

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Júlia Weber Reuter

**ANÁLISE DE CONDICIONANTES DE PROJETO E EXECUÇÃO DE FACHADA
VENTILADA EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Santa Cruz do Sul

2020

Júlia Weber Reuter

**ANÁLISE DE CONDICIONANTES DE PROJETO E EXECUÇÃO DE FACHADA
VENTILADA EM EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

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

Orientador: Prof. M.Sc. Eng. Marcus Daniel Friedrich dos Santos

Santa Cruz do Sul

2020

AGRADECIMENTOS

Acredito que essa seja a parte mais importante de um trabalho de conclusão de curso. Um momento de reflexão, lembranças e de agradecimento por toda evolução pessoal e profissional que aconteceu ao decorrer desses cinco anos e meio.

Ao longo do curso de Engenharia Civil, eu tive a oportunidade de aprender com professores e profissionais maravilhosos, verdadeiros mestres que se dedicam todos os dias para que possamos realizar nossos sonhos. Em especial minha gratidão ao mestre e amigo Professor Marcus Daniel, que foi essencial para fechar com chave de ouro esse momento tão esperado da graduação. A todos os professores que eu tive ao longo da vida, meu muito obrigada.

Aos meus queridos chefes e colegas de trabalho Luciano, Carnielo e Marlon por terem me passado tanto conhecimento e grandes valores que levarei para vida.

Gratidão as minhas amigas, que formaram a minha grande família de Santa Cruz do Sul, Maira, Larissa, Pietra, Ângela, Lilyana, Milka e Luisa, sem vocês essa trajetória não teria feito o menor sentido. Ao meu amigo Augusto, por todo apoio e incentivo desse mundo. Aos demais amigos que me ouviram e me ajudaram nos momentos bons e ruins, meu muito obrigada, vocês são extremamente especiais.

Aos meus pais, Carolina e Paulo, que me deram todo o suporte e amor desse mundo ao longo de mais essa etapa. Tudo que eu sou hoje, devo a vocês. A minha querida irmã Camila, por me ensinar a ser uma pessoa mais forte diante de diversas situações. Inspiro-me muito na tua personalidade. Ao meu namorado Bernardo, por ser o melhor parceiro do mundo, mesmo nos momentos mais difíceis. Tu tem toda minha admiração.

Porém, meu maior agradecimento, e também para quem dedico todo esforço posto nesse trabalho, é para minha Vó Dalva. Obrigada por sempre ter sido um exemplo de força e determinação na minha vida. Sem você, nada disso teria acontecido.

Dizem que nossa personalidade é medida a partir das cinco pessoas que mais temos contato. Se isso for realmente verdade, eu sou muito abençoada por ser uma mistura de Dalva, Paulo, Carolina, Camila e Bernardo.

Finalizo com um agradecimento especial a todos que direta ou indiretamente tiveram um papel muito importante nesse período.

RESUMO

As fachadas ventiladas possuem um grande potencial construtivo, porém ainda é um tema com carência de material e novo no contexto de construção brasileira. Esse tipo de fachada tem como característica principal a existência de um espaço intersticial entre a camada de revestimento e a parede que permanentemente ventilada no sentido vertical pelo chamado efeito chaminé. A metodologia baseia-se no acompanhamento, análise e estudo dos projetos e execução da fachada ventilada do Edifício Luciana 250. Foram levantados dados em laboratório para realizar a caracterização do revestimento de porcelanato de fina espessura e *in loco*, com relatório fotográfico, para averiguação da impermeabilização utilizada, testes de arrancamento da fixação química na alvenaria e da fixação mecânica em elementos de concreto armado, e acompanhamento da execução da montagem do sistema, com ênfase na fixação do porcelanato na subestrutura de fixação e em acabamentos gerais. Visto que para a realização de projeto e execução de fachadas ventiladas, até o presente momento, não existe norma brasileira específica para este assunto. Os resultados obtidos mostram que o sistema de fachada ventilada proporciona diversos benefícios como produtividade, facilidade de limpeza, processos de execução rápidos, sustentabilidade e vantagens a longo prazo como diminuição de patologias na fachada. A impermeabilização do substrato é mais uma boa prática a ser executada para garantir a estanqueidade do sistema. O melhor resultado obtido no teste de arrancamento foi a fixação mecânica em elementos de concreto armado. Em relação ao porcelanato de fina espessura, os resultados de absorção de água se mostraram ótimos, de acordo com o que estava previsto, sendo do grupo BIa com absorção inferior a 0,5%. A placa teve resultados de módulo de resistência a flexão acima de 40 MPa, sendo um resultado satisfatório para a classificação da placa. Tendo em vista o maior número de vantagens em relação a desvantagens da implantação desse sistema construtivo, conclui-se que a curto prazo é um grande investimento que deve ser feito, impactando no orçamento da obra. Porém a longo prazo, o investimento se paga frente a grandes benefícios provindos dessa tecnologia. Assim, buscou-se analisar e mostrar as boas práticas executivas relacionadas a esse sistema que, aliada a uma mão de obra qualificada e materiais específicos e de qualidade, pode ser facilmente adotada para qualquer funcionalidade. A experiência de acompanhar a execução da obra, estudo de caso do presente trabalho, foi uma grande oportunidade para visualizar como essa tecnologia agrega na valorização do empreendimento.

Palavras-chave: Fachadas ventiladas; Porcelanato; Chumbador químico, Edifício Residencial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desempenho das fachadas	17
Figura 2 – Fachada Cortina	19
Figura 3 – Fachada ventilada com placas rejuntadas.....	20
Figura 4 – Fachadas ventiladas rejuntadas adaptadas quanto ao clima	20
Figura 5 – Fachada ventilada com placas isoladas	21
Figura 6 – Funcionamento de uma fachada ventilada	22
Figura 7 – Seção transversal de uma <i>Cavity Wall</i> em alvenaria.....	23
Figura 8 - Edifício Bela Cintra, São Paulo.....	25
Figura 9 - Centro Empresarial Senado, Rio de Janeiro.....	26
Figura 10 - Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre.....	26
Figura 11- Pátio Brasil Shopping, Brasília.....	27
Figura 12 – Reabilitação do Edifício Fonsanta, Barcelona	27
Figura 13 – Edifício funerário L’Hospitalet de Llobregat, Catalunha.....	28
Figura 14 – Descrição do sistema de fachada ventilada	28
Figura 15 – Isolamento térmico em lã de rocha aplicado em fachada ventilada.....	33
Figura 16 – Trocas de calor em edifícios e efeito estufa.....	35
Figura 17 - Escalonamento das diferenças de pressões no interior de um ambiente por.....	36
Figura 18 - Vento e rugosidade do terreno.....	36
Figura 19 – Ventilação natural em edifícios	37
Figura 20 – Ventilação mecânica com recuperação de calor	38
Figura 21– Fixador com ancoragem química.....	40
Figura 22 - Placas fixadas com ancoragens pontuais diretamente sobre a alvenaria	41
Figura 23 - Formas de fixação pontual	42
Figura 24 – Fixação por grampos com e sem sobreposição.....	43
Figura 25 - Detalhes de ancoragens por cavilhas	43
Figura 26 - Parafuso com porca sextavada e arruelas.....	44
Figura 27 – Sistemas móveis de fixação na horizontal e vertical.....	46
Figura 28 – Penetração da água pelo efeito da gravidade	48
Figura 29 – Penetração da água por quantidade de movimento e por tensão superficial	48
Figura 30 – Penetração da água por capilaridade	49
Figura 31 – Controle da penetração de água a partir da ação do vento	49
Figura 32 – Exemplos de rochas ornamentais	54

Figura 33 - Fachada ventilada com revestimento Laminum (porcelanato técnico).....	57
Figura 34 – Tipos de dimensões faciais	58
Figura 35 – Tipos de geometrias	59
Figura 36 – Preparos da base.....	60
Figura 37 – Propagação do fogo na cavidade.....	61
Figura 38 - Influência de saliências horizontais na projeção das chamas pela fachada	62
Figura 39 - Compartimentação vertical de fachada envidraçada.....	64
Figura 40 – Deformações que o revestimento não aderido está sujeito	66
Figura 41 – Isopletas de velocidade básica V_0 (m/s)	67
Figura 42 – Corpo-de-prova para ensaio de absorção de água.....	71
Figura 43 – Secagem dos corpos-de-prova em estufa (110 ± 5 °C)	71
Figura 44 – Determinação da massa (m_1) após resfriamento das placas	72
Figura 45 – Imersão das placas para ensaio de absorção	72
Figura 46 – Determinação da massa (m_2) com as placas saturadas.....	73
Figura 47 – Aparelho para determinar o módulo de resistência à flexão e a carga de	74
Figura 48 – Dispositivo para obtenção da carga de ruptura e módulo de resistência a	75
Figura 49 – Método do cachimbo (RILEM)	77
Figura 50 – Método do cachimbo (CSTC).....	78
Figura 51 – Etapas de execução do Método do Cachimbo	78
Figura 52 – Análise dos substratos para ensaio de arrancamento	79
Figura 53 – Chumbador com olhal utilizado no ensaio	80
Figura 54 – Equipamento utilizado para o ensaio de arrancamento	80
Figura 55 – Localização do Edifício Luciana 250.....	82
Figura 56 – Fachada do empreendimento Luciana 250	83
Figura 57 – Detalhes da peça de porcelanato	83
Figura 58 – Porcelanato utilizado na fachada ventilada.....	84
Figura 59 – Espessura da placa.....	84
Figura 60 – Ruptura da placa de porcelanato	88
Figura 61 – Verificação da ruptura da placa	89
Figura 62 – Aplicação do método do cachimbo no produto Sto Gold Coat 80265.....	91
Figura 63 – Aplicação do método do cachimbo no produto Viaplus 7000.....	92
Figura 64 – Bloco cerâmico estrutural 18MPa.....	93
Figura 65 – Chumbador químico	93
Figura 66 – Barra rosqueada e camisa de injeção Ejot Fey para fixação química	94

Figura 67 – Fixação pontual testada nos blocos cerâmicos estruturais de 18MPa.....	95
Figura 68 – Ruptura ocorrida nos blocos de 18MPa	95
Figura 69 – Chumbador químico após o teste de arrancamento.....	96
Figura 70 – Bloco cerâmico estrutural 7MPa.....	96
Figura 71 – Análise de ruptura ocorrida nos blocos de 7MPa	97
Figura 72 – Chumbador mecânico Ejot BA-V de aço galvanizado.....	98
Figura 73 – Fixação pontual de chumbador mecânico em elemento de concreto armado	99
Figura 74 – Teste de arrancamento a) pilar e b) viga	99
Figura 75 – Andaime fachadeiro utilizado na obra.....	101
Figura 76 – Estocagem de materiais	101
Figura 77 – Estrutura da organização dos serviços executados	102
Figura 78 – Concepção da fachada ventilada com porcelanato oculto	102
Figura 79 – Detalhes do projeto da estrutura de elevação da fachada ventilada	103
Figura 80 – Cantoneiras utilizadas para fixações pontuais	104
Figura 81 – Fixação das cantoneiras.....	104
Figura 82 – Fixação dos perfis metálicos verticais.....	105
Figura 83 – Detalhe comparativo da interface esquadria, substrato e revestimento	105
Figura 84 – Detalhes construtivos	106
Figura 85 – Material isolante de lã de rocha da Rockwool.....	107
Figura 86 – Âncora de suporte de isolamento EJOT DH.....	107
Figura 87 – Concepção da fachada ventilada com o material isolante de lã de rocha.....	108
Figura 88 – Detalhes do isolante térmico de lã de rocha	108
Figura 89 – Detalhes do material isolante de lã de rocha	109
Figura 90 – Projeto de paginação da fachada principal	109
Figura 91 – Detalhe da tela de fibra de vidro aderida no revestimento	110
Figura 92 – Máquina automatizada para corte de porcelanato.....	111
Figura 93 – Espaçador das placas de porcelanato	112
Figura 94 – Elementos da fachada ventilada.....	112
Figura 95 – Placa de porcelanato com coloração diferente.....	113
Figura 96 – Detalhes da finalização de uma das fachadas do edifício.....	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Grau de confiabilidade do substrato como base de ancoragens para sistema de revestimento não aderido	30
Quadro 2 - Tipologias de estruturas secundárias de fixação	39
Quadro 3 – Tipos de junta	47
Quadro 4 - Formas e fixações para revestimentos cerâmicos	51
Quadro 5 - Definição de categorias de uso para determinadas ações de impacto	65
Quadro 6 – Níveis de desempenho que as paredes de fachadas devem apresentar quando solicitadas horizontalmente	68
Quadro 7 – Valores limites para o ensaio de absorção de água	73
Quadro 8 – Dimensões dos apoios e da barra em milímetros	74
Quadro 9 – Requisitos para aceitação do porcelanato de acordo com a determinação da.....	76
Quadro 10 – Grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação	85
Quadro 11 – Análise do produto Sto <i>Gold Coat</i> 80265 – resultados em ml.....	90
Quadro 12 – Análise do produto Viaplus 7000 – resultados em ml.....	90
Quadro 13 – Resultados do teste de arrancamento em blocos de 18MPa.....	94
Quadro 14 – Resultados do teste de arrancamento em blocos de 7MPa.....	97
Quadro 15 – Resultados do teste de arrancamento em elementos de concreto armado	98

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de materiais de isolamento térmico	31
Tabela 2 – Propriedades físicas dos porcelanatos técnicos e esmaltados	56
Tabela 3 – Absorção de água das placas ensaiadas	86
Tabela 4 – Forças de ruptura e módulo de resistência a flexão das placas	87
Tabela 5 – Recomendações do fabricante para fixação do chumbador químico	94
Tabela 6 – Recomendações do fabricante para fixação do chumbador mecânico	98

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Área de pesquisa.....	13
1.2 Limitação da pesquisa.....	13
1.3 Objetivo geral e específicos	13
1.3.1 Objetivo geral	13
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
1.4 Justificativa.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Generalidades sobre fachadas	16
2.2 Tipos de fachadas não-aderidas.....	18
2.2.1 Fachada cortina.....	18
2.2.2 Fachada ventilada	19
2.3 Considerações iniciais sobre fachadas ventiladas	21
2.4 Breve histórico da origem construtiva.....	23
2.5 Fachadas ventiladas no Brasil e na Europa	24
2.6 Descrição do sistema	28
2.6.1 Base suporte de fixação (substrato)	29
2.6.2 Isolante térmico	30
2.6.2.1 Poliuretano projetado (PUR)	31
2.6.2.2 Poliestireno extrudido (XPS).....	32
2.6.2.3 Poliestireno expandido (EPS).....	32
2.6.2.4 Lã de vidro	33
2.6.2.5 Lã de rocha	33
2.6.3 Câmara-de-ar	33
2.6.3.1 Ventilação natural	34
2.6.3.2 Ventilação mecânica	37
2.6.4 Diferenciação de sistemas de fixação	38
2.6.5 Dispositivos de fixação	39
2.6.5.1 Dispositivos de fixação por adesão química.....	40
2.6.5.2 Dispositivos de fixação mecânica	41
2.6.5.2.1 Fixação pontual	41
2.6.5.2.2 Fixação linear	45

2.6.5.2.3 Fixação por encaixe	46
2.6.5.2.4 Sistemas móveis	46
2.6.6 Juntas entre elementos de revestimento	46
2.6.7 Revestimento exterior	50
2.6.7.1 Cerâmico	50
2.6.7.2 Fenólico	51
2.6.7.3 Vidro	52
2.6.7.4 Metal	52
2.6.7.5 Naturocimento	52
2.6.7.6 Concreto.....	53
2.6.7.7 Rocha natural	53
2.6.7.8 Caracterização do revestimento porcelanato	55
2.6.7.8.1 Porcelanato de fina espessura	56
2.6.8 Geometria dos revestimentos	58
2.7 Impermeabilização do substrato.....	59
2.8 Comportamento em situação de incêndio.....	60
2.9 Esforços atuantes.....	64
2.9.1 Peso próprio.....	64
2.9.2 Cargas acidentais.....	65
2.9.3 Movimentações estruturais	66
2.9.4 Vento.....	66
3 METODOLOGIA	69
3.1 Caracterização da pesquisa.....	70
3.2 Ensaio realizado em laboratório: caracterização do revestimento de porcelanato de fina espessura	70
3.2.1 Absorção de água.....	70
3.2.2 Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão	73
3.3 Ensaio realizado <i>in loco</i>	76
3.3.1 Análise da impermeabilização do substrato	76
3.3.1.1 Ensaio de permeabilidade pelo método do cachimbo.....	76
3.3.2 Teste de arrancamento de chumbadores químicos na alvenaria e em elementos de concreto armado	79
3.3.3 Análise do projeto e execução da fachada	81
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	82

4.1 Apresentação do estudo de caso.....	82
4.2 Caracterização das placas de porcelanato de fina espessura.....	83
4.2.1 Ensaio de absorção de água.....	85
4.2.2 Ensaio de flexão por carregamento em três pontos.....	87
4.3 Análise da impermeabilização do substrato	89
4.4 Teste de arrancamento	92
4.5 Acompanhamento da execução da fachada ventilada do Edifício Luciana 250.....	100
4.5.1 Organização e logística.....	100
4.5.2 Estrutura de suporte	102
4.5.3 Material isolante de lã de rocha	106
4.5.4 Revestimento com placa de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura .	109
5 CONCLUSÕES	114
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	116
REFERÊNCIAS.....	117

1 INTRODUÇÃO

Engenharia é sinônimo de inovação e evolução de tecnologias, necessitando assim de uma constante busca por soluções sustentáveis, econômicas e com qualidade, principalmente dentro da construção civil, a qual gera um grande impacto na sociedade como um todo. Partindo desta linha de pensamento, coloca-se em evidência as fachadas dos edifícios, que por sua vez são o elemento de valorização do empreendimento, ou seja, o primeiro impacto, o qual deve ser agradável esteticamente.

Muito além de visual, são as fachadas que garantem o conforto dos usuários, tanto térmico quanto acústico. Por se tratarem de elementos que ficam expostos às intempéries e trabalham para garantir o bom desempenho da estrutura, seu estudo se torna cada vez mais complexo, apresentando especificações rigorosas quanto a utilização de revestimentos e técnicas construtivas. Em um cenário de tecnologia, design e funcionalidade, apresenta-se um sistema construtivo inovador: as fachadas ventiladas.

Quando esta técnica foi elaborada nos anos 70, tinha-se como principal objetivo a necessidade de redução de custos com a refrigeração e a calefação, auxiliando no comportamento térmico e de estanqueidade das edificações. Este sistema vem sendo empregado com grande frequência na Europa ao longo dos anos, pelo fato de apresentar vantagens como redução considerável do prazo de obra, facilidade de manutenção e limpeza da fachada, capacidade de transformação e reposição de placas danificadas.

Segundo Gerolla e Ferreira (2013) nas fachadas ventiladas o desempenho térmico se alia à eficiência e produtividade da construção. Os autores complementam que em locais com climas quentes como o Brasil, são beneficiados pelo isolamento térmico utilizado no processo de construção e pela eficiência na preservação da fachada. Porém de acordo com estudos mais recentes, apresenta-se controvérsia no contexto da segurança contra incêndios, na medida em que lhe está associado um aumento do risco de propagação do mesmo (DIREITO, 2011).

A não existência de uma norma brasileira para dar suporte aos projetistas para desenvolver o dimensionamento e planejamento da execução dificulta a utilização dessa técnica (MOURA, 2009). Esse sistema ainda é um tópico pouco estudado em âmbito nacional, porém já é implantado em algumas regiões, principalmente em edifícios comerciais.

1.1 Área de pesquisa

A pesquisa do presente trabalho acadêmico se desenvolve na área de fachadas não-aderidas, com foco em análise de projeto e execução de fachada ventilada com placas de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura.

1.2 Limitação da pesquisa

O escopo deste trabalho se limita a evidenciar o estudo aprofundado de fachadas ventiladas revestidas com placas de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura, a fim de analisar o projeto e execução da fachada ventilada de um edifício residencial localizado no Rio Grande do Sul.

1.3 Objetivo geral e específicos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é estudar o tema de fachadas ventiladas com ênfase em revestimento de placas de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, foram definidos os objetivos específicos apresentados abaixo:

- Analisar os projetos referentes a fachada ventilada de um edifício residencial localizado em Porto Alegre, bem como acompanhar sua execução;
- Verificar, a partir da execução da fachada, as boas práticas referentes a construção desse sistema;
- Averiguar a resistência ao arrancamento da fixação química e mecânica utilizada no sistema de fachada em estudo;
- Analisar a caracterização da placa de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura em relação as normativas brasileiras;

- Concluir em relação às características específicas encontradas na literatura acerca das fachadas ventiladas e os resultados obtidos.

