, os aceites e as soluções do consultor (quando necessário). As inspeções da montagem devem englobar as condições de colagem dos vidros e montagem dos caixilhos, além da verificação de conformidade com o projeto, atendimento às pendências relatadas na visita anterior e outros pontos específicos levantados pelo consultor.

5.2 Resultados obtidos

Os estudos de caso analisados ilustram detalhadamente os principais documentos que fazem parte do processo de projeto. O estudo de caso do empreendimento “R” traz ao leitor o conhecimento das **ocorrências da obra quanto às fachadas**. O estudo de caso do empreendimento “I” apresenta questões relacionadas ao **cumprimento de prazos e à necessidade de inspeção das etapas que antecedem a montagem da fachada na obra** (etapas de fabricação). Já o empreendimento “H” traz ao leitor o relato da **etapa de decisão pelo sistema de fachada**, sendo este sistema uma **inovação tecnológica** para o mercado brasileiro.

O estudo de caso do empreendimento “I” revela as seguintes necessidades:

- 1) integração da etapa de suprimentos e produção;
- 2) inspeções periódicas do consultor de fachada e do representante da qualidade da construtora na fábrica;
- 3) o envolvimento da equipe de produção e qualidade junto à etapa de aquisição do subsistema.

Falhas quanto a essas três questões causaram atrasos no cronograma de montagem e, conseqüentemente, no cronograma da obra.

Se o fornecedor/instalador da caixilharia tivesse sido contratado na fase de desenvolvimento do projeto executivo, muitos erros poderiam ser evitados ou, ao menos, minimizados. Este fornecedor deveria fazer parte das reuniões de projetos, uma vez que, segundo análise das ocorrências relatadas no estudo de caso dos empreendimentos “R” e “H”, os projetos de fabricação deveriam começar a ser desenvolvidos paralelamente aos projetos executivos de

estrutura e arquitetura, assim como deveriam fazer parte da atividade de compatibilização que acontece entre todas as disciplinas.

O estudo de caso “H” demonstra as etapas a serem atendidas antes da tomada de decisão, quando o sistema pelo qual se deseja optar é uma inovação tecnológica para o mercado, o que pode ser pesquisado, questionado e exigido dos fornecedores que oferecem o sistema, e o que efetivamente pode ser testado em laboratórios e como devem ser realizados os ensaios. Demonstra também a importância de visitar obras que já tenham sido executadas no sistema pretendido, estudar o que não deu certo nas obras visitadas e por que, estudar formas de minimizar os riscos dos problemas identificados, de antecipar a contratação do fornecedor/instalador do sistema (para que, assim, o sistema seja desenvolvido de forma conjunta com as disciplinas com as quais possui interface), e integrar a equipe de projetistas do empreendimento à equipe de projetos do fornecedor/instalador do sistema.

Embora os objetos dos estudos de caso sejam muito semelhantes entre si, cada um apresentou peculiaridades, e a análise destas conduziu a autora a escrever as recomendações apresentadas neste capítulo.

5.3 Quanto à consecução dos objetivos

Esta dissertação cumpriu os objetivos a que se propôs da seguinte maneira: analisando como o mercado da construção civil faz a gestão dos projetos de um dos subsistemas de custo mais significativo da obra, que se encontra no caminho crítico da obra e que agrega grande valor ao produto final: a fachada.

O trabalho abordou tanto as referências bibliográficas sobre o funcionamento dos tipos de fachadas mais utilizados por edificações comerciais e corporativas, o desempenho que se espera das mesmas, as exigências das legislações pertinentes.

Tratou também das questões relacionadas às boas práticas do mercado, cercando as responsabilidades e as atividades de cada um dos agentes envolvidos no desenvolvimento do subsistema, desde a concepção do produto, as fases do projeto até as etapas da produção propriamente ditas.

5.4 Sugestões para trabalhos futuros

O tema gestão de projetos de fachada permite enfoques técnicos e de gestão e, conseqüentemente, permite várias linhas de estudos futuros. Dentro do enfoque adotado para este trabalho, que trata de aspectos de gestão do processo de projeto, foram identificadas algumas oportunidades para pesquisas complementares:

- Manual de escopo para contratação de projeto e consultoria de fachada: nas recomendações propostas nesta dissertação, foram feitas algumas proposições para o escopo do projetista e consultor de fachadas. Este tema, se pesquisado com mais profundidade, pode dar origem ao manual de escopo desta modalidade de projeto/serviço.
- Sistemas de fachada: foram apresentados, nesta dissertação, alguns dos sistemas de fachada mais utilizados em edifícios comerciais nos últimos anos. É possível selecionar um dentre tais sistemas apresentados, e realizar uma pesquisa mais detalhada sobre ele.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADESSE, E.; SALGADO, M. S.; Importância do coordenador do projeto na gestão da construção: a visão do empreendedor. In: NUTAU'2006. São Paulo, 2006.