1.4 Justificativa

Segundo Brito (2010), o conjunto de fachada e cobertura desenvolve um papel fundamental para a eficiência energética dos edifícios. Portanto, demonstra-se a importância do papel da fachada para a construção. A fachada é considerada um sistema isolado, desenvolvendo autonomia em relação a estrutura. Necessita-se estabelecer fatores de qualidade como desempenho, durabilidade, economia, flexibilização para transformações, facilidade de manutenção e reparos, sendo considerados itens principais na escolha do tipo de fachada (RIBEIRO, 2010). A partir da busca por inovações, tanto na área de desempenho dos edifícios quanto na área do design, foram desenvolvidas diversas tecnologias de sistemas de fachadas, desde aderidas à não aderidas.

Dessa forma se coloca em evidência o sistema de fachadas ventiladas, caracterizado como sistema de revestimentos não-aderidos. Embora ainda pouco utilizado em território brasileiro, é um sistema que visa desempenho acústico, térmico e energético, exercendo o que propõe a norma brasileira de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575:2013. O estudo se justifica principalmente devido a essa tecnologia estar ganhando mais espaço, embora seja mais utilizado em prédios comerciais e hospitais, que objetivam a eficiência energética (SOUSA *et al.*, 2016).

O Brasil, por ser um país tropical, é beneficiado por esse sistema, em razão da sua vantagem com conforto térmico, conseqüentemente diminuindo o consumo energético das construções. Esse sistema possui tendência mais forte na Europa, dispoñdo de ampla atuação na área de *retrofit*, inclusive em edifícios residenciais (MOURA, 2009). Apesar de ter tendência mais forte no norte da Europa, nos últimos anos tem sido mais explorado e investido no Brasil, resultando num expressivo montante de obras já executadas.

A primeira barreira que é encontrada quando o assunto é fachada ventilada, consiste na não existência de normativas e regulamentações brasileiras para dar suporte aos projetistas, dificultando a realização do projeto e sua posterior execução. Na Alemanha por exemplo, dispõe-se da norma DIN 18516: Teil 1, que estabelece considerações gerais em relação ao projeto, execução, cargas atuantes na estrutura e realização de ensaios. No entanto no caso do Brasil, em função das condições climáticas de cunho tropical, as normas de países nórdicos ou europeus não podem ser aplicadas total ou integralmente em projetos de âmbito nacional.

Colocando em evidência a importância do correto dimensionamento da estrutura e o conhecimento das cargas atuantes na edificação, é necessário que haja uma base de dados precisa para evitar problemas patológicos tanto nos revestimentos quanto na estrutura.

Em virtude do que foi exposto acima, é necessário que sejam desenvolvidos estudos aprofundados sobre o tema pois, o sistema construtivo se mostra como uma opção inovadora e funcional, mas ao mesmo tempo engenheiros e arquitetos se veem dependentes de manuais técnicos oferecidos por fabricantes, os quais não possuem uma metodologia precisa para verificação dos componentes da fachada. A problemática do presente estudo visa expandir a análise do sistema construtivo de fachadas ventiladas em relação ao dimensionamento, escolha do revestimento, comportamento mecânico, vantagens, desvantagens, projeto e execução de um edifício residencial localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico será apresentado sobre a origem da fachada ventilada, bem como revestimentos, método construtivo, comportamento em situação de incêndio, aprofundando-se em subtópicos sobre revestimento de placas de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura.

2.1 Generalidades sobre fachadas

Desde os primórdios, a partir de conceitos expostos por Sousa *et al.* (2016), o homem tem a necessidade de se proteger de agentes externos e a capacidade de pensar em como fazê-lo. As primeiras habitações construídas, depois de utilizar proteções de cunho natural como cavernas, por exemplo, eram de materiais provenientes da natureza, ou seja, do meio em que viviam.

A primeira contextualização de fachada pode ser descrita como peles de animais ou folhas grandes que envolviam uma estrutura portante, isolando assim o interior do exterior (SOUSA *et al.*, 2016). O autor evidencia que a medida em que as tecnologias foram avançando, o projeto de fachadas foi se tornando cada vez mais complexo.

De acordo com Mendes (2009), no início dos anos 40 a solução construtiva para fachadas era utilizar paredes de grande espessura, em materiais como pedra ou tijolo maciço. Porém ao longo dos anos essa concepção vem mudando com o surgimento de novas tecnologias e a grande necessidade de garantir exigências de conforto térmico, acústico e higrotérmico nas construções. Assim, apresentou-se ao longo dos anos técnicas construtivas em relação a introdução de parede dupla e redução da espessura e da massa dos materiais.

Para o autor Siqueira Junior (2003), a fachada juntamente com a cobertura, constitui a proteção do edifício, sendo assim, responsável pela manutenção das condições internas como por exemplo segurança estrutural, privacidade dos usuários, conforto térmico e acústico. Em seus estudos, Mendes (2009) expõe a fachada como o elemento principal de valorização do empreendimento, desta forma a escolha do sistema construtivo aplicado é de extrema importância para garantir o desempenho final e evitar a ocorrência de anomalias. Ribeiro (2010) mostra em seu estudo que no momento em que a fachada se encontra exposta a ação de intempéries, a mesma é solicitada por movimentos como de contração e dilatação predominantemente nos revestimentos. Para Cunha (2006) existem dez principais agentes atuantes sobre as fachadas externas:

- Forças e cargas de impacto;

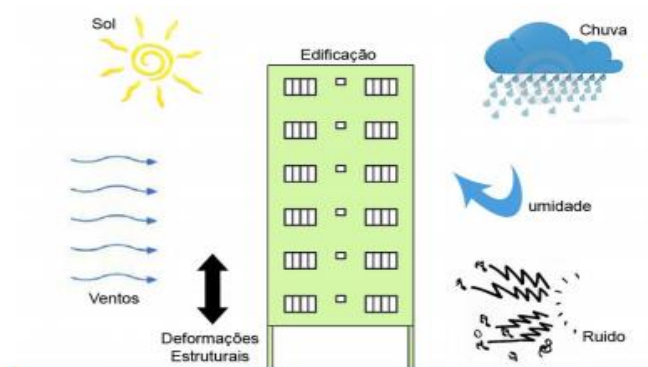
- Fogo;
- Ar e gases;
- Umidade;
- Poeira;
- Plantas e microrganismos;
- Temperatura ambiente;
- Radiação;
- Luz e vibrações.

Tendo em vista os agentes atuantes nas fachadas, as empresas ao longo das últimas décadas procuram soluções que aliam a valorização do design do edifício, a atuação frente às solicitações apresentadas, a produtividade e a redução da probabilidade de ocorrência de patologias.

Conforme o que foi exposto, é necessário identificar os agentes de degradação que atuam sobre uma edificação, pois Mendes (2009) explica que as fachadas são um elemento de transição do exterior para o interior, a degradação da composição e propriedades dos produtos, ao longo do tempo, configura-se na redução do desempenho e de exigências mínimas requeridas. A fachada deve garantir seu desempenho mínimo mesmo frente a grandes oscilações de parâmetros ambientais.

Sousa *et al.* (2016) complementa que a partir de um projeto adequado e planejamento, pode-se potencializar os ganhos com a superfície que tem contato direto com intempéries. Trabalha-se com entrada de iluminação natural, ventilação e ganhos energéticos, a partir do estudo aprofundado de fachadas e escolha do sistema correto para determinada região e funcionalidade. A Figura 1 apresenta o esquema de desempenho das fachadas.

Figura 1 – Desempenho das fachadas



Fonte: Maciel, 2013.

2.2 Tipos de fachadas não-aderidas

Para a compreensão deste trabalho, é necessário realizar algumas definições preliminares quanto os diferentes tipos de fachadas não-aderidas. As três tipologias mais utilizadas na literatura são: fachada cortina, fachada ventilada com placas isoladas e com placas rejuntadas.

A primeira definição a ser comentada é que as fachadas ventiladas não devem ser confundidas com as fachadas cortinas, e as duas são totalmente diferentes do contexto de fachadas convencionais. O ponto em que ambos os sistemas comentados possuem em comum, é que criam uma estrutura independente e separada por uma certa distância do edifício (MOURA, 2009).

Nas palavras de Kiss (1999), a fachada ventilada tem como característica principal “a existência de um espaço intersticial entre a camada de revestimento e a parede que permanentemente ventilada no sentido vertical pelo chamado efeito chaminé (convecção)”. Assumindo que as fachadas ventiladas são uma vertente do chamado de sistema de fachada cortina, segundo o entendimento de Maciel (2013), ambas são um sistema não-aderido, que utiliza *inserts* metálicos ou uma subestrutura metálica para fixar os revestimentos. Para o autor, nas fachadas ventiladas o ar se renova constantemente, conseqüentemente toda fachada ventilada se caracteriza por ser fachada cortina, porém o inverso não é verdadeiro.

2.2.1 Fachada cortina

Em 1883 surgia o primeiro arranha céu que introduziu o conceito de fachada-cortina, o edifício *Home Insurance Building* localizado em Chicago, todo executado em estrutura de aço (ALLEN, 1990). Ainda segundo o autor, o mesmo era constituído de um revestimento exterior, construído em alvenaria, apoiado na fundação. O termo fachada cortina (*Curtain Wall*) deriva do fato da semelhança do edifício estar envolto em uma cortina esbelta e que possui um caimento que cobre a estrutura do edifício

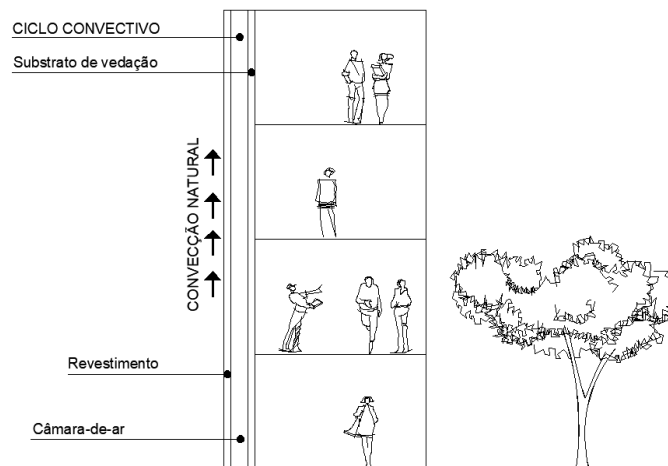
A norma brasileira NBR 10820:1989 define fachada cortina como “caixilhos interligados e estruturados com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou da largura na fachada da edificação, sem interrupção pelo menos por dois pavimentos” e a norma americana ASTM E631:1993 como “parede exterior não aderida, segura e suportada por membros estruturais do edifício”. No entendimento de Direito (2011), pode-se definir fachada cortina como um sistema construtivo que pode ser constituído de placas ou

painéis fixos na região exterior à base da subestrutura auxiliar, admitindo-se um revestimento não aderido.

Neste sistema construtivo não existem aberturas entre as peças, portanto esta solução evita a penetração da umidade dispondo de uma caixa-de-ar formada por um paramento exterior e um interior (SOUSA, 2010). Esta caixa-de-ar é estanque ou não ventilada, onde o revestimento exterior faz a proteção contra o ar, não possuindo aberturas que conectem o ar que existe dentro da caixa com o ar exterior (DIREITO, 2011).

Camposinhos (2007) aponta que a cavidade que envolve toda a estrutura do edifício, pode ou não ser preenchida parcialmente. Pode-se citar como funções da caixa-de-ar a interrupção da capilaridade e a drenagem por gravidade. Direito (2011) complementa que esta caixa-de-ar mencionada deve possuir na base dispositivos de descarga da água para o exterior, para eventuais evacuações. Como é exemplificado na Figura 2, existe a convecção natural fora da fachada e dentro ocorre um ciclo de convecção, não ocorrendo a renovação do ar.

Figura 2 – Fachada Cortina



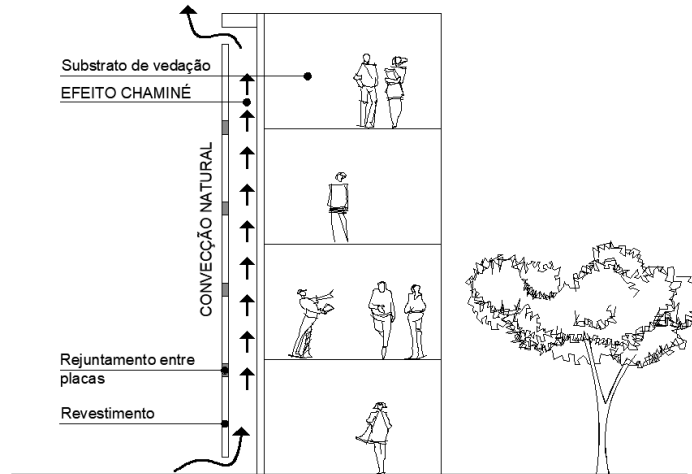
Fonte: adaptado de Sanjuan *et al.*, 2011.

2.2.2 Fachada ventilada

No caso das fachadas ventiladas, citam-se dois sistemas: com placas rejuntadas e com placas isoladas. A fachada ventilada com placas rejuntadas, apresenta um grande painel solidificado. Suas extremidades superior e inferior possuem aberturas frontais, ocorrendo assim o chamado efeito chaminé, ou seja, a circulação de ar na cavidade entre o revestimento e o substrato. Ribeiro (2010) cita a caracterização da fachada ventilada com placas rejuntadas pelo

afastamento entre suporte e revestimento formando uma caixa-de-ar a qual possibilita a convecção natural, conforme está registrado na Figura 3.

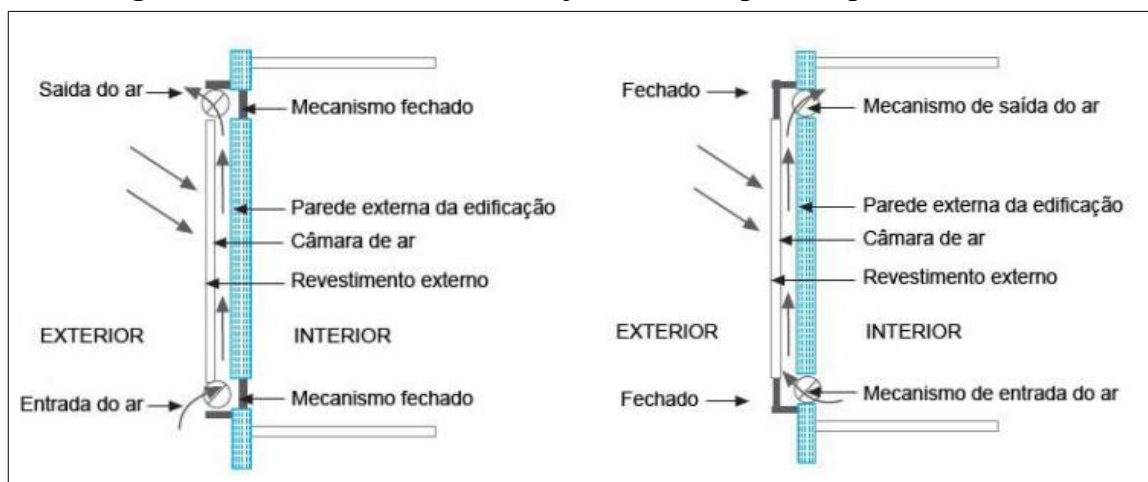
Figura 3 – Fachada ventilada com placas rejuntadas



Fonte: adaptado de Sanjuan *et al.*, 2011.

Deve-se comentar que esse tipo de fachada pode ser executada de duas formas, interna ou externamente, ocorrendo devido as adaptações com os climas de determinada região, aliada a dispositivos de abertura e fechamento das captações de ar. Esse sistema propicia a separação horizontal dos pavimentos, exercendo um papel fundamental como barreira contra propagação do fogo e fumaça em situação de incêndio (SIQUEIRA JUNIOR, 2003). Visualiza-se na Figura 4 o que foi mencionado acima sobre as adaptações de dispositivos de abertura e fechamento em relação ao clima e em relação a segurança em situações de incêndio.

Figura 4 – Fachadas ventiladas rejuntadas adaptadas quanto ao clima

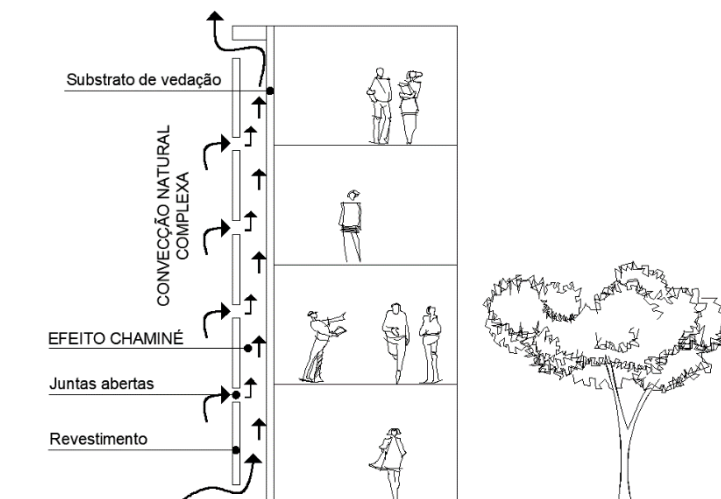


Fonte: Maciel, 2013.

O outro sistema mencionado, de fachadas ventiladas com placas isoladas é definido como revestimento não aderido, porém na composição há painéis fixados numa subestrutura de alumínio independentes à parede de suporte, criando uma cavidade de ventilação total interior. Segundo Sahade (2017) esse sistema construtivo “utiliza diferentes capas (camadas de revestimento), que criam uma ventilação interposta em seu interior”. A diferença principal desta para a de placas rejuntadas, é que as placas isoladas não possuem revestimento, permitindo a convecção natural completa constituindo uma fachada completamente ventilada.

Na dissertação realizada por Direito (2011) sobre o estudo da segurança contra incêndio em fachadas ventiladas, a autora deixa explícito que o sistema de juntas abertas devem ser evitados em situações de climáticas extremas, pelo fato de que o mesmo não oferece proteção adequada contra a ação da chuva. Na Figura 5, pode-se observar um desenho representativo de uma fachada ventilada com placas isoladas para melhor interpretação do sistema.

Figura 5 – Fachada ventilada com placas isoladas



Fonte: adaptado de Sanjuan *et al.*, 2011.

2.3 Considerações iniciais sobre fachadas ventiladas

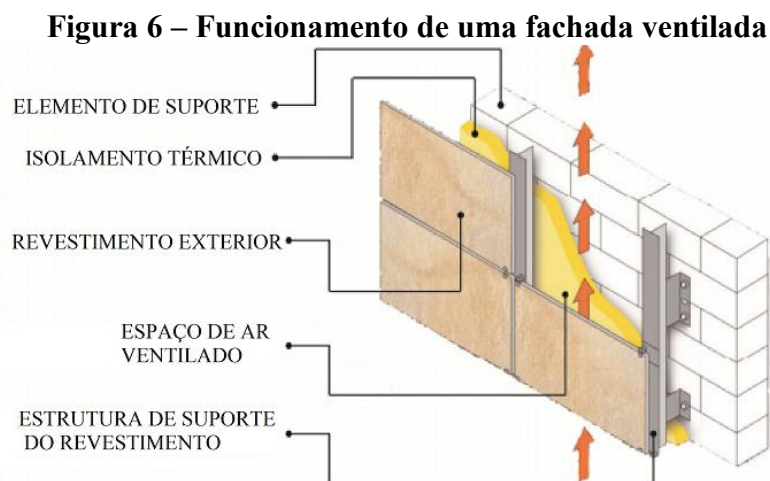
No hemisfério norte, as fachadas ventiladas são utilizadas como solução para preservação da estrutura e prolongação da vida útil do empreendimento, através da “capa” de proteção que envolve o edifício. Está sendo mais disseminado no mercado brasileiro nos últimos anos, principalmente para edifícios comerciais de alto padrão. Essa técnica construtiva, por se caracterizar pela introdução da camada de ar, atinge uma vantagem em relação a isolamento térmica e conseqüentemente a eficiência energética. Os revestimentos são diversos e de variáveis espessuras e dimensões, os quais são fixados mecanicamente através de estruturas,

como por exemplo estruturas metálicas, ou apenas por fixações pontuais. Outro fator de caracterização das fachadas ventiladas é a adição de isolantes térmicos entre o substrato e o revestimento (ROCHA, 2011).

Quando comparado a revestimentos exteriores tradicionais, as fachadas ventiladas apresentam mais vantagens, como por exemplo a diminuição de aparecimentos patológicos, redução do consumo energético devido a utilização de isolante térmico, melhorias no isolamento acústico, redução de gastos com manutenção, alta produtividade, redução da pressão do vento na vedação interna e estanqueidade (RIBEIRO 2010; ROCHA 2011). De acordo com Sousa (2010), em razão da fachada ventilada criar uma estrutura separada da construção, a mesma se torna um sistema vantajoso para reabilitação de edifícios muito antigos ou com problemas patológicos. Além de proteger de intempéries, oferece funcionalidade e produtividade na construção.

Porém, como apresenta o autor Ribeiro (2010), este mesmo sistema de fachada que apresenta diversas vantagens, possui algumas limitações. Pode-se citar como desvantagens a necessidade de mão-de-obra especializada e qualificada para desenvolver o processo de montagem, custos iniciais elevados quando comparados aos revestimentos exteriores tradicionais, exigência de um projeto específico e detalhado e o mais importante, a ausência de normas e regulamentos de desempenho que realizem a padronização da produção e processo de montagem.

Para Kiss (1999), “a principal diferença da fachada ventilada para outros sistemas de revestimento com perfis e painéis é a existência de orifícios na base da fachada para entrada do ar, assim como de rufos ou outros artificios que permitam a saída constante do ar na parte superior da fachada”. A Figura 6 apresenta a base do funcionamento da fachada ventilada.



Fonte: Martins, 2009.

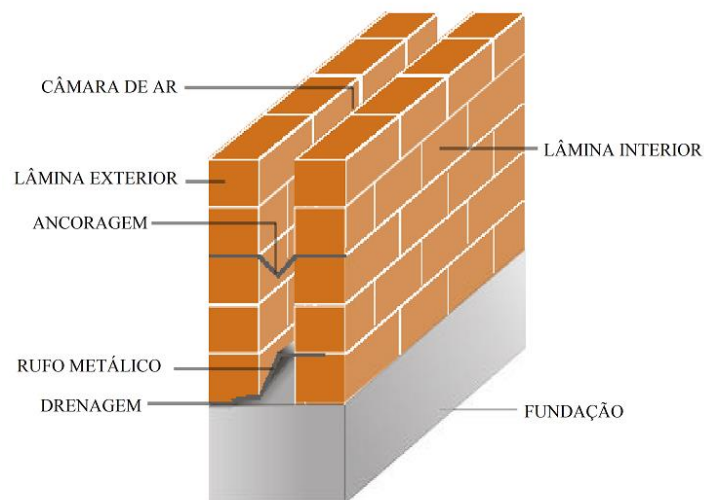
2.4 Breve histórico da origem construtiva

O Movimento da Arquitetura Moderna se desenvolveu durante os séculos XIX e XX, apresentando uma nova concepção da arquitetura, preocupada com o meio ambiente e a situação da construção, destacando o concreto armado e o aço e com estudos aprofundados sobre a funcionalidade dos edifícios (POYATOS, 2012). É nesse contexto que se encaixa a origem do elemento construtivo estudo deste trabalho, a fachada ventilada.

O autor expõe que os primeiros indícios de uso desse sistema aconteceram na Inglaterra por volta de 1925, mas apenas a partir de 1970 que foi introduzido a execução do isolamento térmico. Um dos primeiros sistemas a utilizar o isolamento térmico através de fachadas não aderidas é denominado *Cavity Wall*, a parede interna desse sistema é portante, por essa razão possui limitação de três andares de construção.

Segundo o ponto de vista de Sahade (2018), a *Cavity Wall* é considerada “duas peles separadas por um espaço oco”. Especifica ainda que o objetivo inicial da cavidade era proporcionar um caminho para drenagem da água da chuva ou de condensação a partir de orifícios na base da parede. As juntas que eram deixadas na parte externa, criavam uma corrente de ar, por consequência eliminando a água evaporada. Poyatos (2012) conceitua que esse sistema representa uma evolução da fachada sólida para uma composta por uma parede de duas folhas com uma câmara de ar entre elas. A *Cavity Wall* pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 7 – Seção transversal de uma *Cavity Wall* em alvenaria



Fonte: Siqueira Júnior, 2003.

A cerca de um século, diante da necessidade de conter gastos e reduzir o tempo de execução de obra, o professor Otto Wagner, o qual sentia a urgência de inovar a arquitetura da época que tinha parado no tempo, introduziu esse novo sistema construtivo, diferenciando o conceito de estrutura e envolvente (PÁTON, 1995). Para Siqueira Júnior (2003) a técnica construtiva da fachada com revestimento não aderido e juntas abertas foi uma evolução dos estudos e técnicas utilizadas por Otto Wagner aliada ao conceito de paredes duplas, ou seja, a *Cavity Wall*, já mencionada anteriormente. A evolução do sistema se deu a partir da separação das folhas que compõe a parede.

De acordo com Eiras (1995), a barreira encontrada para o sistema construtivo foi de que a folha exterior só seria independente da estrutura interior se atingisse a altura máxima da sua capacidade autoportante. Consequentemente seria necessário dimensionar o uso de ancoragens na parede interna utilizando materiais como por exemplo o ferro galvanizado. Para a parede externa que recebe diretamente as ações climáticas, como a radiação solar, surgiu o problema de movimentação dos materiais. Assim, a parede externa dilata mais que a interna, havendo a necessidade de maiores vínculos com a parede interna para redução de efeitos da dilatação diferencial.

Para Gerola (2013), com a constante busca por avanços nas áreas de habitabilidade, estética, conforto e sustentabilidade dos edifícios, profissionais da área desenvolvem mais fachadas complexas, combinando várias camadas de diversos materiais. Assim, entra no contexto de fachadas ventiladas, as quais foram desenvolvidas com o propósito de resolver patologias, os problemas de dilatação diferencial das camadas e ao mesmo tempo proporcionar conforto térmico no interior das edificações. Ainda segundo o autor, esse sistema de fachadas é utilizado na Europa há mais de 30 anos e está aparecendo com mais intensidade no Brasil nos últimos anos.

2.5 Fachadas ventiladas no Brasil e na Europa

Embora o sistema construtivo de fachadas ventiladas seja mais utilizado na Europa, no Brasil essa tecnologia vem sendo introduzida em empreendimentos em todo país a pouto mais de uma década (ROCHA, 2011). Neste tópico será evidenciado empreendimentos que fizeram o uso desse tipo de fachada no Brasil a fim de reiterar a relevância do tema, em termos de estudos, pesquisas e normatização nacional para a elaboração de projetos e auxílio para execução.

Segundo Eliane Tec (2016) o edifício Bela Cintra, localizado em São Paulo, é pioneiro na execução de fachada ventilada com revestimento de porcelanato, agregando assim valor estético, segurança e eficiência para a obra. Esse empreendimento utilizou painéis de porcelanato da Eliane Tec, a qual foi responsável pelo desenvolvimento do sistema de fixação dessa tecnologia. Na Figura 8 está registrado o edifício Bela Cintra.

Figura 8 - Edifício Bela Cintra, São Paulo

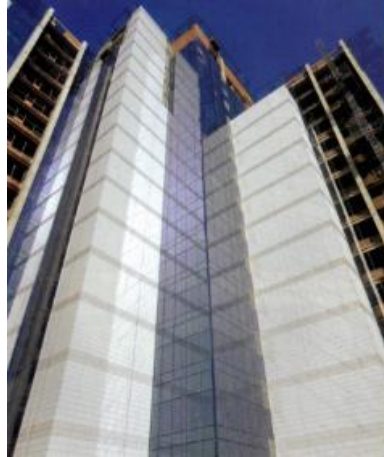


Fonte: Eliane Tec Projetos.

Contendo 1.800m² de fachada revestida com porcelanato, o edifício possui 14 andares e mais de 8 mil m² de área construída. Para a construtora responsável pela execução da obra, a utilização de fachadas ventiladas significa durabilidade da fachada com superior qualidade dos revestimentos e com conseqüente redução do consumo de energia. A fachada é a primeira impressão que se tem de uma obra, portanto deve-se agregar valor ao empreendimento elevando o padrão das tecnologias e acabamentos de projeto.

Outro exemplo interessante é a fachada do Centro Empresarial Senado, localizado no Rio de Janeiro. De acordo com dados da Revista Techne (2011), até 2010 o empreendimento citado possuía a maior fachada ventilada executada no Brasil, com cerca de 8 mil m². Nessa fachada foi utilizado painéis cerâmicos extrudados de 35x135cm fazendo interface com fachada unitizada de vidro, conforme expõe a Figura 9.

Figura 9 - Centro Empresarial Senado, Rio de Janeiro



Fonte: Techne, 2011.

A Revista Health ARQ (2017), que descreve sobre as inovações em relação a arquitetura na área da saúde, apresenta uma matéria apontando um marco de crescimento em inovação na construção da nova torre do Hospital Moinhos de Vento. Localizado na cidade de Porto Alegre, a obra beneficiará cerca de 3 mil pessoas. Pode-se observar o empreendimento citado na Figura 10.

Figura 10 - Hospital Moinhos de Vento, Porto Alegre



Fonte: Revista HealthARQ, 2017.

A fachada da nova torre é com o sistema de fachada ventilada com placas cerâmicas e de fibrocimento. Segundo a matéria, o Hospital optou pela fachada ventilada por garantir uma “redução do dimensionamento do sistema de climatização e, como consequência, reduzir o investimento inicial em equipamentos e custos recorrente do sistema de ar condicionado”.

Além da possibilidade de realizar diversos projetos novos com esse sistema para fachadas, o mesmo é muito utilizado para reformas e como solução para situações patológicas, como ocorreu na reforma do Pátio Brasil Shopping localizado em Brasília, apresentado na Figura 11.

Neste projeto foi utilizado o porcelanato 60x120cm e 90x90cm Portobello, recontextualizando o *shopping* em todas as faces da fachada.

Figura 11- Pátio Brasil Shopping, Brasília



Fonte: *ArchTrends* Portobello, 2018.

Os edifícios apresentados na sequência estão localizados na Europa, onde a tendência de fachadas ventiladas é mais forte. O primeiro edifício apresentado está localizado na Espanha, segundo o site da *ULMA architectural solutions*, foram reabilitados quatro blocos na localidade barcelonesa de *Cornellá de Llobregat*, mais especificamente na Praça de *Fontsanta*. Os edifícios tinham problemas relacionados com a umidade e condensação. As principais vantagens desse projeto foram a renovação da imagem do edifício, um significativo aumento de patrimônio e economia de até 30% de consumo de energia com ar condicionado e aquecimento. Foram executados 14 mil m² de superfície de fachada ventilada em oito meses. O antes e depois do edifício pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 – Reabilitação do Edifício Fonsanta, Barcelona



Fonte: *ULMA, architectural solutions*.

Outro exemplo é o Edifício *L'Hospitalet de Llobregat* que foi construído com o sistema de fachada ventilada de concreto polimérico, com cerca de 995 m², dados especificados pela *ULMA architectural solutions*, em conformidade com o que aparece na Figura 13.

Figura 13 – Edifício funerário L’Hospitalet de Llobregat, Catalunha



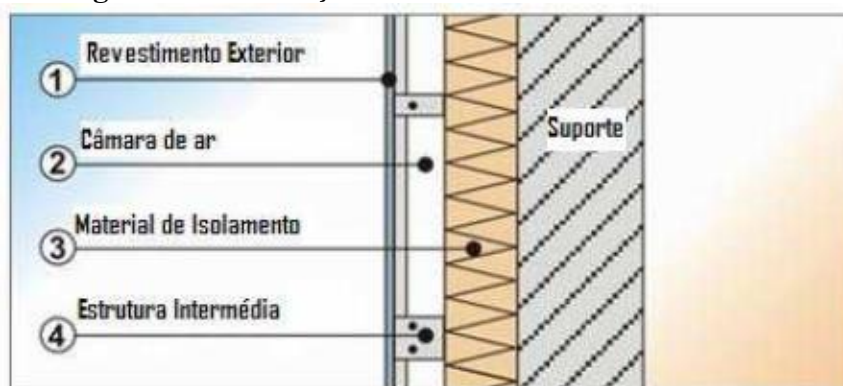
Fonte: ULMA, *architectural solutions*.

Nesse caso a fachada ventilada foi especificada pelas possibilidades de acabamento de suas chapas que melhoram a forma curva do edifício e por sua facilidade de manutenção.

2.6 Descrição do sistema

Para um melhor entendimento do sistema é necessário que seja feito uma diferenciação dos elementos que constituem o mesmo. Será exposto sobre a base suporte de fixação, os materiais de isolamento térmico, a câmara de ar, os dispositivos de fixação e os tipos de juntas, finalizando com a apresentação dos revestimentos exteriores mais utilizados nesse estilo de fachada. Na Figura 14, pode-se verificar a concepção do sistema de fachadas ventiladas.

Figura 14 – Descrição do sistema de fachada ventilada



Fonte: Mendes, 2009.

2.6.1 Base suporte de fixação (substrato)

Siqueira Junior (2003) explica que o projetista deve ter o conhecimento necessário tecnológico para a escolha do elemento de vedação vertical utilizado como base suporte de fixação da fachada ventilada. De acordo com o autor, deve-se levar em conta fatores que atuam no desempenho de toda a vedação, além da resistência a flexão da base, é preciso avaliar a deformabilidade de seus elementos e componentes, os quais podem afetar o desempenho da vedação, conseqüentemente de toda a fachada ventilada. Portanto, um fator relevante no custo da implantação do sistema é a necessidade de definição do substrato de vedação com resistência a flexão, para que exista a possibilidade de fixação da ancoragem da subestrutura auxiliar em mais pontos, reduzindo a seção do perfil dos montantes, conseqüentemente utilizando menos material de alumínio, impactando diretamente no custo. Aceita-se qualquer tipo de suporte, contanto que seja garantida a estabilidade dos principais pontos de fixação da estrutura no suporte (MENDES, 2009).

Siqueira Junior (2003) complementa que além da estabilidade da parede que deverá ser analisada, nas palavras do autor “a natureza desse substrato deve ser considerada com o intuito de se verificar a adequabilidade desta como suporte para a ancoragem do revestimento”. Sem um suporte adequado, não é possível garantir o desempenho desejado para o revestimento e estrutura de fixações. Assim, Mendes (2009) expõe que se deve levar em consideração para o suporte, os fatores listados:

- Estrutura de fixação que será utilizada dependem diretamente do tipo de suporte;
- Necessitam ser estáveis e resistentes, considerando o máximo número de variáveis capazes de influenciar os esforços atuantes;
- Em relação ao tipo de fixação, a espessura do suporte deve ser compatível e apropriada;
- Em superfícies com exposição a ação do vento e da chuva, com juntas entre placas abertas, o suporte deve manter a estanqueidade a água.

Quando se realiza as ancoragens na vedação, além de dimensionar para o recebimento de cargas excêntricas, garantindo a estabilidade estrutural, deve-se analisar se o substrato escolhido é adequado em termos de execução e compatibilidade para servir de suporte para a fachada ventilada (SIQUEIRA JUNIOR, 2003). Nesse contexto, Soriano (1999) citado por Siqueira Junior (2003) explica a necessidade do elemento possuir determinada homogeneidade para poder prever seu desempenho. Dessa forma, por exemplo, nas paredes de alvenaria de vedação, as ancoragens podem chegar a pontos ocos, com variação de espessura, juntas de argamassa, ou ainda a união das juntas verticais, diminuindo o grau de previsibilidade do

comportamento. O Quadro 1 apresenta o grau de confiabilidade do substrato como base de ancoragens para sistema de revestimento não aderido.

Quadro 1 - Grau de confiabilidade do substrato como base de ancoragens para sistema de revestimento não aderido

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

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

De acordo com o que foi exposto, segundo o grau de confiabilidade do substrato, o melhor material a ser utilizado é o concreto, pois o mesmo oferece a homogeneidade necessária. Na família das alvenarias, o tijolo maciço oferece um bom grau de confiabilidade.

2.6.2 Isolante térmico

Na fachada ventilada, é de extrema importância a aplicação de um sistema de isolamento pelo exterior, consequentemente solucionando o problema das pontes térmicas (SOUSA, 2010). Siqueira Junior (2003) determina que é necessário a introdução de isolante térmico somente em determinados climas ou quando o elemento de vedação requer esse tipo de isolamento. A instalação do mesmo é feita aplicando um material de propriedades específicas no interior da câmara aderido a lâmina do revestimento. O autor explica que existem diversas razões para a aplicação de isolante térmico em um edifício, sendo a economia com aquecedor e ar-condicionado a principal delas.

Segundo Ribeiro (2010) o isolante térmico tem como função principal “reduzir a transferência de calor através dos elementos onde se encontra aplicado”. É um material considerado poroso, e o fato de possuir resistência térmica elevada se deve a baixa condutibilidade do ar contido em seus vazios. Para o autor, o isolante deve apresentar condutibilidade térmica (λ), menor ou igual a 0,065 W/m.°C, definindo-se como isolante leve

aqueles que possuem massa volumétrica inferiores a 300 kg/m³. A Tabela 1, elaborada por Cunha (2006), apresenta as condicionantes dos isolantes térmicos.

Tabela 1 – Comparação de materiais de isolamento térmico

Material	Densidade (kg/m ³)	λ (W/m.°C)	Temperaturas de trabalho (°C)	Igual isolamento	
				Espessura equivalente	Peso equivalente
Poliuretano	32	0,021	200 a 110	1	1
Poliestireno expandido	15	0,033	150 a 70	1,4	0,6
Lã mineral	100	0,041	100 a 980	1,8	5,1
Espuma de vidro	144	0,055	220 a 430	2,4	9,9

Fonte: adaptado de Cunha, 2006.

Direito (2011) expõe que existem diversos tipos de isolantes térmicos, sendo os mais utilizados o poliestireno expandido moldado ou extrudido, lã vidro, lã de rocha ou a espuma de poliuretano projetado. Destas, a autora identifica que as mais utilizadas em fachadas ventiladas são as espumas de poliuretano projetado e as placas de poliestireno extrudido. Os painéis de lã de rocha e vidro são utilizados também, principalmente por suas características de incombustibilidade, porém são menos recomendados caso haja contato direto com a água, pois prejudica seu desempenho. Ribeiro (2010) apresenta algumas características que todos os isolantes térmicos devem possuir:

- Boa resistência mecânica;
- Inatacável por fungos;
- Incombustível;
- Baixa permeabilidade ao vapor de água;
- Não higroscópico.

2.6.2.1 Poliuretano projetado (PUR)

O Poliuretano projeto ou PUR, é recomendado para edifícios com grandes áreas de fachadas ventiladas, por ser um produto de rápida aplicação e por manter continuidade sem juntas (DIREITO, 2011). Dutra (2010) apresenta que as principais características desse isolante é a impermeabilidade, leveza, propriedades acústicas, aplicação contínua sem juntas e baixo coeficiente de condutibilidade térmica. De acordo com Direito (2011) a espuma rígida de poliuretano projetado, “apresenta também baixa permeabilidade ao vapor de água, reduzindo a condensação e aumentando a resistência aos microorganismos, não favorecendo o desenvolvimento de fungos e bactérias”.

De acordo com a classificação de Martins (2009), o poliuretano projetado é um isolante termorrígido, os quais são constituídos por polímeros produzidos industrialmente por meio de aquecimento até a liquefação dos materiais que reagem entre si. Essa mistura é colocada em moldes, na fase líquida, após o endurecimento não volta a fase líquida novamente.

2.6.2.2 Poliestireno extrudido (XPS)

O material isolante XPS é fabricado em placas rígidas de espuma, com estrutura celular fechada. Essa estrutura em célula fechada proporciona uma absorção nula de água e umidade. Exibe características como elevada resistência química e a compressão, possuindo durabilidade para o manuseio em obra (DIREITO, 2011). Para Dutra (2010) o poliestireno extrudido é um composto que apresenta “excelentes desempenhos térmicos, insensibilidade à água, grande resistência à passagem de vapor, elevada resistência à compressão, imputrescibilidade, facilidade de instalação, resistência ao manuseamento de obra, durabilidade”.

Direito (2011) apresenta que a aplicação desse material em obra é simples e fácil, pelo fato das placas possuírem baixo peso, sendo um produto preferencial ao poliuretano projetado. Segundo Martins (2009) o poliestireno extrudido é considerado um isolante termoplástico, sendo de origem polimérica, diferenciando-se dos isolantes termorrígidos em virtude de poderem ser aquecidos e remoldados. Por essa razão em situação de incêndio, o material tem tendência a voltar para a fase líquida e fluir, concluindo que são isolantes térmicos combustíveis com reação ruim ao fogo.

2.6.2.3 Poliestireno expandido (EPS)

Segundo Dutra (2010) o EPS é um dos materiais mais utilizados como isolante térmico. O autor apresenta vantagens como “baixa condutibilidade térmica, leveza, fácil manuseamento, resistente ao envelhecimento, higiênico e totalmente inócuo”. Segundo Martins (2009), como apresentado para o poliestireno extrudido, o mesmo acontece com o poliestireno expandido, em razão da sua origem termoplástica, são isolantes térmicos combustíveis com reação ao fogo ruim.

2.6.2.4 Lã de vidro

Conforme Dutra (2010), “a espuma de vidro é um material não combustível e estável com o tempo. É obtido através da expansão do vidro a quente”. Para Martins (2009) é considerada uma “manta flexível composta por filamento de vidro”. Como a lã de rocha, a lã de vidro também é incombustível.