Alternativas tecnológicas para edificações. Coord. de manuais técnicos: Josiane Souza. São Paulo: PINI, 2008. 237p. v.1

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR10821-1:** Esquadrias externas para edificações. Parte 1: Terminologia. Rio de Janeiro, 2011. 13p.

_____**NBR10821-2:** Esquadrias externas para edificações. Parte 2: Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2011. 17p.

_____**NBR10821-3:** Esquadrias externas para edificações. Parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2011. 54p.

_____**NBR 14432:** Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14p.

_____**NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2003. 23p.

_____**NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 221p.

_____**NBR 6123:** Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 2001. 66p.

_____**NBR 15575-1:** Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2010. 52 p.

_____**NBR 15575-4:** Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais externas e internas. Rio de Janeiro, 2010. 51 p.

_____ **NBR 9062:** Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006. 59 p.

_____ **NBR 15845:** Rochas para revestimento – Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2010. 32 p.

_____ **NBR 15846:** Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos. Rio de Janeiro, 2010. 11 p.

_____ **NBR 15446:** Painéis de chapas sólidas de alumínio e painéis de material composto de alumínio utilizados em fachadas e revestimentos arquitetônicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2006. 9 p.

_____ **NBR 7199:** Projeto, execução e aplicações de vidros na construção civil. Rio de Janeiro, 1989. 18 p.

_____ **NBR 9243:** Alumínio e sua ligas – Tratamento de superfície – Determinação da selagem de camadas anódicas - Método da perda de massa. Rio de Janeiro, 2006. 2 p.

_____ **NBR 12613:** Alumínio e suas ligas - Tratamento de superfície - Determinação da selagem de camadas anódicas - Método de absorção de corantes. Rio de Janeiro, 2006. 3 p.

_____ **NBR 12655:** Concreto de cimento Portland - Preparo controle e recebimento – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006. 18 p.

_____ **NBR 7480:** Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro, 2007. 13 p.

_____ **NBR 12609:** Alumínio e suas ligas – Tratamento de superfície – Anodização para fins arquitetônicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 6 p.

_____ **NBR 14125:** Alumínio e suas ligas – tratamento de superfície – Revestimento orgânico para fins arquitetônicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2009. 9p.

Balanço Energético Nacional. – 2011. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. 2011, 267p. Disponível em: <http://ben.epe.gov.br>. Acesso em: 20/05/2011

BARTH, F.; VEFAGO, L.H.M. **Tecnologia de fachadas pré-fabricadas**. Florianópolis: Letras Contemporâneas, 2007. p. 27-51.

CALLEGARI, S.; BARTH, F. Análise da compatibilização de projetos em um edifício residencial multifamiliar em Florianópolis. **In: VI ENCONTRO TECNOLÓGICO DA ENGENHARIA CIVIL E ARQUITETURA**. 6., 23 a 26 de outubro de 2007. Maringá-Paraná. 2007. p. 1-7.

CARAM, R. M.; VANDERELI, P. S.S. **Vidros translúcidos utilizados nas fachadas das edificações e sua preocupação com o conforto ambiental**. [Apresentado na Escola de Engenharia de São Carlos SAP/EESC/USP. Revista Tecnológica] Paraná: 2007 10p.

CARAM, R. M. *et al*; Estudo do ganho de calor em vidros planos e refletivos através de células-teste. **In: IX Encontro Nacional E V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 9. 5., 08 a 10 de agosto de 2007. Ouro Preto – Minas Gerais: 2007. p. 1-10.

CARMODY, J. *et al*. **Residential Windows. A Guide to New Technologies and Energy Performance**. W.W. Norton & Company, New York. London: 2000

CAVALCANTE, R.C.D. **Simulação Energética para análise de arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. 2010. 135p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CEOTTO. Fachadas comerciais no Brasil tendem a ser de granito e vidro. **Revista Rochas de Qualidade**, São Paulo, Edição 214, p. 86, setembro/outubro. 2010.

Consultor de fachadas; **Entrevista/** São Paulo, 09, Nov-2010, São Paulo, 2010/.

Coordenador de projetos; **Entrevista/** São Paulo, empresa Método Engenharia, 20, Set-2009, São Paulo, 2009/.

DUARTE, P.; **Fachadas e sistemas**. São Paulo: Ed. NywGraf , 2008. 42p.

LAMBERTS, R. *et al.* **Eficiência energética na arquitetura**. PW Gráficos e Editores Associados Ltda. São Paulo: 1997 178 p.