2.6.2.5 Lã de rocha

Segundo Martins (2009), a lã de rocha é um material natural e inorgânico formado de fibras de lã de rocha unidas por uma resina termoendurecida, também conhecido como lã mineral. Apresenta características como comportamento incombustível, porem a exposição a umidade pode comprometer o seu desempenho. Dutra (2017) complementa que é um material isolante muito utilizado, sendo também um bom isolante acústico. As propriedades incombustíveis garantem confiança na montagem, aplicação e vida útil. Na Figura 15, pode-se observar o isolante térmico de lã de rocha sendo aplicado em uma fachada ventilada.

Figura 15 – Isolamento térmico em lã de rocha aplicado em fachada ventilada



Fonte: Direito, 2011.

2.6.3 Câmara-de-ar

Como apresentado anteriormente, o sistema de fachada ventilada se caracteriza pela existência de ventilação por meio de uma caixa-de-ar, localizada entre a camada de revestimento externo e o isolamento térmico ou substrato. Sousa *et al.* (2016) afirma que esse

sistema vem ganhando mais força pela redução da umidade existente na câmara-de-ar, através da ventilação, proporcionando vantagens em relação ao comportamento térmico e de estanqueidade das edificações. Direito (2011) complementa que o principal objetivo do fluxo de ar é a durabilidade do sistema, pois viabiliza a evacuação do vapor de água evitando que ocorra condensações no local. Pode-se apresentar dois tipos de ventilação para a tecnologia de fachadas ventiladas, a ventilação natural e a ventilação mecânica.

2.6.3.1 Ventilação natural

A variação da temperatura na superfície da Terra resulta dos fluxos das grandes massas de ar e da diferente recepção da radiação do sol de local para local. Por meio dos dados climáticos obtidos, pode-se conhecer o comportamento da temperatura do ar para um determinado local ao longo do ano. O tratamento desses dados climáticos pelo projetista o embasará para identificar os períodos de maior probabilidade de desconforto, e onde se faz necessário uma intervenção em nível de projeto. É importante saber que para uma mesma temperatura, a sensação de conforto térmico pelo usuário pode ser diferente em função de variáveis como vento e umidade do local (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997).

No caso de estudo de fachadas ventiladas, para entender o mecanismo de funcionamento é necessário analisar as formas como o calor é transmitido, portanto, Costa (2005) conceitua em seu livro sobre ventilação, que as transmissões de calor podem ser efetuadas através de convecção, condução e radiação. Basicamente, para isso ocorrer devem existir diferenças de temperatura entre dois ambientes, considerando que o fluxo de calor sempre se dá no sentido das temperaturas mais elevadas para as mais baixas.

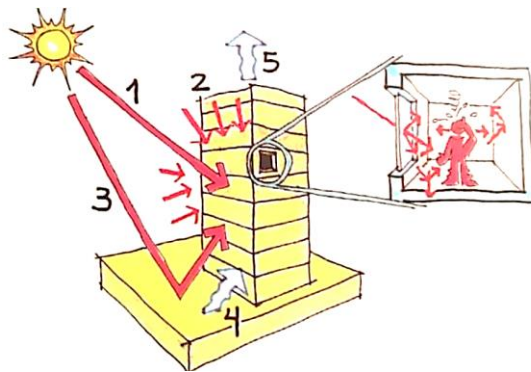
Segundo o autor, condução ocorre quando o calor é transmitido por contato direto e a convecção é definida como a passagem de calor de um corpo para o outro através de um fluido. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) descrevem o processo de radiação solar como um dos mais importantes contribuintes para o ganho térmico em edifícios. Na escala da edificação, a transferência de calor por radiação pode ser dividida em cinco partes principais:

“Radiação solar direta (onda curta) (1), radiação solar difusa (onda curta) (2), radiação solar refletida pelo solo ou pelo entorno (onda curta) (3), radiação térmica emitida pelo solo aquecido e pelo céu (onda longa) (4) e radiação térmica emitida pelo edifício (onda longa) (5). As duas primeiras (1 e 2) são variáveis macroclimáticas. A radiação de onda curta refletida pelo solo e pelo entorno (3) depende das características da superfície refletora. Após receber a radiação solar, o solo se aquecerá, emitindo em

seguida radiação térmica de onda longa (4). Esse fenômeno também ocorre com a edificação (5)”.

Ainda segundo os estudos dos autores, “a radiação solar de onda curta que entra por uma abertura no edifício incide nos corpos, que se aquecem e emitem radiação longa”. O vidro, sendo praticamente opaco à radiação de onda longa, não permite que o calor encontre passagem para o exterior, superaquecendo o ambiente interno. Esse fenômeno é conhecido como efeito estufa e é o maior transformador da radiação solar em calor no interior de uma edificação, como pode-se analisar na Figura 16.

Figura 16 – Trocas de calor em edifícios e efeito estufa

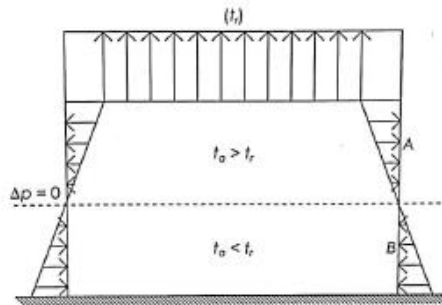


Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 1997.

De acordo com Maciel (2013), “o uso favorável da ventilação natural e a seleção adequada de materiais de construção e sistemas construtivos podem determinar que o ambiente construído seja termicamente confortável”.

De acordo com Montenegro (1984), a ventilação natural é conceituada como a ação do vento, ou seja, a movimentação do ar. Costa (2005) complementa que embora a ação dos ventos seja intermitente, ocasiona escalonamento de pressões externas no sentido horizontal, “diferenças de pressão da ordem de $0,5 \text{ N/m}^2$ já são suficientes para obter correntes de ar satisfatórias, do ponto de vista da ventilação, desde que haja um caminho adequado para o ar percorrer”. O escalonamento das diferenças de pressões no interior de um ambiente por aquecimento do ar está exposto na Figura 17.

Figura 17 - Escalonamento das diferenças de pressões no interior de um ambiente por aquecimento do ar

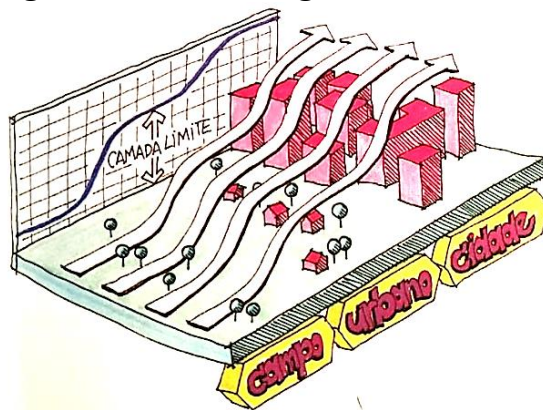


Fonte: Costa, 2005.

Define-se que a diferença de pressão criada por uma coluna de ar quente em um ambiente a uma temperatura T_2 , superior a temperatura exterior T_1 , depende dessas temperaturas e da altura da coluna. Costa (2005) afirma que essa situação, trata-se do efeito chaminé, que nada mais é do que o princípio de Arquimedes aplicado ao caso. Nas palavras do autor esse princípio “afirma que a massa de ar aquecida recebe um impulso, de baixo para cima, igual ao peso da massa de ar deslocada”.

As condições de vento local podem ser alteradas com a presença de vegetação, edificações e outros anteparos naturais ou artificiais. Pode-se tirar partido do perfil topográfico de um terreno para canalizar os ventos, desviando-os ou trazendo-os para a edificação. O movimento do ar também sofre grande influência da rugosidade da superfície. Em geral a velocidade do vento aumenta com a altitude. Devido aos obstáculos encontrados na cidade (como edifícios, por exemplo), a velocidade média do vento é mais baixa que em locais abertos (campo). O tamanho dos obstáculos influencia no gradiente vertical (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997). Na Figura 18, pode-se observar o comportamento do vento.

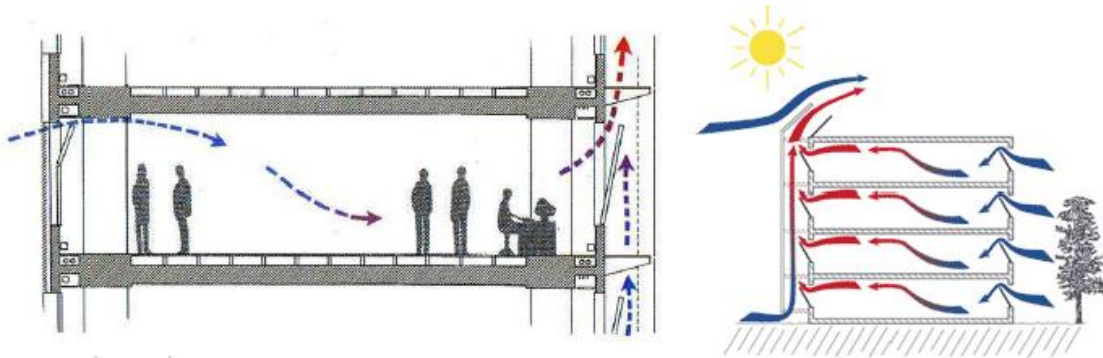
Figura 18 - Vento e rugosidade do terreno



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 1997.

A ventilação natural, é caracterizada pelo efeito chaminé, e conforme exposto por Direito (2011), este efeito realiza o processo de eliminação, por convecção, do ar quente que está localizado na câmara-de-ar, pela variação existente da densidade de ar, e por consequência remove o vapor de água que se localiza no interior das paredes. O esquema de ventilação natural em edifícios é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Ventilação natural em edifícios



Fonte: Direito, 2011.

Ainda segundo a autora, para o sucesso desse sistema, é necessário manter as entradas e saídas de ar com manutenção constante para que estejam desobstruídas, assegurando o fluxo de ar permanente. Esse fluxo de ar no interior da câmara pode ser realizado pelo já comentado efeito chaminé, ou através da pressão do vento. Quando o vento atingir a fachada poderá criar diferentes pressões entre a entrada e a saída da câmara, impulsionando a movimentação do ar. Atenta-se que as pressões provindas do efeito chaminé não devem ser anuladas pela força resultante do vento, adotando uma espessura mínima de 30mm para a câmara-de-ar.

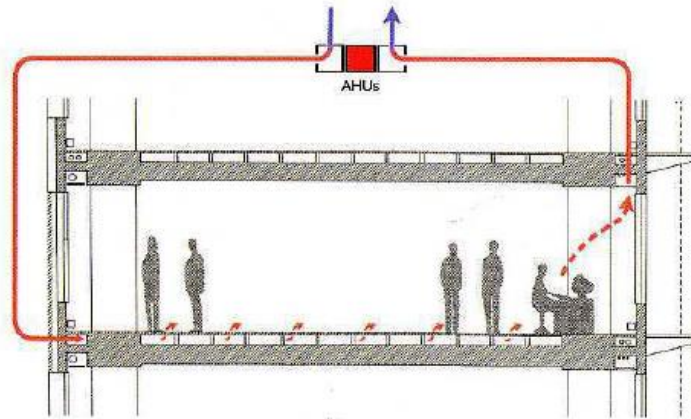
2.6.3.2 Ventilação mecânica

Na ventilação mecânica, de acordo com Siqueira Junior (2003), “o sistema induz o fluxo do ar no interior da câmara com o auxílio de um equipamento adequado”. Para o autor a escolha apropriada da ventilação requer informações como dimensões, quantidades, localização e divisão em câmaras de ventilação constante e compartimentos vedados, são requisitos indispensáveis para o desempenho adequado do sistema.

O sistema de ventilação mecânica se caracteriza pelo uso de equipamento para a movimentação artificial do ar. As fachadas que utilizam desse sistema não possuem aberturas e caracterizam-se por apenas um modo de ventilação (MAZZAROTO, 2011). Em concordância

com o que foi exposto, é observado na Figura 20 a representação da ventilação mecânica com recuperação de calor.

Figura 20 – Ventilação mecânica com recuperação de calor



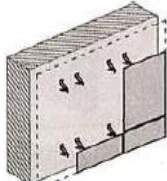
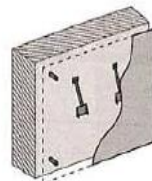
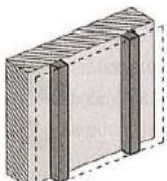
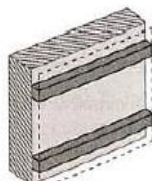
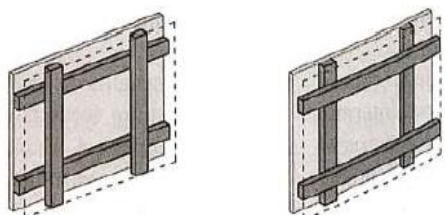
Fonte: Direito, 2011.

Pode-se dar como exemplo as fachadas duplas ventiladas com a utilização de ventilação mecânica. O trabalho realizado por Li (2001), determina o desempenho de fachadas duplas ventiladas, onde o autor evidencia o uso da ventilação mecânica. Segundo o autor, a ventilação mecânica faz uso de equipamentos para trazer o ar externo para a cavidade e de exaustão para eliminar o calor e fazer com que o ar seja recirculado ou lançado novamente para o exterior, certificando-se da distribuição do mesmo. O uso do recurso de ventilação mecânica oferece uma proteção maior quanto as influências externas em áreas onde as condições climáticas são extremas pois mantém constante o desempenho da circulação de ar.

2.6.4 Diferenciação de sistemas de fixação

A fachada ventilada incorpora essencialmente dois componentes: o revestimento e um sistema de fixação, o qual permite a criação de uma caixa de ar entre o substrato e o revestimento, podendo ser complementado com a execução de isolante térmico. Segundo Sousa *et al.* (2016) o sistema de fixação pode ser enquadrado como fixação pontual ou por intermédio de uma estrutura secundária. Na construção tradicional o suporte é chamado de tosco, enquanto que na construção pré-fabricada a fachada ventilada é fixada sobre uma estrutura leve integrante da parede. Apresenta-se no Quadro 2 as soluções referentes a cada tipologia de estrutura secundária.

Quadro 2 - Tipologias de estruturas secundárias de fixação

TOSCO (SUBSTRATO)	SEM ESTRUTURA (PONTUAL)		
	PERFIS		
TOSCO OU PREFABRICAÇÃO	ESTRUTURA RETICULADA		

Fonte: adaptado de Sousa *et al.*, 2016.

A não utilização de uma estrutura secundária, metálica ou em madeira, expõe o revestimento a todas as deformações que ocorrem no suporte, enquanto a inclusão de uma estrutura secundária dá uma maior estabilidade à fixação (SOUSA *et al.*, 2016).

Ainda de acordo com os autores, além do enquadramento dos tipos de fixações, deve-se diferenciar também os processos de fixação. Por exemplo para um painel retangular existem tipicamente três processos de fixação: as furações, as ranhuras e os encaixes. As furações e as ranhuras descontínuas são soluções de fixações pontuais, enquanto as ranhuras contínuas se destinam aos sistemas de fixação linear. As geometrias de encaixe são uma solução particular que se aplica a materiais que apresentam maior plasticidade, como os metais e os plásticos.

2.6.5 Dispositivos de fixação

Siqueira Junior (2003) apresenta que as fixações geram a interação entre a subestrutura auxiliar e o substrato, transferindo reações nas quais o sistema de revestimento exterior é submetido. Os dispositivos de fixação apresentados neste tópico, serão divididos em ancoragens químicas e mecânicas, apresentando as peculiaridades do uso de cada fixação.

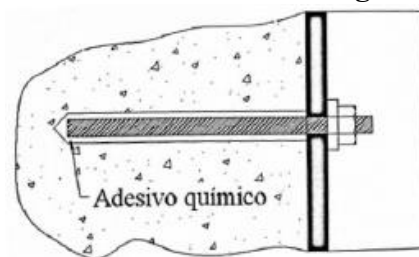
2.6.5.1 Dispositivos de fixação por adesão química

A NBR 14827:2002 explica que chumbador de adesão química é caracterizado por obter sua força de ancoragem através de um composto químico colocado entre a parede do furo e a parte embutida do chumbador. Os materiais usados incluem resina epóxi, resina poliéster, materiais com base de cimento ou outros tipos semelhantes que endurecem a partir de uma reação química. De acordo com Siqueira Junior (2003), os dispositivos de fixação por adesão química são feitos por meio de adesivo epóxi bicomponente ou resina poliéster, e barras roscadas ou vergalhões. Segundo o autor, estão presentes no mercado as fixações por adesão química por injeção ou por ampola e para a fixação em substratos sólidos ou vazados.

Para a introdução de fixador químico em substrato sólido, inicia-se realizando um furo na base com broca diamantada, então a resina é inserida por injeção, sendo os componentes misturados no bico de aplicação, finalizando com o posicionamento do chumbador no interior do orifício. Quando o sistema é por ampola, a mistura dos componentes é realizada pela haste metálica. Já o exemplo de bases vazadas ou perfuradas acontece a execução do fixador a partir da introdução de uma camisa metálica no furo, injeção da resina e posterior introdução do chumbador (SIQUEIRA JUNIOR, 2003).

Para a fixação de vigas de aço em elementos de concreto existentes, Bellei (2006) apresenta como alternativa o fixador química, o qual o autor define como sendo “composto por uma barra roscada de aço junto com uma ampola ou cartucho de adesivo químico, que permite uma fixação rápida e segura”. Este tipo de fixação permite boa resistência a tração, variando de 9,3 a 168,7 kN, dependendo do diâmetro da barra, resistência do concreto no qual será ancorada, profundidade, distância entre fixadores e também distância com relação a borda. Os parafusos possuem resistência à ruptura elevada, entre 70 e 80 kN/cm², e são encontrados nos diâmetros de 9,5 a 31,8mm em diversos comprimentos. Pode-se visualizar a fixação por adesão química na Figura 21.

Figura 21– Fixador com ancoragem química



Fonte: Bellei, 2006.

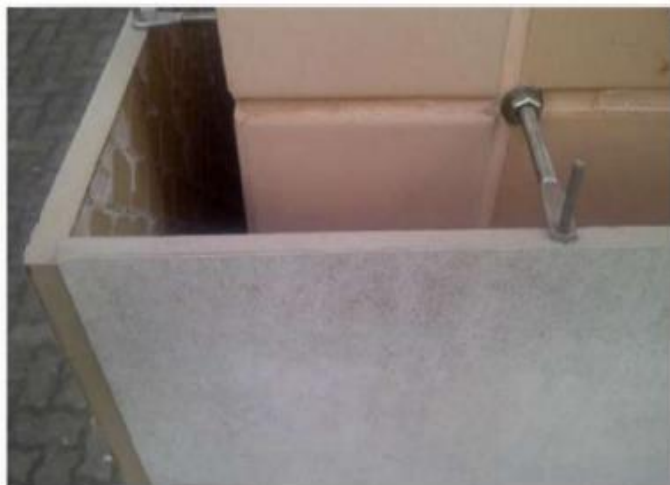
2.6.5.2 Dispositivos de fixação mecânica

O tipo de sistema de fixação deve ser escolhido após a escolha da geometria e do material de revestimento pois, a fixação depende diretamente das propriedades físicas e mecânicas do mesmo (SIQUEIRA JUNIOR, 2003). De acordo com Sousa (2010), a fixação mecânica dos revestimentos pode ser realizada diretamente no substrato ou a partir de uma estrutura secundária que pode conter elementos verticais, horizontais ou ambos. Para Sousa *et al.* (2016) esses sistemas podem ser divididos em fixações pontuais, lineares, por encaixe ou em sistemas móveis.

2.6.5.2.1 Fixação pontual

Por ter impacto visual reduzido, as fixações pontuais são as soluções mais comuns e utilizadas (SOUSA *et al.*, 2016). Manetti (2015) apresenta que no Brasil são mais utilizadas as fixações pontuais diretamente na alvenaria, pelo fato desse sistema apresentar custo reduzido, em comparação as placas fixadas em estrutura metálica ancorada na estrutura da edificação que podem tornar o sistema ser duas vezes mais caro. Segundo Sousa *et al.* (2016), “a fixação pontual pode ser realizada nos bordos ou pelo tardoiz em painéis simples, com furação ou com ranhuras descontinuas”. A representação de placas fixadas com ancoragens pontuais diretamente sobre a alvenaria está indicada na Figura 22.

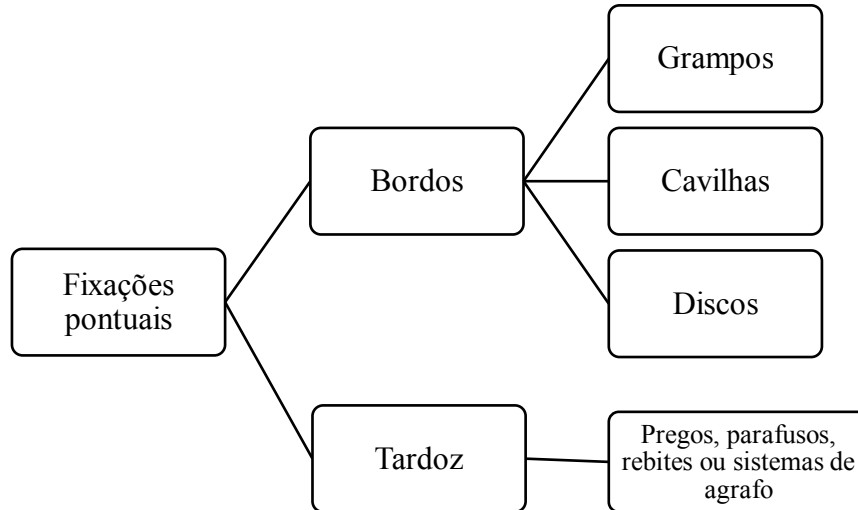
Figura 22 - Placas fixadas com ancoragens pontuais diretamente sobre a alvenaria



Fonte: Manetti, 2015.

Dentro das opções disponíveis no mercado para fixações pontuais, apresenta-se as principais de acordo com a Figura 23.

Figura 23 - Formas de fixação pontual



Fonte: adaptado de Sousa *et al.*, 2016.

Em relação as fixações pontuais realizadas nos bordos, os autores Sousa *et al.* (2016) apresentam os grampos como peças metálicas onde o revestimento é colocado, fazendo papel de suporte e fixação em relação à fachada. Esse tipo de solução é classificada como fixação a vista. Ribeiro (2010) aponta que os grampos mais utilizados são os grampos mecânicos correntes e os grampos mecânicos reforçados. Os grampos mecânicos reforçados são indicados para fixação de placas pesadas, segundo o autor descreve, suportam um peso entre 100 e 240 kg. O componente descrito necessita de uma fixação ao suporte por intermédio de parafusos e buchas, nas palavras do autor “podendo ser totalmente reguláveis através de uma afinação tridimensional aquando da colocação do revestimento”. O modelo de aplicação apresentado, possibilita que o revestido seja posicionado após a inserção dos grampos, permitindo que a aplicação do isolamento seja executada depois da introdução dos grampos no suporte, certificando um modo eficaz de estanqueidade à água e o isolamento térmico. É possível observar a utilização de grampos com e sem sobreposição na Figura 24.

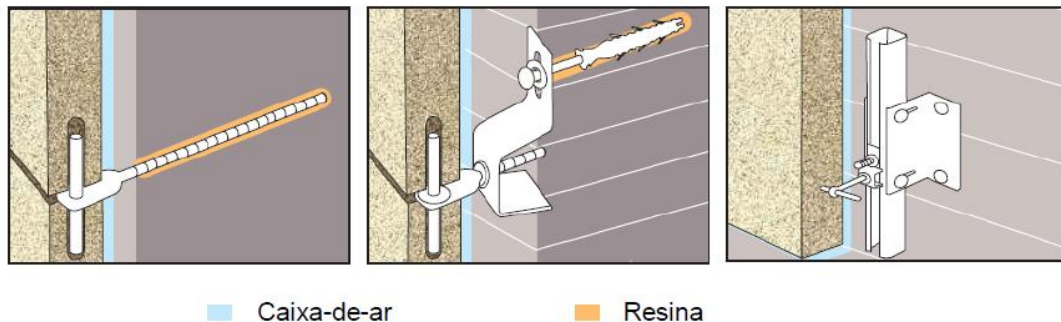
Figura 24 – Fixação por grampos com e sem sobreposição



Fonte: Sousa, 2010.

Outro exemplo de fixação pelos bordos são as cavilhas, que segundo Sousa *et al.* (2016) trabalham de forma parecida a pregos, no qual o suporte é dado a partir da resistência transversal ao corte. Sousa (2010) complementa que se as cavilhas forem aplicadas em juntas horizontais seu papel é resistir aos esforços horizontais, já se forem aplicadas nas juntas verticais, além dos esforços horizontais, terão que resistir ao peso do revestimento. O autor explica que a cavilha está ligada a um perno que, em juntas horizontais, terá que resistir ao peso próprio do revestimento e o mesmo pode ser fixado diretamente ao suporte. Na Figura 25, pode-se analisar os detalhes de ancoragens por cavilhas em juntas horizontais e verticais.

Figura 25 - Detalhes de ancoragens por cavilhas



Fonte: Sousa, 2010.

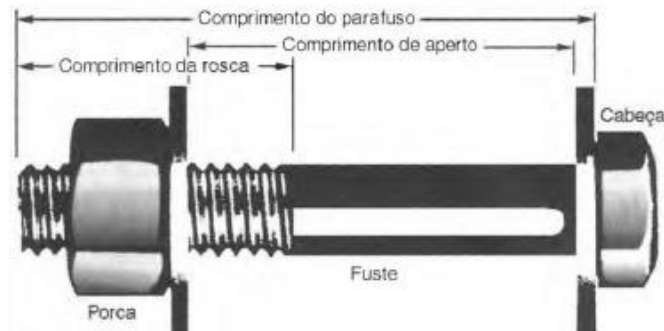
Em relação a ancoragem por discos, a única diferença da ancoragem por cavilhas, é a incorporação de discos que correspondem a uma maior resistência aos esforços do horizontais provindos dos ventos e dos sismos, assim admitindo a fixação de revestimentos mais pesados (SOUSA *et al.*, 2016; SOUSA, 2010).

Abordando agora as fixações pelo tardo, de acordo com os conceitos apresentados por Sousa *et al.* (2016), para a fixação de revestimentos de pequena espessura, são comumente utilizados os pregos parafusos ou rebites. Para Pfeil *et al.* (2000), em estruturas compostas por duas ou mais chapas para realizar a ligação, utilizam-se conectores rebites, parafusos comuns e

de alta resistência. Porém, Sousa (2010) aponta que antes de descrever o sistema, é necessário realizar uma diferenciação entre parafusos e rebites. De um modo simples, Sousa *et al.* (2016), define-se parafuso como “um eixo com um sulco ou uma linha helicoidal na superfície, sendo fixado pela sua rotação num orifício”.

Conforme Pfeil *et al.* (2000), os parafusos comuns, com especificação ASTM A 307, são “forjados com aços-carbono de baixo teor de carbono”. Os autores caracterizam os parafusos comuns por ter em uma extremidade uma cabeça quadrada ou sextavada na outra uma rosca com porca. Apontam esses são instalados com aperto, mobilizando o atrito entre as chapas, porém o aperto nas chapas é variável, assim não se pode certificar um valor mínimo nos cálculos, por essa razão calcula-se como os rebites, através de tensões de apoio e de corte. Dias (2006) aponta que os parafusos comuns tem baixa resistência mecânica, com cerca de 41,5 KN/cm² de resistência a ruptura por tração (ASTM A 307), sendo eles utilizados apenas para peças secundárias como guarda-corpos, corrimãos, terças e outros elementos com poucas solicitações. A instalação deste tipo de parafuso é feita com chave manual comum e sem controle de torque. Pode-se visualizar na Figura 26 os detalhes do parafuso com porca sextavada e arruelas.

Figura 26 - Parafuso com porca sextavada e arruelas



Fonte: Pfeil *et al.*, 2000.

Os parafusos de alta resistência, especificado como ASTM A 325, são feitos com aço-carbono temperado. Na fase de instalação, podem ser colocados com o esforço de tração mínimos garantidos, sendo os valores utilizados nos cálculos (PFEIL *et al.*, 2000). Dimensiona-se os parafusos de alta resistência com coeficiente de segurança contra deslizamento quando deseja-se impedir qualquer movimento entre as chapas de conexão, assim obtém-se uma ligação tipo atrito. As ligações tipo apoio podem ser utilizadas quando pequenos deslizamentos são tolerados. Dias (2006) acrescenta que os parafusos de alta resistência são empregados em

ligações importantes, com resistência à ruptura da ordem de 82,5 kN/cm² (ASTM a 325) para parafusos com diâmetro menor ou igual a 25,4 mm, para diâmetros maiores deve-se considerar resistência à ruptura de 72,5 kN/cm². Este tipo de parafuso deve ser instalado com controle de torque por meio de chaves calibradas (torquímetro ou chave pneumática), após o aperto inicial com chave comum.

Segundo Sousa *et al.* (2016) o rebite é classificado como um “cilindro com uma cabeça numa das extremidades similar a um prego ou pino”. Para Pfeil *et al.* (2000), os mesmos são conectores instalados a quente, com o produto final apresentando duas cabeças. Ainda de acordo com os autores, a partir do resfriamento o rebite aperta as chapas entre si. Esse esforço de aperto é considerado muito variável, portanto não se consegue garantir um valor mínimo para os cálculos, assim “os rebites eram calculados pelos esforços transmitidos por apoio do fuste nas chapas e por corte na seção transversal do fuste”.

2.6.5.2.2 Fixação linear

Na concepção de Sousa *et al.* (2016), os sistemas de fixação linear podem ser realizadas segundo os dois bordos horizontais ou verticais. A fixação linear segundo bordos horizontais, é realizada a partir de perfis em forma de calha que resistem elementos de revestimento de rocha natural, concreto ou cerâmicos. Essas calhas estão geralmente ocultas em entalhes ou ranhuras contínuas no revestimento, impondo espessuras elevadas aos elementos de revestimento, garantindo a resistência mecânica da solução. Já as fixações lineares segundo os bordos verticais é uma solução descrita pelos autores como pouco utilizada pois, restringem-se aos revestimentos metálicos com os bordos horizontais nervurados, em que “a fixação é garantida por perfis verticais de travamento aparafusados a uma estrutura secundária”.

Segundo Sousa (2010) esse sistema de ancoragem ou fixação linear, assemelha-se à ancoragem com grampos, sendo este contínuo ao longo de todo o comprimento dos elementos de revestimento, resistindo ao peso próprio e realizando a fixação na fachada. De acordo com o autor, esse tipo de fixação é utilizada quando na fase de projeto decide-se por utilizar revestimentos pesados e de espessura suficiente, pois necessitam permitir a existência de um entalhe onde encaixa a ancoragem. A ancoragem linear classifica-se como fixação oculta.

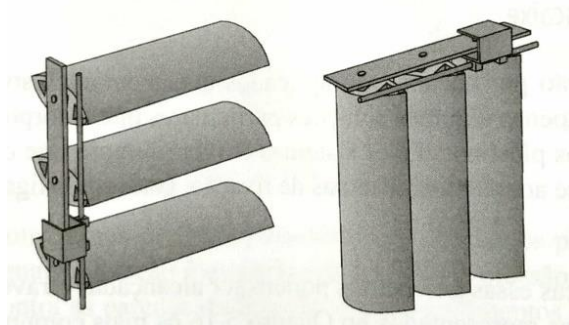
2.6.5.2.3 Fixação por encaixe

A fixação por encaixe é considerada um sistema de aplicação quase exclusivo de revestimentos metálicos, existindo algumas particularidades que englobam revestimentos como os cerâmicos e os plásticos (SOUSA *et al.*, 2016). De acordo com Sousa (2010) os sistemas de encaixe são considerados montagem ágil, reduzindo consideravelmente o tempo de execução. Para ser realizada a montagem, os painéis devem ser nervurados no seu contorno ou no tardo, onde serão colocadas as dobras ou entalhes que permitirão a fixação.

2.6.5.2.4 Sistemas móveis

Sousa *et al.* (2016) apresenta que os sistemas móveis de fixação são considerados como um recurso particular de fixação, podendo variar a orientação dos elementos de revestimento. Segundo os autores, “para o seu funcionamento, este sistema pode necessitar de fontes de alimentação, o que requer mão-de-obra especializada para a sua montagem envolve um gasto energético superior na sua utilização”. De acordo com Sousa (2010), este sistema tem origem nas soluções de proteção solar que tendem a generalizar toda a fachada, funcionando como uma fachada ventilada. O autor afirma que o sistema pode ser fixo ou móvel, dependendo do projeto arquitetônico, podendo abrir ou fechar, assim modificando as condições de luz ou de estanqueidade. O sistema de fixação móvel está apresentado na Figura 27.

Figura 27 – Sistemas móveis de fixação na horizontal e vertical



Fonte: Sousa *et al.*, 2016.

2.6.6 Juntas entre elementos de revestimento

As juntas são o espaço deixado entre os revestimentos da fachada ventilada, e são consideradas um aspecto de grande importância para o bom funcionamento e durabilidade do

sistema. Tem como principal função absorver as deformações específicas dos revestimentos, e também são responsáveis quanto a penetração de água através desse espaço devendo garantir uma certa estanqueidade (DIREITO, 2011). Como já apresentado anteriormente, as juntas podem ser abertas ou rejuntadas, podendo ainda apresentar a sobreposição de peças. Apresenta-se no Quadro 3 os tipos de juntas conforme exposto no trabalho de Sousa (2010), sendo apresentada as possíveis composições de juntas abertas, sobrepostas e com a utilização de perfis metálicos.

Quadro 3 – Tipos de junta



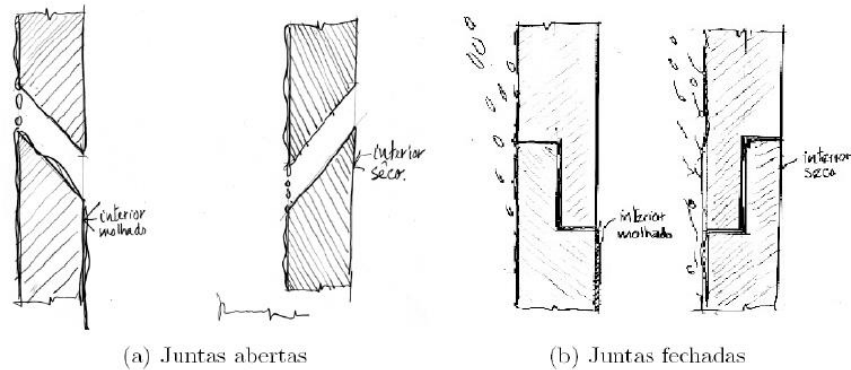
Fonte: Sousa, 2010.

Segundo Sousa (2010) na classificação das juntas apresentadas, não se deve utilizar soluções de preenchimento com mastique ou elementos de estanqueidade, apesar de ser utilizada em casos particulares, essas soluções causam problemas para o funcionamento de ventilação do ar.

Direito (2011) relata que em regiões com condições climáticas extremas não deve ser executado juntas abertas, visto que as mesmas não dispõem de grande proteção contra a ação do vento. Conforme Sousa (2010) as juntas abertas constituem a tipologia mais simples, a qual “responde perfeitamente às deformações dos elementos descontínuos, mas tem um fraco desempenho de estanqueidade à água”

Em relação a penetração da água, Bobabdilla (2007) citado por Direito (2011), afirma que existem cinco maneiras de penetração da água pelas juntas abertas. Pelo efeito de gravidade, quantidade de movimento, tensão superficial, capilaridade e vento. Segundo Direito (2011) a penetração por meio de efeito de gravidade só acontece se a geometria do revestimento deixar. É possível visualizar na Figura 28 a penetração da água a partir do efeito de gravidade.

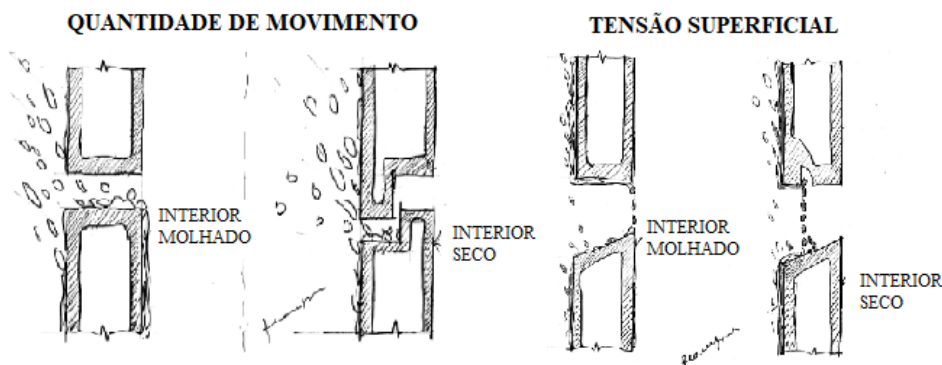
Figura 28 – Penetração da água pelo efeito da gravidade



Fonte: Camposinhos, 2004.

A penetração da água por quantidade de movimento, a partir de estudos de Direito (2011) é explicada como “a componente horizontal da energia da água da chuva que ao incidir sobre a junta do revestimento faz com que esta respingue para dentro da caixa-de-ar, sob determinado ângulo”. Já a tensão superficial é exposta como o fenômeno em que “a água que escorre pelo revestimento exterior adere às superfícies horizontais inferiores deste facilitando a entrada das gotas de água”. Segundo a autora, uma solução para o problema de tensão superficial seria a criação de uma pingadeira, a qual eliminasse essa tensão. Na Figura 29, observa-se a penetração da água pela quantidade de movimento e pela tensão superficial.

Figura 29 – Penetração da água por quantidade de movimento e por tensão superficial

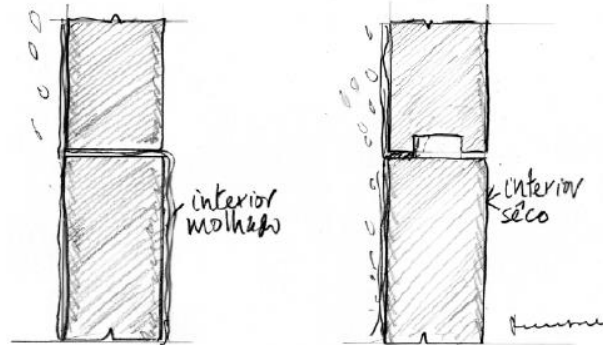


Fonte: adaptado de Camposinhos, 2004.

A penetração por capilaridade ocorre quando os fluidos possuem a aptidão de subir ou descer em tubos muito finos, devido a impulsão da água, ocasionada pelas tensões superficiais interiores. Portanto para impedir que a penetração da água pluvial atinja o tardo por meio de capilaridade, é necessário que as juntas possuam no mínimo 3mm de espessura (DIREITO,

2011). Como nota-se na Figura 30, quando a junta for de dimensão muito pequena, a mesma funciona diretamente como um tubo capilar em que a água escoo diretamente para o tardoz.

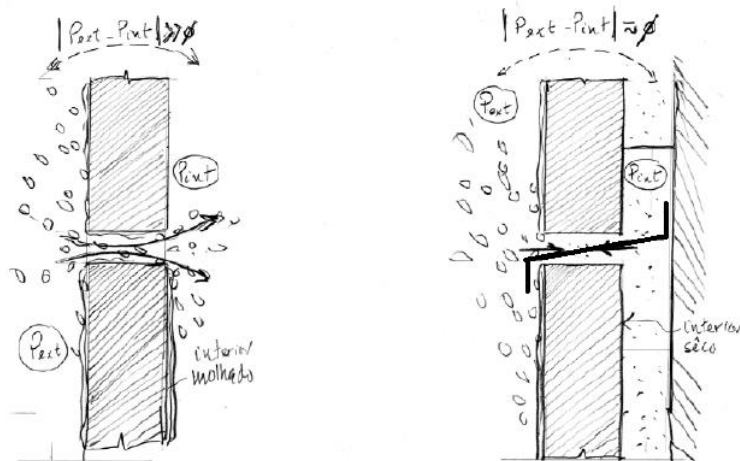
Figura 30 – Penetração da água por capilaridade



Fonte: Camposinhos, 2004.

A partir da ação do vento, as partículas de água atingem o revestimento com certo ângulo e energia, muitas vezes fazendo com que pingue na câmara de ar. Para o controle da penetração de água a partir da ação do vento mencionada, pode ser feita a compartimentação da junta com o uso de perfis metálicos que devem ser inclinados para o exterior e prolongado, protegendo assim a abertura, conforme exposto na Figura 31 (DIREITO, 2011).

Figura 31 – Controle da penetração de água a partir da ação do vento



Fonte: Camposinhos, 2004.

Sousa (2010) explica que essa introdução de um perfil de junta, impede a entrada de água, e apresenta uma propriedade importante a ser considerada, a estanqueidade. É considerada uma solução muito utilizada, principalmente quando a fixação é feita por um “perfil contínuo que suporta e fixa os elementos descontínuos”.

As juntas fechadas são caracterizadas pela proteção contra a infiltração das águas pluviais, porém ainda assim é necessário a execução de aberturas e drenos no revestimento para igualar as pressões entre exterior e interior, garantindo o escoamento de água quando requisitado (DIREITO, 2011).