ELETROPAULO METROPOLITANA Disponível em:
<<http://www.eletropaulo.com.br>> Acesso em: 20/11/2010

ELETROBRAS. Disponível em: <<http://www.elebras.com>> Acesso em: 25/06/2011

Energy Design Resources. Disponível em:
<<http://www.energydesignresources.com>> Acesso em: 21/11/2011

Environmental Building News. Disponível em: <<http://www.buildinggreen.com>>
>Acesso em: 07/12/2010

Eurostat EUROSTAT HOME. Disponível em:
<<http://www.europa.eu.int/comm/eurostat>>_Acesso em: 18/11/2010

International Organization for Standardization. 7361: Performance standards in building -- Presentation of performance levels of facades made of same-source components. 1996. 9p.

FABRICIO, M. M. **Projeto simultâneo na construção de edifícios**. 2002. 329p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FCAV. **Referencial técnico de certificação**: edifícios do setor de serviços – Processo AQUA. São Paulo: [s. n.], abr. 2008. 241 p.

FLAIN, E.P.; SABBATINI, F.H. Alguns Aspectos da produção de revestimentos de fachadas de edifícios com placas pétreas. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1995. (BT/PCC/147). 20p.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. Implantação da racionalização construtiva na fase de projeto. São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1993. (BT/PCC/94).

FRASCÁ, M.H.B.O. Rochas ornamentais e para revestimento: Variedades, propriedades, uso e conservação. *In: A cadeia produtiva de rochas ornamentais e para revestimentos no estado de São Paulo*. Ed. Páginas & letras.

Gerente de projetos; **Entrevista.**/ São Paulo, empresa Método Engenharia, 21, out-2009, São Paulo, 2009/.

CONSULTOR EM FACHADAS PARA SISTEMAS NÃO ADERIDOS **Entrevista.**/ São Paulo, empresa Método Engenharia, 29, mar-2009, São Paulo, 2009/.

GIAFAROV, P. F.; **Estudo corporativo entre sistema metálico e sistema pré-moldado.**/ São Paulo, empresa Método Engenharia, 24, set- 2008, São Paulo, 2008/. 20p. Não publicado.

GIAFAROV, P. F.; **Edifícios Corporativos.**/ São Paulo, empresa Método Engenharia, 24, set-2008, São Paulo: 2008/. 35p. Não publicado.

GIAFAROV, P. F.; **Revestimento de fachadas.**/ São Paulo, empresa Método Engenharia, 24, set-2008, São Paulo: 2008/. 34p. Não publicado.

GONÇALVES, J. C. S.; DUARTE, D. H. S; Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p. 51-81 out./dez. 2006

Gonçalves, J. O arquiteto tem culpa pelo apagão. **Revista Projeto Design**. São Paulo, Edição 257, julho. 2001. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/artigos/o-arquiteto-tem-culpa-pelo-apagao-energia-sete-09-08-2001.html>> Acesso em 10 Nov. 2009.

Guia **PMBOK®** 3rd edição; Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos; 2004

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHOSON, P.E. Qualidade: cada erro tem seu preço. Tradução de: V.M.C.F. Hachich. **Téchne**, n.1, p.32-4, Nov./Dec. 1992.

HUTTER, E. *Rôle de l'ingénierie technique en construction. Technique de l'ingénierie, revue en ligne, code AG 3310*. 2003.

Lomardo, O arquiteto tem culpa pelo apagão. **Revista Projeto Design**. São Paulo, Edição 257, julho. 2001. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/artigos/o-arquiteto-tem-culpa-pelo-apagao-energia-sete-09-08-2001.html>> Acesso em 10 Nov. 2009.

KAUFMAN, D; **Entrevista**./ São Paulo, 20, set- 2009, São Paulo, 2009/.

KHOURY, J. Curtain Walls. In: KOHN, A. E.; KATZ, P. **Building type basics for office buildings**. New York: John Wiley & Sons, 2002. p. 139-181.

KLEIN, G.M.B.; KLEIN, D.L.; Sistema de fachada ventilada empregando placas cerâmicas retificadas de grês polido. In: II SEMINÁRIO DE PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES, 2., 18 e 19 de novembro DE 2004, Porto Alegre – RS. P. 1-24.

LIU, A. W. **Diretrizes para projetos de edifícios de escritórios**. 2010. 232p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MACHADO, C.C.M. C. **O processo de fabricação e montagem dos painéis da fachada do edifício E-tower São Paulo – estudo de caso**. 2004. 109p. Monografia. (Especialização). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MATEUS, R. F. M. S. **Novas tecnologias construtivas com vista à sustentabilidade da construção**. 2004. 224p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2004.

MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. 1994, 294p. São Paulo. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

MELHADO, S. B. **Coordenação de Projetos de Edificações**. São Paulo. Ed. O Nome da Rosa. 2005. 115p.

OLIVEIRA, L. A. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. 227p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

OLIVEIRA, L. A. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachada de edifício. 2002. 175p.** Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PROCEL. Informações sobre programas de economia de energia. Disponível em:

< <http://www.procelinfo.com.br/>>. Acesso em: 25 abr., 2009.