2.6.7 Revestimento exterior

Na concepção de Direito (2011) o revestimento é quem protege, funcionando como uma barreira, tanto o isolamento térmico quanto a estrutura como um todo. Através de encaixes metálicos que podem ser pontuais ou por uma estrutura, os painéis de revestimentos são fixados na estrutura de apoio. O afastamento essencial entre revestimento e parede de suporte é normalmente assegurado pelo sistema de fixação metálico, gerando assim um espaço de ar onde é executado o isolamento térmico, o qual deve ser mantido em contato total com o elemento de suporte. Ainda segundo a autora, em razão do rápido desenvolvimento de tecnologias dos materiais de revestimento de alto desempenho técnico e estético, atualmente se pode desenvolver fachadas ventiladas de grande resistência frente as variações hidrotérmicas e de eficiência eminente.

Segundo Oliveira (2011) por se localizar na face externa do edifício, o tipo de revestimento escolhido exalta o valor estético do empreendimento. O material escolhido do revestimento, a sua geometria e o comportamento mecânico frente as solicitações, são condicionantes essenciais para a escolha correta do sistema de fixação a utilizar no edifício.

Portanto, neste subtópico sobre materiais para revestimento, será abordado os mais utilizados no mercado. Apresentam-se os materiais com soluções de estéticas inovadoras e em busca de melhores desempenhos funcionais.







2.6.7.1 Cerâmico

O revestimento cerâmico se apresenta vantajoso tanto do ponto de vista técnico e econômico quanto o estético. No mercado internacional, atualmente, existe o desenvolvimento de revestimento cerâmico em forma de régua ou lâmina, para o uso em fachadas ventiladas (SOUSA, 2010). Sousa *et al.* (2016) complementam que esse revestimento apresenta geometria complexa e pode ser fabricado por prensagem ou extrusão e por se tratar de um material frágil, não permite a elaboração de placas de grandes dimensões.

Direito (2011) afirma que possui vantagens como baixa absorção de água e boa resistência mecânica. O autor Cunha (2006) apresenta características do material como elevada resistência ao arrancamento dos fixadores e ao impacto e superfícies pouco rugosas, oferecendo menor resistência ao vento.

De acordo com Sousa (2010) “As fixações mais utilizadas para este tipo de material são a ancoragem por grampos, linear, no tardo ou por sistemas de encaixe. A ancoragem no tardo pode ser fixada por parafusos ou por uma solução mista de parafusos com reforço de cola. Estas fixações tanto são aplicáveis a ladrilhos como a lâminas cerâmicas”. O Quadro 4 apresenta as formas e fixações para revestimentos cerâmicos.

Quadro 4 - Formas e fixações para revestimentos cerâmicos

	Forma	Fixação	Forma	Fixação
Placa ou Lâmina		<ul style="list-style-type: none"> - Ancoragem por grampos - Ancoragem Linear 		<ul style="list-style-type: none"> - Ancoragem por grampos - Sistema de encaixe
Lâmina		<ul style="list-style-type: none"> - Fixação para lâminas fixas 		<ul style="list-style-type: none"> - Fixação para lâminas fixas - Fixação para lâminas móveis
Placas sobrepostas		<ul style="list-style-type: none"> - Ancoragem por grampos 		<ul style="list-style-type: none"> - Ancoragem por grampos

Fonte: Sousa, 2010.

2.6.7.2 Fenólico

O material de revestimento fenólico pode ser aplicado em uma estrutura de fixação ou sobre uma base de suporte, criando uma fenda onde acontece a ventilação de ar, sendo um material cada vez mais utilizado em fachadas ventiladas (OLIVEIRA, 2011).

De acordo com Sousa (2010) os compostos fenólicos são “substâncias naturais a partir das quais se pode produzir resina plástica de alta resistência, podendo também ser utilizada como adesivo interior para as fibras no processo de transformação de aglomerados de madeira”. Por essas razões, esse material possui propriedades com grande resistência química e mecânica.

2.6.7.3 Vidro

Uuttu (2001) comenta que com grande número de obras na Europa, as fachadas de vidro são o “equilíbrio entre o desejo pela luz natural e a visão para o espaço exterior e as preocupações com o ganho ou perda de calor”. O uso desse material está intimamente ligado com as fachadas cortina não ventiladas, porém, mesmo que seja em sistemas construtivos específicos, é uma alternativa para revestimento em fachadas cortina ventiladas. Por comprometer o benefício do isolamento acústico e térmico por causa das juntas abertas, nesse sistema não é executado vidros duplos (SOUSA *et al.*, 2016). De acordo com Sousa (2010) pode-se utilizar diversos estilos de acabamento do vidro, como impresso, refletivo, temperado, translúcido, dependendo do efeito visual que for planejado. Neste tipo de revestimento, a fixação pode ser executada por caixilharia, fixação por lâminas ou por ancoragem no tardo.

2.6.7.4 Metal

Segundo Sousa (2010), a partir do aparecimento de revestimentos de fachadas fixados mecanicamente, o metal passou a ser aplicado como revestimento nessas fachadas devido a propriedades como maleabilidade e plasticidade desse material. Os tipos de metais mais utilizados em fachadas são aço inoxidável, alumínio, cobre, zinco, titânio e liga titânio-zinco.

Ainda de acordo com o autor, apesar de elementos como cobre e zinco serem mais conhecidos em razão da grande gama de aplicações, os mais utilizados em fachadas ventiladas são o aço inoxidável e o alumínio. O aço inoxidável apresenta vantagem em relação a resistência a corrosão e o alumínio dispõe de diversos tipos de acabamentos e cores, configurando-se como um material resistente, leve e com durabilidade.

2.6.7.5 Naturocimento

O material conhecido como naturocimento, conforme Sousa (2010) expõe em seu trabalho, surge a partir de preocupações globais com o meio ambiente. Utiliza de tecnologia adequada com políticas de desenvolvimento sustentável, pois demanda um baixo consumo de recursos naturais. Sousa *et al.* (2016) complementa que este material surge em substituição ao fibrocimento, sendo o naturocimento desenvolvido sem amianto em sua composição. Portanto no lugar do amianto foi incorporada a tecnologia PVA, a qual utiliza de celulose e fibras sintéticas como o polivinil álcool. O autor aponta que apesar desse material estar sendo mais

utilizado em telhados, o mesmo tem se mostrado versátil e com espessuras reduzidas, sendo uma alternativa para revestir fachadas ventiladas. Em comparação com os revestimentos em concreto, o naturocimento é um material mais versátil, podendo ser utilizado desde painéis curvos até em forma de lâmina (SOUSA, 2010).

2.6.7.6 Concreto

Segundo Sousa (2010), diferentemente de rochas naturais, o concreto é classificado como uma pedra artificial, e possui flexibilidade de formas e dimensões, podendo ser executado em diferentes moldes, os quais variam desde ladrilhos até painéis de grandes dimensões. Sousa *et al.* (2016) complementa que esse material apresenta homogeneidade de características e atinge elevadas resistências, além disso possui diferentes cores e texturas disponíveis no mercado.

Conforme Sousa (2010), pode-se citar o concreto tradicional, polímero, celular, reforçado com fibra de vidro e leve. O concreto tradicional, pode ser maciço ou alveolado. O concreto polímero tem em sua composição um ligante orgânico, apresentando boas características físico-mecânicas para revestimento de fachadas ventiladas. O concreto celular é formado por medidas dosadas de cal, cimento, areia, aditivos e água, sendo no final da mistura adicionado pó de alumínio. Já o concreto reforçado com fibras de vidro, conhecido como GRC, é composto de concreto tradicional, com o uso de ligante hidráulico cimentício adicionado de fibras de vidro, conferindo-lhe maior resistência. Outra definição encontrada na NBR 8953:2015, é em relação ao concreto leve, normal e pesado. Segundo a norma, concreto leve possui massa específica seca inferior a 2000kg/m³, o concreto normal varia entre 2000 e 2800kg/m³ e o concreto pesado ou denso apresenta massa específica seca superior a 2800kg/m³.

Apesar de existir diversos tipos de concreto utilizado como revestimento em fachadas ventiladas, Sousa *et al.* (2016) evidencia que os mais utilizados são o concreto polimérico, em razão de sua durabilidade satisfatória e baixa porosidade, e o concreto reforçado com fibras de vidro, pois o mesmo permite a fabricação de revestimentos com espessuras reduzidas em razão do seu esforço.

2.6.7.7 Rocha natural

Segundo Filho e Rodrigues (2009) rochas são “genericamente definidas como corpos sólidos naturais, formados por agregados de um ou mais minerais cristalinos”. As rochas utilizadas como revestimentos, podem ser chamadas de ornamentais ou pedras naturais, as quais

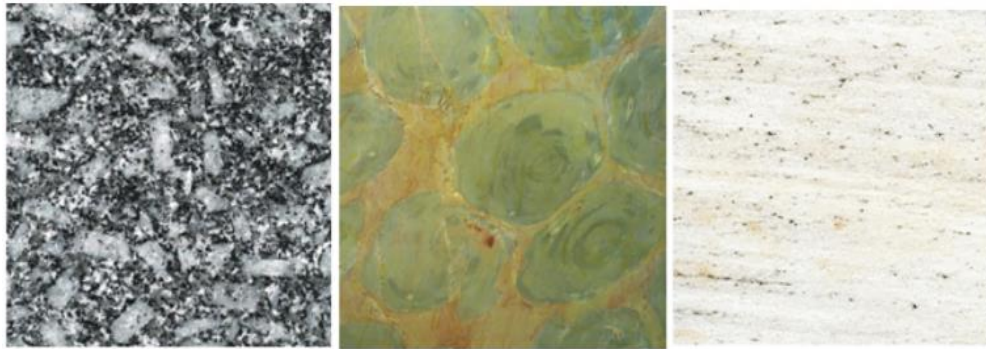
os materiais naturais podem ser extraídos em blocos ou placas e cortados de acordo com a necessidade do cliente.

Mendes (2009) afirma que apesar das rochas serem um material de uso recorrente na construção civil, apenas algumas rochas são indicadas para tal uso, cada uma com suas propriedades específicas. Algumas das propriedades que devem constar em rochas empregadas na construção são: trabalhabilidade, resistência mecânica, durabilidade e dureza. Existem três grupos que classificam as rochas naturais:

- Ígneas: granitos, basaltos, gabros, pórfiros, sienitos;
- Metamórficas: mármore, ardósias, xistos, quartzitos, gneisses;
- Sedimentares: calcários, brechas, dolomites.

Visando o lado econômico comercial, essas rochas são basicamente conhecidas como granito ou mármore, ou seja, as mais utilizadas. Para os autores Filho e Rodrigues (2009) os granitos são rochas ígneas enquanto os mármore se enquadram em rochas metamórficas de origem sedimentar. Pode-se analisar na Figura 32 o granito, o mármore e o quartzito, respectivamente.

Figura 32 – Exemplos de rochas ornamentais



Fonte: Filho e Rodrigues, 2009.

Sousa *et al.* (2016) especifica que é de grande importância que se escolha o material correto para determinado nível de agressividade a que a fachada está exposta. Assim, é necessário por exemplo que a rocha empregada possua determinadas características como porosidade reduzida e resistência a intempéries.

2.6.7.8 Caracterização do revestimento porcelanato

De acordo com Campos (2011), ao longo dos anos, os revestimentos cerâmicos tipo porcelanato se tornaram materiais competitivos no mercado comparados com os demais utilizados em revestimentos de fachadas. A NBR 15463:2013 caracteriza os porcelanatos como:

“Porcelanato são placas cerâmicas compostas por argila, feldspato e outras matérias-primas inorgânicas, conformadas por extrusão, prensagem ou outros processos, podendo ser esmaltadas ou não esmaltadas, polidas ou naturais, retificadas ou não retificadas”.

Os revestimentos de porcelanato foram elaborados inicialmente com a ideia de competir com as rochas naturais, Cunha (2006) complementa que a utilização como componente de revestimento de fachadas ventiladas iniciou “nos principais países europeus produtores de placas cerâmicas, num esforço para a introdução deste componente, em substituição das placas em pedra natural utilizadas até então”. Podendo ser utilizado com facilidade em fachadas com sistemas completamente aderidos e em fachadas ventiladas (CAMPOS, 2011). A indústria apresenta dois tipos principais de porcelanato, com distinção entre esmaltados, com absorção de água menor que 0,5% e não esmaltados, com absorção menor que 0,1% (MENEGAZZO *et al.*, 2000). Partindo dessa afirmação, a NBR 13817:1997 enquadra o material no grupo B1a, de placas cerâmicas, o qual é configurado como processo de produção prensado com absorção de água $abs \leq 0,5\%$. A norma ainda divide o porcelanato em três categorias, sendo placas pequenas (área menor ou igual a 50cm²), placas intermediárias (entre 50 e 250 cm²) e placas grandes (superior a 250 cm²).

Campos (2011) destaca que as principais características deste revestimento são a alta carga de ruptura, alta resistência à flexão, alta resistência à abrasão, resistência ao gelo, resistência a ácidos e álcalis, uniformidade nas cores, impermeabilidade, ampla capacidade de composições e baixa absorção de água. A autora reforça que em razão da durabilidade do material, o porcelanato é recomendado para uso em ambientes de alto tráfego, como hospitais, indústrias e aeroportos por exemplo. Pelo fato da homogeneidade de cores e pouca expansão por umidade é um revestimento muito considerado para o uso em fachadas. Siqueira Junior (2003) complementa as vantagens do porcelanato, expondo que o material é considerado de baixo peso, com menor potencial de manchamento quando comparado as placas pétreas, maior perspectiva de durabilidade, menor controle no recebimento no controle de recebimento e escolha das placas e maior possibilidade de composição com demais revestimentos cerâmicos.

Criou-se a NBR 15463:2013, a partir do crescimento no setor de revestimento de porcelanato no Brasil, que determina a classificação do material e regulamenta diversas especificações sobre seu uso. Na Tabela 2 são apresentadas as principais características do porcelanato técnico e esmaltado como exemplo.

Tabela 2 – Propriedades físicas dos porcelanatos técnicos e esmaltados

Propriedades Físicas		Unidades	Pastilha de Porcelana		Área do produto > 50cm ²	
			Técnico	Esmaltado	Técnico	Esmaltado
Absorção de água	Média	%	≤0,1	≤0,5	≤0,1	≤0,5
	Individual (máx)	%	0,2	0,6	0,2	0,6
Módulo de resistência a flexão	Média	Mpa	≥45		≥45	≥37
	Individual (min)	Mpa	42		42	35
Carga de ruptura	6 < e < 7,5mm	N	≥1000		≥900	≥900
	e ≥ 7,5mm	N	Não se aplica		≥1800	≥1500
Resistência à abrasão profunda		mm ³	≤140	Não se aplica	≤140	Não se aplica

Fonte: adaptado de NBR 15643:2013.

2.6.7.8.1 Porcelanato de fina espessura

Os porcelanatos de tamanho padrão possuem espessura em torno de 10mm, porém Campos (2011) afirma, foi desenvolvido na Europa uma tecnologia para fabricação de porcelanato de fina espessura e grandes formatos, sendo conhecido pela flexibilidade estética e dimensional. As placas de porcelanato de fina espessura são obtidas a partir do processo de fabricação via úmida, utilizando matérias-primas como argilas e feldspatos, transformando-os em grânulos, com desempenho avançado no processo de compactação, seguido pela sinterização de cerca de 1250 °C.

Segundo a autora, as características como leveza e facilidade na manutenção, fazem com que esse revestimento possa ser utilizado tanto em paredes internas como externas, incluindo fachadas e coberturas. Essa tecnologia de fabricação de porcelanatos de fina espessura teve início na Europa, pela empresa italiana *System*, que atua na área de fabricação de máquinas e equipamentos voltados para a indústria cerâmica.

A história do começo das fabricações desse tipo de porcelanato é explicada segundo Crasta (2007) citado por Campos (2011):

“A tecnologia de fabricação para porcelanato de fina espessura teve início 1996, quando a empresa *Laminam* apresentou o projeto para o Ministro da Indústria italiana. Após 4 anos de pesquisa, o inventor da tecnologia criou uma linha de produtos que se tornou o mais fino revestimento cerâmico disponível no mercado. *Laminam* é uma

unidade do Grupo *System* instalada em Fiorano Modenese, localizado na província de Modena, Itália, a qual foi a primeira em todo o mundo a fabricar e comercializar este tipo de produto e buscou também o aperfeiçoamento das características técnicas e estéticas.”

Conforme as classificações dos porcelanatos apresentados na Tabela 2 apresentada no subtópico anterior, Campos (2011) define que o porcelanato de fina espessura é considerado técnico com absorção de água em torno de 0,1%. De acordo com o catálogo de fachadas ventiladas da empresa Portobello (2017), esse novo conceito de placas de porcelanato podem chegar a dimensões de 300x100cm e com espessura de 3,5mm, ampliando as perspectivas de *design* e projetos. Segundo o sistema Pendeco, elaborado pela empresa para revestimento de porcelanato de fina espessura, onde o revestimento é aderido a uma subestrutura de suporte e reforço e então instalado na estrutura de alumínio. Esse sistema foi desenvolvido para placas de grandes dimensões, contendo dispositivos especiais de absorção de dilatações e deformações, em comparação a sistemas similares possui desempenho maior. Todo o sistema possui aproximadamente 18 kg/m² de fachada, incluindo o revestimento.

De acordo com Campos (2011), além das características apresentadas sobre o porcelanato tradicional, o porcelanato de fina espessura apresenta resistência aos ataques químicos, resistência ao fogo e altas temperaturas, resistência a abrasão profunda (dureza 5 na escala Mohs), absorção de água próxima ao zero, resistente ao gelo, adapta-se a todas as condições climáticas e atmosféricas, e possui eco compatibilidade e reciclável, ou seja, “produto obtido por matérias primas controladas, sendo que no processo de produção não são liberados gases nocivos nem resíduos danosos ao meio ambiente ou ao homem”. Observa-se na Figura 33 o porcelanato de fina espessura da fabricante brasileira Eliane Tec.

Figura 33 - Fachada ventilada com revestimento Laminum (porcelanato técnico)

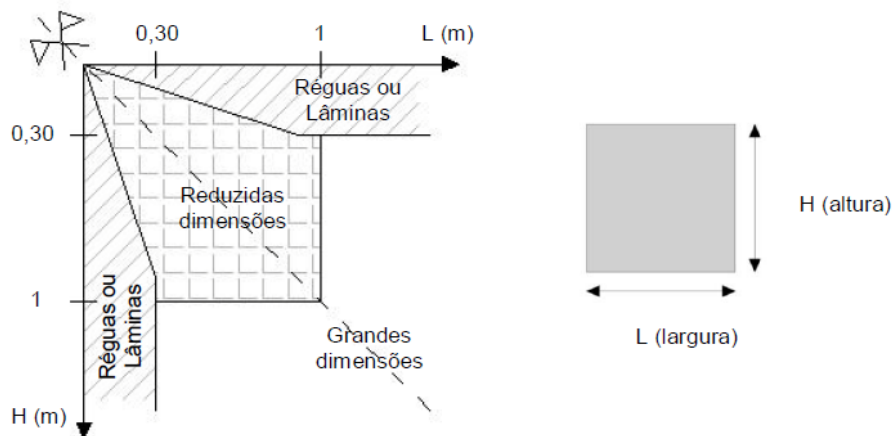


Fonte: Eliane Tec citado por Campos, 2011.

2.6.8 Geometria dos revestimentos

Ao projetar um sistema de revestimento não aderido ventilado, um aspecto importante a ser considerado, que impacta diretamente no dimensionamento dos sistemas de fixações, vem a ser o formato geométrico dos elementos de revestimento. A geometria das peças, além de determinar como serão fixadas ao substrato, define de que forma os esforços de vento irão incidir sobre elas; em termos de seção transversal, as juntas entre as peças devem proteger a câmara ventilada das águas pluviais, para garantir a adequada estanqueidade do sistema (SOUSA, 2010). Os tipos de dimensões faciais podem ser visualizados na Figura 34.

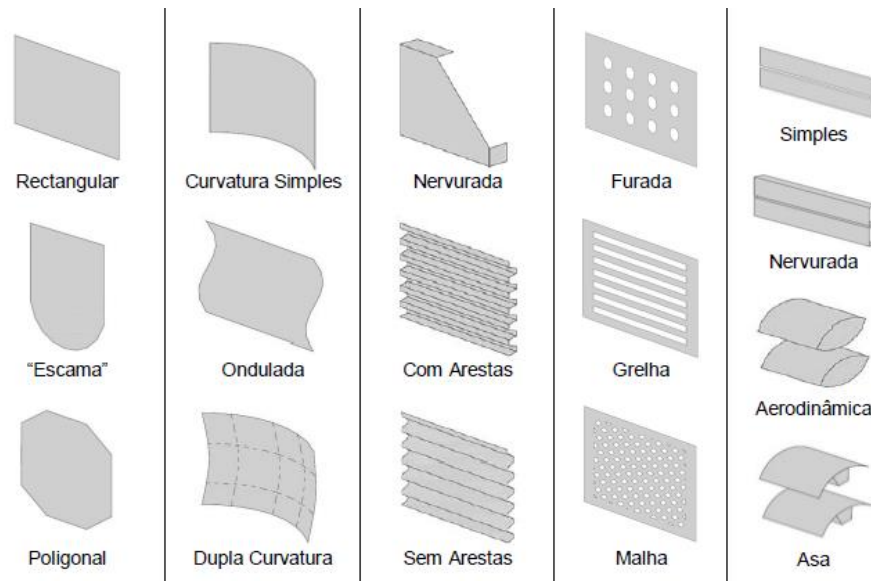
Figura 34 – Tipos de dimensões faciais



Fonte: Sousa *et al.*, 2016.

Além das dimensões faciais apresentadas, outra variável geométrica que os revestimentos apresentam é composição de tipos de superfícies. Segundo Sousa (2010), podendo apresentar formatos curvos, planos, perfilados ou perfurados, para as placas, ou formatos mais tecnológicos como os aerodinâmicos, tendo como exemplo em forma de asa para as lâminas. Na Figura 35, pode-se analisar as tipologias de superfície para revestimentos. As superfícies mais utilizadas em fachadas ventiladas são as superfícies planas, principalmente as de formato retangulares, pois são de fácil montagem e também podem ser fabricadas em qualquer material.

Figura 35 – Tipos de geometrias



Fonte: Sousa *et al.*, 2016.

2.7 Impermeabilização do substrato

É importante ressaltar, segundo Moura (2009), a influência do afastamento do revestimento da base suporte no dimensionamento da câmara-de-ar. É necessário que haja um equilíbrio de pressão no interior da cavidade, pois se a água entrar pelas juntas, espera-se que ela escorra por trás das placas do revestimento. O autor descreve estudos que foram feitos na Alemanha, onde concluíram que o percentual de água que consegue atingir a base suporte corresponde a 1%. Assim, o percentual de água que passante pode ser controlado com uma camada impermeabilizante.

De acordo com Graciano (2018), é comum a necessidade da utilização do impermeabilizantes, em razão da falta de revestimento argamassado, pois apesar da quantidade de água que passa pela câmara de ar ser reduzida, necessita-se garantir a estanqueidade do sistema, sendo de extrema importância evitar que a água infiltre para o interior da edificação. Segundo os estudos recentes do autor, apenas um fornecedor comenta sobre os preparos da base suporte e que é utilizado um produto impermeabilizante, tratando-se de um cimento polimérico à base de resina acrílica, na fachada antes da execução das ancoragens. O autor afirma que a partir de informações dadas pelo fornecedor, é importante a aplicação de um “véu de poliéster na interface entre a alvenaria e a estrutura para evitar trincas e infiltração na camada de impermeabilização”. Os procedimentos citados no trabalho mostram que o primeiro passo é o mapeamento e marcação da fachada para então realizar a instalação das ancoragens,

necessitando limpar os furos antes de ancorar. O autor ainda pondera que se for instalado o sistema de alvenaria, é necessário a utilização de chumbadores químicos, sendo realizada a fixação de uma bucha com resina e então a instalação do chumbador. Silva (2012) complementa que no encontro das alvenarias com a estrutura deverão ser executados esforços com véu de poliéster, para evitar fissuras e infiltração de água. Verifica-se na Figura 36 os preparos da base pintura impermeabilizante, marcação de níveis e cotas e fixação das ancoragens.

Figura 36 – Preparos da base



Fonte: Graciano, 2018.

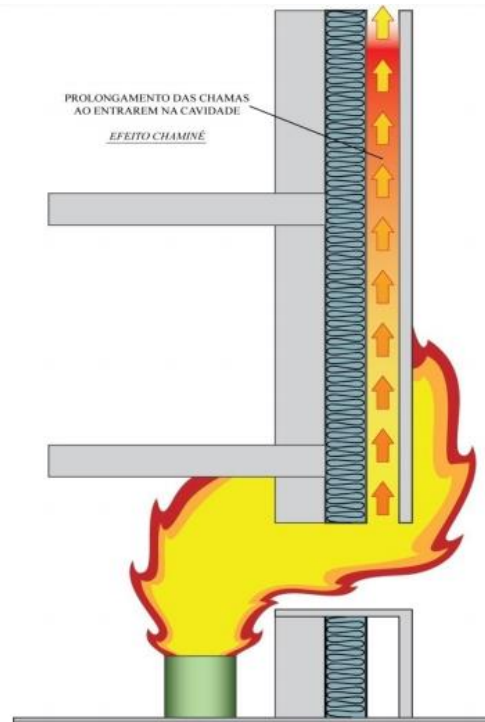
2.8 Comportamento em situação de incêndio

Neste subtópico serão apresentadas considerações e consequências da exposição de elementos presentes no sistema de fachada ventilada em situação de incêndio. De acordo com Direito (2011), que desenvolveu a dissertação de mestrado sobre o estudo de segurança contra incêndio em fachadas ventiladas, aborda que as características dos materiais empregados apresentam grande importância em como o fogo se desenvolve, por exemplo quando o fogo entra em contato com um material inflamável, favorecendo a intensidade das chamas. No caso do sistema de fachadas ventiladas, quando exposta a um incêndio, o revestimento exterior pode se destacar do sistema abrindo passagem para a camada de isolamento térmico, reforçando a propagação do fogo pela envolvente da edificação.

Desempenhando um papel característico da fachada ventilada, a caixa-de-ar é uma via de fácil e de rápida propagação do fogo, pois permite que as chamas se espalhem pelo interior do sistema. Contribui também para que as chamas se espalhem a distâncias consideráveis do foco inicial, ocasionando assim o eventual colapso da estrutura. Ainda segundo a autora, tal

problema poderia ser minimizado com a execução de barreiras corta-fogo, porém as mesmas cortam o efeito chaminé. Na Figura 37 é possível ver a propagação do fogo na cavidade.

Figura 37 – Propagação do fogo na cavidade



Fonte: Martins, 2009.

Segundo Dias (2006) existe a compartimentação horizontal e a vertical. A compartimentação horizontal impede que áreas grandes sejam afetadas, trabalhando com paredes corta-fogo. Já a compartimentação vertical impede que o fogo se espalhe entre os pavimentos, executando o isolamento das escadas com paredes corta-fogo, a partir da atuação de abas verticais ou parapeitos e de abas horizontais que são projetadas para fora da edificação e que sejam resistentes ao fogo. Para o autor, é necessário portanto compartimentar a edificação para impedir a propagação de incêndios. No projeto deve constar medidas que gerem o confinamento do fogo em sua origem até que ele seja extinto. Na Figura 38, analisa-se a comparação entre um edifício que não possui compartimentação vertical e um que possui as abas horizontais que impedem a projeção do fogo pela fachada.

Figura 38 - Influência de saliências horizontais na projeção das chamas pela fachada



Fonte: Costa, Ono e Silva, 2005.

A INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 08 (2018) do Corpo de Bombeiros de São Paulo, denominada segurança estrutural nas edificações resistência ao fogo dos elementos de construção, estabelece o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) que os elementos estruturais e de compartimentação devem atender para evitar o colapso estrutural precoce. Nesta instrução, especifica que a escolha, dimensionamento e aplicação de materiais de revestimento contra fogo são de responsabilidade dos responsáveis técnicos. Algumas propriedades são necessárias para garantir o desempenho e durabilidade esperados como “aderência, combustibilidade, fissuras, toxicidade, erosão, corrosão, deflexão, impacto, compressão, densidade” e outras propriedades. As propriedades mencionadas devem ser determinadas a partir de ensaios realizados em laboratório de acordo com a norma vigente.

Direito (2011) especifica que as análises em relação a classificação do fogo não devem ser feitas apenas para o revestimento e sim para o sistema como um todo visto que todos os elementos estão vulneráveis ao fogo devido as juntas do revestimento e a caixa-de-ar. Dessa forma, é recomendável empregar um isolamento térmico incombustível e utilizar uma estrutura de fixação do revestimento e o próprio revestimento com boa reação ao fogo.

A INSTRUÇÃO TÉCNICA nº 09 (2018) do Corpo de Bombeiros de São Paulo, denominada compartimentação horizontal e compartimentação vertical, objetiva realizar o estabelecimento dos “parâmetros de emprego e dimensionamento da compartimentação horizontal e da compartimentação vertical nas edificações e áreas de risco, de modo a impedir a propagação do incêndio para outros ambientes situados no mesmo pavimento ou entre pavimentos”. De acordo com a instrução, denomina-se elemento corta-fogo aquele que apresente em um período de tempo certas propriedades, como integridade mecânica a impactos, impedimento da passagem

de chamas e de fumaça e a não passagem de calor, ou seja, resistência, estanqueidade e isolamento térmico respectivamente.

A instrução técnica ainda apresenta características de construção, que devem ser seguidas, da compartimentalização vertical na envoltória do edifício conforme exposto:

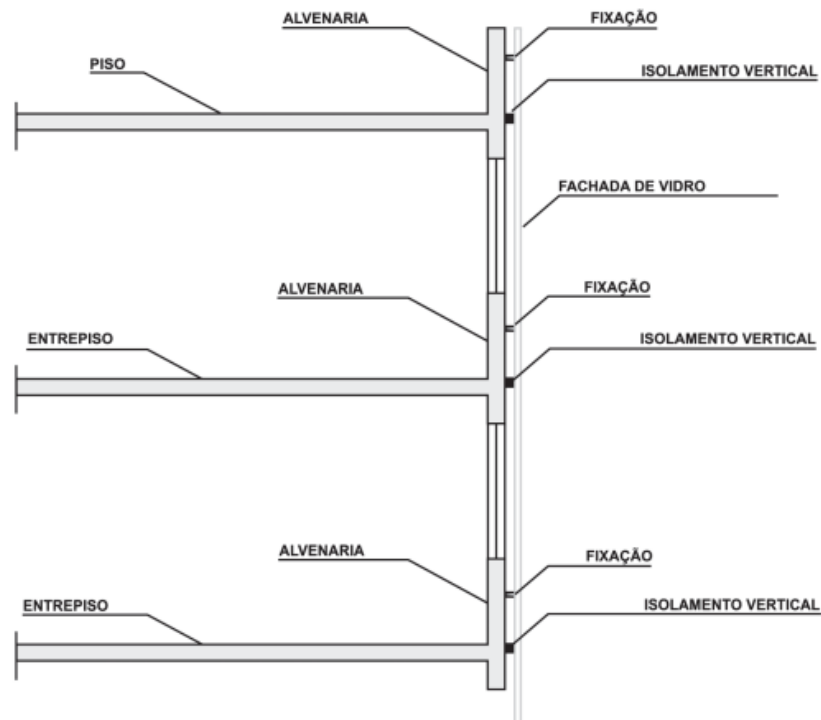
“Deve existir elemento corta-fogo na fachada, com tempo de resistência determinado pela IT 08, separando aberturas de pavimentos consecutivos, que podem se constituir de vigas e/ou parapeito ou prolongamento dos entrespisos, além do alinhamento da fachada. [...] Quando a separação for provida por meio de vigas e/ou parapeitos, estes devem apresentar altura mínima de 1,2 m separando aberturas de pavimentos consecutivos. [...] Quando a separação for provida por meio dos prolongamentos dos entrespisos, as abas devem se projetar, no mínimo, 0,90 m além do plano externo da fachada”.

Além do exposto, na IT 09 (2018), apresenta que os caixilhos e componentes das janelas devem ser compostos por materiais incombustíveis e traz informações sobre a compartimentação de fachadas totalmente envidraçadas ou fachada cortina.

“Se a própria fachada não for constituída de elementos envidraçados corta-fogo de acordo com as condições da NBR 14925, devem ser previstos atrás destas fachadas, elementos corta-fogo de separação, ou seja, instalados parapeitos, vigas ou prolongamentos dos entrespisos. [...] As frestas ou as aberturas entre a “fachada-cortina” e os elementos de separação devem ser vedados com selos corta-fogo em todo perímetro. Tais selos devem ser fixados aos elementos de separação de modo que sejam estruturalmente independentes dos caixilhos da fachada não sendo danificados em caso de movimentação dos elementos estruturais da edificação”.

Atualmente no Brasil não existe uma instrução técnica que abranja o sistema de fachadas ventiladas, porém as instruções mencionadas esclarecem como se proceder perante a segurança contra incêndios. A compartimentação vertical de fachadas-cortina envidraçadas pode ser visualizada na Figura 39.

Figura 39 - Compartimentação vertical de fachada envidraçada



Fonte: IT 09, 2018.

De acordo com Oliveira (2011) a segurança do sistema contra incêndio deve ser garantida a partir da resistência e reação ao fogo dos materiais dos elementos constituintes.

2.9 Esforços atuantes

Para Sousa *et al.* (2016), a estrutura da fachada ventilada deve ser projetada de modo que não ocasionam a queda pontual de elementos do revestimento e nem o colapso total do sistema. As solicitações mais relevantes do sistema são o peso próprio, ação de sismos, ação do vento e o comportamento higrotérmico dos materiais. Os autores ponderam que além das solicitações apresentadas, deve-se levar em conta os choques acidentais de pessoas e objetos, avaliados por meio de ensaios de corpo mole e corpo duro, respectivamente.

2.9.1 Peso próprio

De acordo com Sousa (2010), deve-se atentar a materiais de revestimento com alto índice de porosidade devido a alterações no teor de umidade. Segundo Camposinhos (2004), “considera-se que a porosidade é elevada quando o seu valor é superior a 10% e baixa quando

aquele valor é inferior a 0,5%”. O autor complementa que é importante que o dimensionamento ocorra a partir de valores do peso específico saturado (γ_{sat}), assim prevendo a absorção de água do revestimento. A equação 1 expõe como se realiza o cálculo.

$$\gamma_{sat} = \gamma_d \times (1-n) + n \times \gamma_w \quad (1)$$

Em que:

γ_{sat} – peso próprio saturado;

γ_d – peso específico seco do material;

n – porosidade aberta do material;

γ_w – peso específico da água.

2.9.2 Cargas acidentais

Sousa *et al.* (2016) aponta que além das solicitações resultantes e da manutenção, deve-se considerar os choques acidentais de pessoas e objetos. Essas cargas acidentais são analisados a partir de ensaio de copo mole e corpo duro. O desempenho do sistema como um todo deve apresentar bons resultados em relação ao efeito do impacto. O Quadro 5 define as categorias de uso de I a IV.

Quadro 5 - Definição de categorias de uso para determinadas ações de impacto

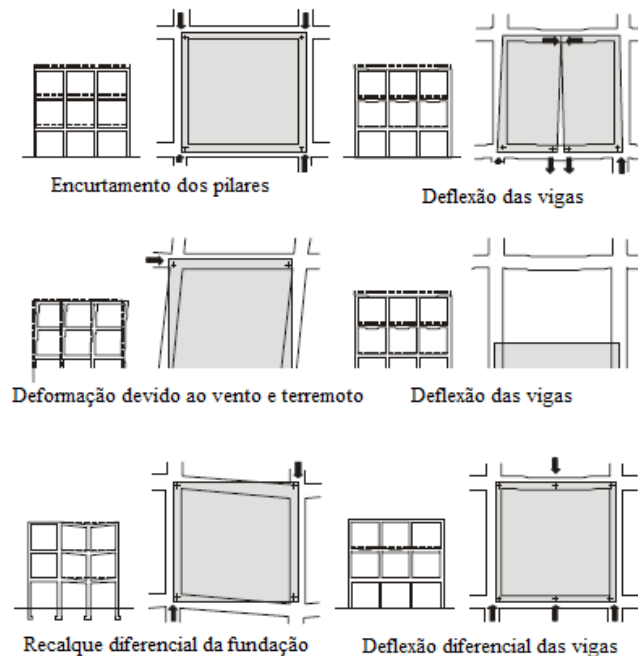
Categoria de uso	Energias de impacto	Descrição dos locais
I	Corpo duro: 3 a 10 Joule Corpo Mole: 60 a 400 Joule	Zona ao nível do solo de fácil acesso para as pessoas e vulnerável ao impacto de corpo duro, sem estar, contudo, sujeito ao uso anormalmente agressivo.
II	Corpo duro: 3 a 10 Joule Corpo Mole: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

Fonte: adaptado de Sousa *et al.*, 2016.

2.9.3 Movimentações estruturais

Os movimentos ocasionados pelo encurtamento dos pilares e flexão das vigas, devido a deformação lenta das peças de concreto onde o revestimento encontra-se fixado, as forças do vento e terremotos responsáveis pelo surgimento de empuxo lateral na estrutura e nos revestimentos, os recalques diferenciais da fundação que incorrem em distorções da estrutura do edifício, além dos esforços transmitidos pelas interações hidrotérmicas, podem sujeitar os revestimentos a esforços não previstos, provocando falhas no sistema de vedação ou até mesmo o colapso da subestrutura auxiliar. Na Figura 40 é possível analisar as deformações estruturais.

Figura 40 – Deformações que o revestimento não aderido está sujeito



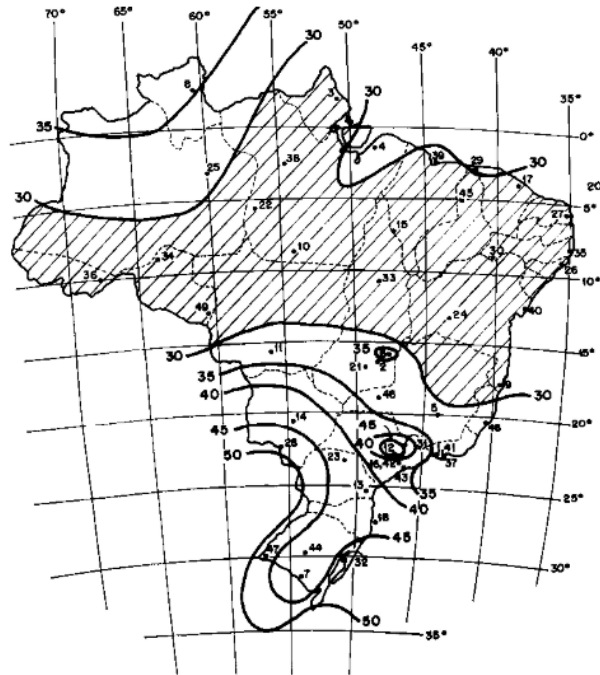
Fonte: adaptado de Allen, 1990.

2.9.4 Vento

Para construções robustas e pesadas o vento não ocasiona grandes problemas, porém para estruturas esbeltas e com a utilização de materiais leves deve ser analisado cautelosamente (BLESSMANN, 2001). A NBR 6123:1988, determina os parâmetros para os cálculos das forças devido ao vento em edificações. Para a região sul, de acordo com o mapa de isopletras da velocidade básica, apresentado na Figura 41, as velocidades utilizadas para fins de projeto ficam entre 40m/s e 50m/s, o que equivale a 144km/h e 180km/h. Pela norma em vigência, calcula-se

o carregamento causado pela ação do vento, por meio das forças estáticas atuantes, sendo que estas devem ser calculadas separadamente para os elementos de vedação e suas fixações.

Figura 41 – Isopletas de velocidade básica V_0 (m/s)



Fonte: NBR 6123:1988.

O cálculo das forças devidas ao vento devem ser calculadas de forma separada as vedações e as fixações como vidros e esquadrias por exemplo, para partes da estrutura, e para a estrutura como um todo. Inicialmente se determina V_0 (velocidade básica do vento) da região onde será executada a obra. Deve-se definir os fatores S_1 (fator topográfico), S_2 (fator de rugosidade do terreno) e S_3 (fator estatístico) para então calcular V_0 (NBR 6123:1988). A norma também expõe o cálculo da pressão dinâmica do vento. Além dos fatores S_1 , S_2 e S_3 , os coeficientes de pressão, forma e força interferem diretamente no dimensionamento das estruturas.

A NBR 15575:2013 parte 4, aborda sobre os requisitos exigidos aos sistemas de vedações verticais internas e externas. Segundo a norma brasileira, o desempenho da estrutura deve se manter íntegro frente as possíveis solicitações recebidas ao longo dos anos de vida útil. Assim, especifica-se que as fachadas devem ser verificadas quanto a cargas laterais uniformemente distribuídas (simulando o carregamento do vento). Em termos de ensaio, realiza-se em um parte significativa da parede, utilizando a solicitação para efeitos de cálculo S_{wk} e γ_w sendo o nível

de desempenho mínimo apresentado pela norma como “M”. O Quadro 6 apresenta os níveis de desempenho que as paredes de fachadas devem apresentar quando solicitadas horizontalmente.