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. BRASIL. Ministério das Minas e Energia - ELETROBRÁS. **Documentação Básica.** Disponível em: www.eletrobras.gov.br/procel. Acesso em: 02/07/2010

____ Etiqueta de eficiência energética de edificações. Ministério das Minas e Energia / ELETROBRÁS. Rio de Janeiro: 2009. 13p.

____ RTQ-C – REGULAMENTO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS. Ministério das Minas e Energia / ELETROBRÁS. Rio de Janeiro: 2009. 58p.

____ RAC - REGULAMENTO DE AVALIAÇÃO DA CONFORMIDADE DO NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA EDIFÍCIOS COMERCIAIS, DE SERVIÇOS E PÚBLICOS. Ministério das Minas e Energia / ELETROBRÁS. Rio de Janeiro: 2009 47p.

____ Manual de Aplicação dos Regulamentos: RTQ-C e RAC-C. Ministério das Minas e Energia / ELETROBRÁS. Rio de Janeiro: 2009. 157p.

Projetista de fachada. **Revista Técnica.** São Paulo, Edição 142, p. 14-15, janeiro. 2009.

Pilkington Blindex Controlglass Gerenciando energia através do uso consciente do vidro. Disponível em: <<http://www.pilkington.com.br>> Acesso em: 20/09/09.

Pilkington Blindex Controlglass. Controle solar através do envidraçamento. Disponível em: <<http://www.pilkington.com.br>> Acesso em: 20/09/09.

Pilkington Blindex Controlglass. Pilkington products for sustainable architecture. Response to Climate Change. Edição n. 12. 24p. Disponível em: <<http://www.pilkington.com.br>> acesso em: 20/09/09.

POIRAZIS, H; BLOMSTER, A. **Energy and thermal analysis of glazed office buildings using a dynamic energy simulation tool.** Proceedings...Montreal: IBPSA, 2005, P.945-952.

Paiva, Paulo Duarte um dos nomes que mais entende de vidros e eficiência energética. **Revista Finestra**, São Paulo, n. 49, junho. 2007. Disponível em: <<http://www.arcoweb.com.br/entrevista/paulo-duarte-um-dos-02-08-2007.html>> Acesso em 10 Nov. 2009.

REIS, M. N. **Processo de produção e uso do alumínio na construção civil: contribuição à especificação técnica das esquadrias de alumínio.** 2006. 342p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Müller, A; Alarcon, O. E.; Desenvolvimento de um sistema de fachada ventilada com placas cerâmicas de grês porcelanato voltado para a construção civil do Brasil. In: LABMAT, 2005, Florianópolis - SC. P. 354-360.

MOURA, E. Fachadas respirantes. **Revista Técnica.** São Paulo, Edição 144, p. 43-41, março. 2009.

SALGADO, M. S.; Produção arquitetônica e interdisciplinaridade: uma discussão sobre o processo de projeto e a ISO 9001/2000. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1. 10. 18-21 de julho de 2004. São Paulo: 2004. p. 1-16.

SABBATINI, F. H. et. al. Notas de aula da disciplina de Tecnologia da Construção Civil I - PCC 2435. São Paulo: Epusp, 2007. Disponível em <<http://pcc2435.pcc.usp.br/Aulas%20em%20pdf-2006-2007/4-20Vedações%20Verticais/aula%2018%20vedações-v1.pdf>>. Acesso em 14 out. 2009.

SABBATINI, F. H. et. al. Notas de aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais. A industrialização na produção de vedações. – TG-004. São Paulo: Epusp, 2002. 30p.

SABBATINI, F.H. et. al. SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - VEDAÇÕES VERTICAIS. São Paulo: EPUSP-PCC, 1998. 308p.

SILVA, M. M. A. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação.** 2003. 167p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, P. F. G.; DIAS, D.S. **Estudo de viabilidade da aplicação do programa Procel edifica em edifícios comerciais já existentes: Estudo de caso em um edifício comercial de Curitiba.** 2010. 103p. Graduação. Engenharia Elétrica, Universidade Federal do, Curitiba, 2010.

SIQUEIRA JUNIOR, A.A. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de grés porcelanato.** 2003. 199p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo: 2003.

SOUZA, A.L.R. **Preparação e coordenação da execução de obras: transposição da experiência francesa para a construção brasileira de edifícios.** 2001. 440p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001

USGBC. Estados Unidos. Apresenta documentação sobre o LEED. Disponível em: < <http://www.usgbc.org/>>. Acesso em: 14 jul. 2009.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Trad. Daniel Grassi. 3ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2005. 212 p.

YEANG, K. **Ecodesign – A Manual for Ecological Design.** Great Britain: Wiley-Academy, 2008. 499 p.