Quadro 6 – Níveis de desempenho que as paredes de fachadas devem apresentar quando solicitadas horizontalmente

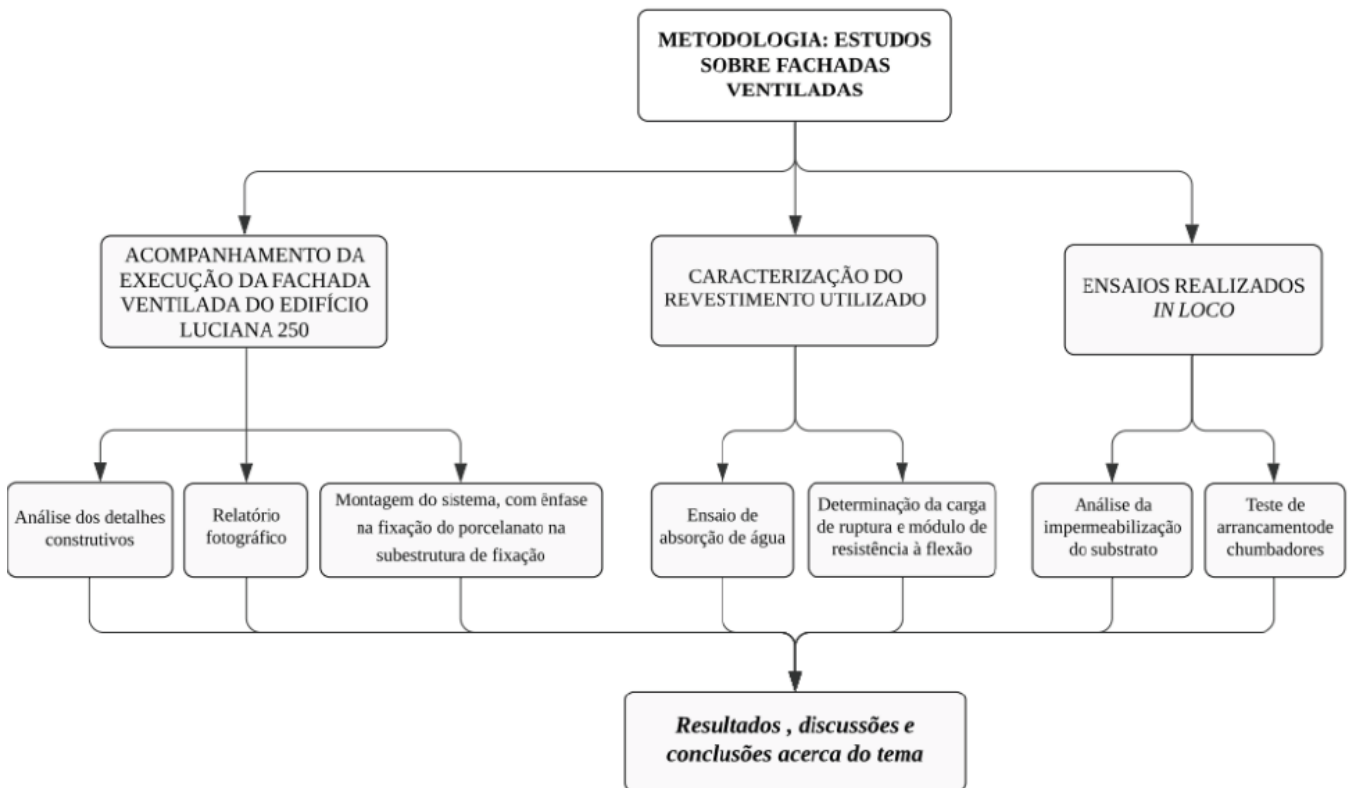
ELEMENTO	SOLICITAÇÃO	CRITÉRIO
SVVE (paredes de fachadas) com ou sem função estrutural	Cargas horizontais: $S_d^a = 0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais ^b ; $d_h \leq h/500$ (SVVE com função estrutural); $d_{hr} \leq h/2500$ (SVVE com função estrutural); $d_h \leq h/350$ (SVVE com função de vedação); $d_{hr} \leq h/1750$ (SVVE com função de vedação);
<p>^b Para paredes de fachadas leves ($G \leq 60 \text{ kgf/m}^2$), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo (d_h) podem atingir o dobro dos indicados nesta tabela.</p> <p>h é a altura do elemento da parede;</p> <p>d_h é o deslocamento horizontal instantâneo;</p> <p>d_{hr} é o deslocamento horizontal residual;</p> <p>S_{gk} é a solicitação característica devido a cargas permanentes</p> <p>S_{wk} é o valor característico da solicitação devida ao vento</p> <p>Estes limites aplicam-se a SVVE destinados a edificações de até 5 pavimentos</p>		

Fonte: adaptado de NBR 15575-4:2013.

3 METODOLOGIA

A metodologia proposta para este trabalho, baseia-se no acompanhamento, análise e estudo dos projetos e execução da fachada ventilada do Edifício Luciana 250. Para cumprir com os objetivos propostos, foram realizadas três frentes principais de estudo. A primeira fase da metodologia envolveu a caracterização do revestimento de porcelanato de fina espessura, sendo executados dois ensaios, de absorção de água e de determinação da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão. Para a segunda frente de estudo, realizou-se ensaios no local da obra para averiguação da impermeabilização utilizada e testes de arrancamento da fixação química na alvenaria e da fixação mecânica em elementos de concreto armado. Para finalizar a metodologia, foi elaborado um relatório fotográfico do acompanhamento da execução da fachada ventilada do Edifício Luciana 250, com ênfase em detalhes construtivos e em acabamentos gerais. No Organograma 1 pode-se visualizar a metodologia adotada para a elaboração do presente trabalho.

Organograma 1 – Metodologia utilizada para elaboração do trabalho



Fonte: autora, 2020.

Será possível analisar e comparar os resultados com a NBR 13818:1997 de métodos de ensaio de revestimentos cerâmicos, com fichas técnicas fornecidas por fabricantes e com o que

foi visualizado no local da obra. Visto que para a realização de projeto e execução de fachadas ventiladas, até o presente momento, não existe norma brasileira.

3.1 Caracterização da pesquisa

A metodologia deste trabalho se caracteriza por ser de natureza qualitativa e quantitativa, com levantamento de dados experimentais.

3.2 Ensaio realizado em laboratório: caracterização do revestimento de porcelanato de fina espessura

O porcelanato utilizado na fachada ventilada foi importado da Itália da empresa *Ceramiche Refin*. A placa de porcelanato importada segue a norma europeia EN 14411 ISO 13006, seguindo o grupo BIa de classificação. A partir dessas informações, foi realizada a caracterização do material, comparando a norma europeia com a NBR 13818:1997, onde apresenta a especificação de métodos e ensaios de placas cerâmicas para revestimento no Brasil.

Os ensaios realizados em laboratório com as placas de porcelanato foram de absorção de água e de flexão de três pontos. Cada ensaio será apresentado nos subtópicos a seguir.

3.2.1 Absorção de água

O ensaio de absorção de água está descrito no Anexo B da NBR 13818:1997. O qual especifica a aparelhagem, preparação dos corpos-de-prova e o procedimento do ensaio.

A primeira etapa consiste na separação dos corpos-de-prova (CP's). O recomendado pela norma são no mínimo de 10 placas. Caso a área da placa for superior a 0,04 m², somente cinco placas inteiras devem ser usadas no ensaio. Evidencia-se que placas com lados maiores que 200 mm podem ser cortadas em placas menores, porém todos os pedaços devem ser incluídos no ensaio. Mesmo a área da placa sendo superior a 0,04m² optou-se por utilizar 10 CP's. As placas para este ensaio possuem dimensões de 14x50cm e foram cortadas na obra, utilizando uma máquina especial para o corte do porcelanato de fina espessura, conforme Figura 42.

Figura 42 – Corpo-de-prova para ensaio de absorção de água



Fonte: autora, 2020.

Após a separação dos CP's, realiza-se a secagem dos mesmos na estufa a uma temperatura de 110 ± 5 °C até que atinjam massa constante, isto é, até que a diferença entre as sucessivas pesagens efetuadas em um intervalo de 24h seja menor que 0,1%. A secagem em estufa é realizada como é possível observar na Figura 43.

Figura 43 – Secagem dos corpos-de-prova em estufa (110 ± 5 °C)



Fonte: autora, 2020.

Passado as 24h, os porcelanatos foram armazenados lado a lado no laboratório até que atingissem temperatura ambiente, podendo assim determinar a massa (m_1) de cada amostra, Figura 44.

Figura 44 – Determinação da massa (m_1) após resfriamento das placas



Fonte: autora, 2020.

Após, emerge-se os corpos-de-prova verticalmente no recipiente cheio de água deionizada ou destilada, não ocorrendo contato entre eles e de maneira que o nível da água esteja 5cm acima das placas, mantendo esse mesmo nível durante todo o ensaio. A água é aquecida até sua fervura, mantendo em ebulição durante 2h. Depois, removeu-se a fonte de aquecimento e as amostras foram colocadas em contato com água em circulação, na temperatura ambiente, para que entrassem em equilíbrio. Atendido o equilíbrio, seca-se a superfície das amostras e é realizada a pesagem das mesmas, obtendo-se desta forma a massa (m_2) do material saturado, Figura 45 e Figura 46.

Figura 45 – Imersão das placas para ensaio de absorção



Fonte: autora, 2020.

Figura 46 – Determinação da massa (m_2) com as placas saturadas



Fonte: autora, 2020.

A expressão que determina a absorção de água (Abs) é expressa percentualmente a partir da equação 2.

$$\text{Abs} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Abs= absorção de água, em percentual;

m_1 = massa seca, em gramas;

m_2 = massa saturada, em gramas.

Os valores limites para o ensaio de absorção de água do tipo de porcelanato que está sendo estudado está presente no Quadro 7.

Quadro 7 – Valores limites para o ensaio de absorção de água

Características físicas	Unidades	Limites
Média	%	≤0,5
Individual (max.)	%	0,6

Fonte: adaptado de NBR 13818:1997.

3.2.2 Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão

O ensaio de determinação do módulo de ruptura por flexão a partir de carregamento em três pontos de placas cerâmicas ao uso como revestimento é normatizado pela NBR 13818:1997, detalhada no anexo C. A norma explica que deve-se utilizar placas inteiras sempre que possível, porém caso tenha mais que 300mm de comprimento, as mesmas podem ser

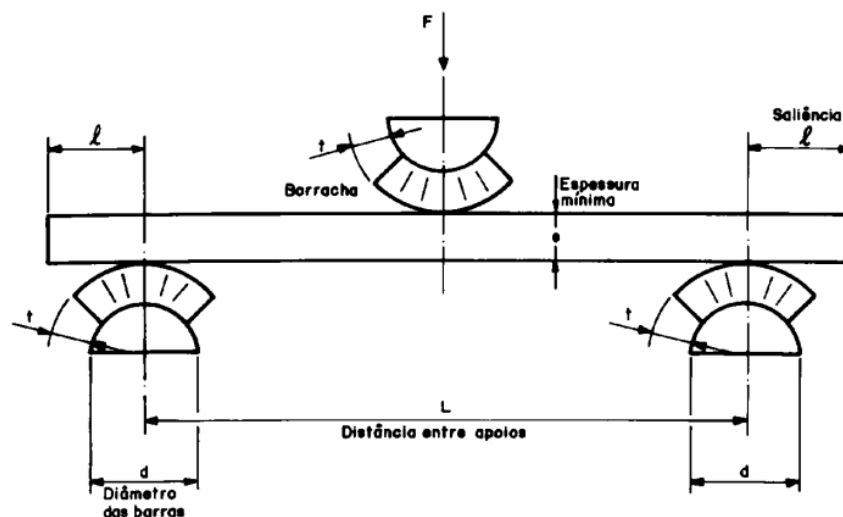
cortadas. Portanto, como as placas deste estudo possuem 75x150cm, as mesmas foram cortadas. O corte da placa foi realizado a partir do tamanho do dispositivo da máquina Emic DL30000N do laboratório de mecânica dos solos e pavimentação da Universidade de Santa Cruz do Sul, chegando a um tamanho de 14x50cm. O dispositivo possui 45cm de comprimento (L) entre os dois apoios inferiores e os roletes possuem largura de 14cm e 3cm de diâmetro (d). Conforme o Quadro 8, onde apresenta a saliência (l) fora do apoio que a placa deve ter, sendo comprimento da placa de 50cm, deve-se ter no mínimo 1cm de saliência para cada lado. Na Figura 47 é possível visualizar o aparelho para o ensaio abordado na norma.

Quadro 8 – Dimensões dos apoios e da barra em milímetros

Comprimento da placa	Diâmetro da barra (L)	Espessura da borracha (t)	Saliência para fora do apoio (l)
≥ 95	20	5	10
$48 \leq e < 95$	10	2,5	5
$18 \leq e < 48$	5	1	2

Fonte: adaptado de NBR 13818:1997.

Figura 47 – Aparelho para determinar o módulo de resistência à flexão e a carga de ruptura



Fonte: NBR 13818:1997.

O número mínimo de corpos-de-prova a ensaiar é referente ao comprimento da placa, portanto de acordo com a norma, como a placa possui comprimento ≥ 48 mm foram necessárias 7 amostras. O procedimento começa com a limpeza da placa com uma escova dura para retirar quaisquer partículas soltas que possam interferir no ensaio. Logo após, seca-se as amostras na

estufa a 110 ± 5 °C até que a diferença entre duas pesagens sucessivas, a intervalos de 2 horas, seja menor que 0,1%, deixando esfriar até a temperatura ambiente. Depois de estarem em temperatura ambiente é realizado o ensaio na máquina, posicionando a barra central para que fique equidistante dos apoios, Figura 48.

Figura 48 – Dispositivo para obtenção da carga de ruptura e módulo de resistência a flexão em três pontos da placa de porcelanato



Fonte: autora, 2020.

Após, aplica-se a força de maneira gradativa, a fim de obter velocidade de aumento de carga à razão de $1 \pm 0,2$ MPa/s, utilizando a equação 3. A ruptura da placa deve ser calculada pela equação 4 anotando a força F. A espessura é medida na seção de ruptura, excluídas as bordas da seção de ruptura.

$$MRF = \frac{3F \times L}{2b} \times e_{min}^2 \quad (3)$$

Onde:

MRF = módulo de resistência a flexão, em MPa;

e_{min} = mínima espessura do corpo de prova, em milímetros.

$$CR = \frac{F \times L}{2} \quad (4)$$

Onde:

CR = carga de ruptura, em N;

F = força de ruptura, em N;

L= distância entre barras de apoio, em milímetros;

b= largura do corpo-de-prova ao longo da ruptura após ensaio, em milímetros.

O Quadro 9 apresenta os valores limites de aceitação dos resultados conforme o que está exposto na NBR 13818:1997.

Quadro 9 – Requisitos para aceitação do porcelanato de acordo com a determinação da carga e módulo de resistência a flexão

Requisitos		Unidade	Limites
Módulo de Resistência à Flexão	Média	Mpa	≥ 35
	Individual (mín.)	MPa	32
Carga de Ruptura	$e \geq 7,5\text{mm}$	N	≥ 1300
	$e < 7,5\text{mm}$	N	≥ 700

Fonte: adaptado de NBR 13818:1997.

3.3 Ensaios realizados *in loco*

Neste subtópico serão apresentados os ensaios executados na obra do Edifício Luciana 250, estudo de caso deste trabalho. Os ensaios abrangem a análise da impermeabilização do substrato, com os ensaios de permeabilidade e cachimbo, e a fixação química na alvenaria e em elementos de concreto armado.

3.3.1 Análise da impermeabilização do substrato

A análise da impermeabilização do substrato utilizado na fachada abrange dois produtos. Os produtos são o Viaplus 7000, da empresa Viapol, e o Sto Gold Coat 80265, da empresa Sto Brasil. Serão analisados os dados fornecidos pelos fabricantes e resultados dos ensaios realizados, avaliando a melhor opção para ser utilizada junto a fachada ventilada.

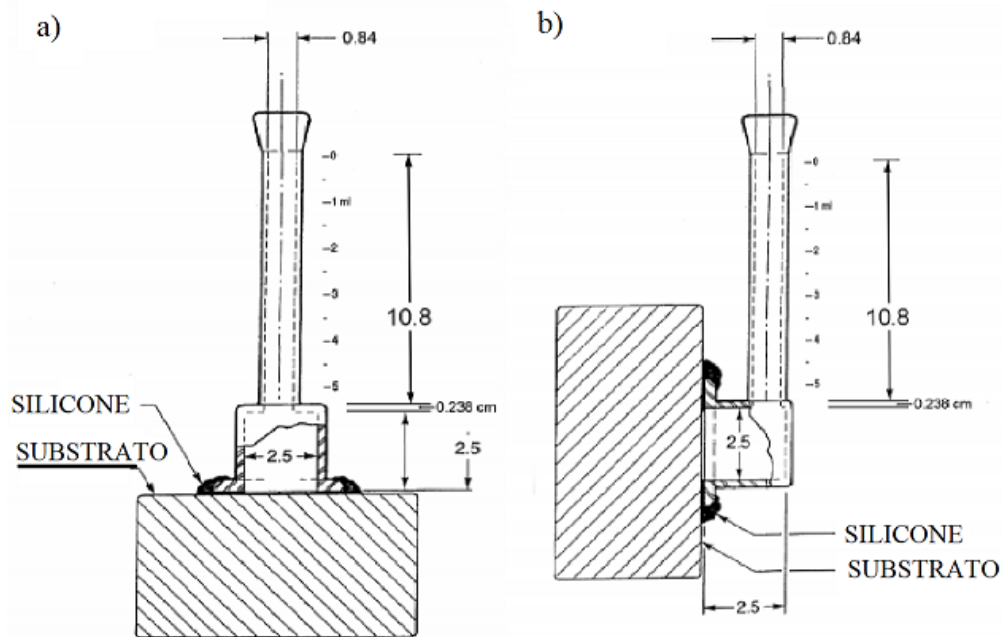
3.3.1.1 Ensaio de permeabilidade pelo método do cachimbo

O método do cachimbo é prescrito pelo NIT n° 224:2002 do *Centre Scientifique et Technique de la Construccin* (CSTC) e pelo *test method* n° II.4 (1987) da *Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages* (RILEM). Este método se caracteriza pela facilidade de execução, podendo ser realizado em laboratório ou *in loco*, avaliando a quantidade de água que penetra no material.

Segundo o *test method* n° II.4 da RILEM (1987), esse ensaio se baseia na teoria de que os materiais utilizados na construção civil são porosos, portanto em certo nível, todos são permeáveis a água. O interior da estrutura de um revestimento ou alvenaria é constituído por um sistema de finos poros interconectados.

A quantidade de penetração da chuva depende das condições predominantes do vento, bem como da composição e condição da superfície exposta. Assim foi desenvolvido esse método para analisar o volume de água absorvida por um material dentro de um período de tempo especificado. Observa-se na Figura 49 o dispositivo do método do cachimbo, como é chamado no Brasil, montado para a realização do ensaio, a letra a) apresenta a execução do ensaio em superfície horizontal e a letra b) apresenta o ensaio realizado em superfície vertical, o qual foi utilizado neste estudo.

Figura 49 – Método do cachimbo (RILEM)

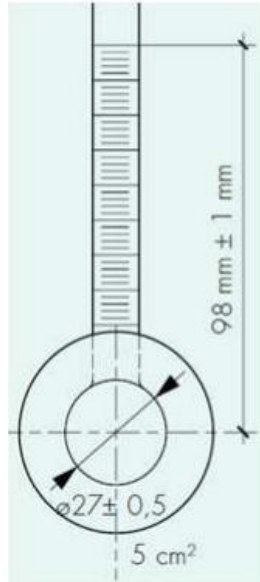


Fonte: adaptado de RILEM *Test method* II.4, 1987.

O procedimento consiste na fixação de tubos de vidro graduados de 0 a 4 ml ($1\text{ ml} = 1\text{ cm}^3$) em forma de “L”, conhecidos como tubos de Carsten. A fixação ocorre a partir da aplicação de silicone. A única divergência em relação a CTSC NIT n° 224:2002 e a RILEM *Test method* II.4 (1987) é no intervalo de verificação do volume percolado. Por essa razão, juntou-se ambas normativas verificando o volume de água que percola nos intervalos de 1, 5, 15, 30, 60 e 90

minutos, repondo-se a água a cada verificação. A Figura 50 apresenta o tubo *Carsten*, popularmente conhecido como cachimbo.

Figura 50 – Método do cachimbo (CSTC)



Fonte: CSTC NIT 224:2002.

Segundo o CSTC NIT 224:2002 a pressão exercida sobre a superfície do revestimento ($5,31 \text{ cm}^2$) é equivalente à 98 mm de altura de água, ou à uma pressão dinâmica de vento de aproximadamente 150 km/h. Visualiza-se na Figura 51 as etapas de execução do método do cachimbo.

Figura 51 – Etapas de execução do Método do Cachimbo



Fonte: autora, 2020.

Este ensaio mede tanto a permeabilidade devido à pressão da coluna d'água sob a superfície quanto a absorção causada pelo contato da água com o revestimento (DIAS e CARASEK, 2003). Ainda segundo as autoras, por ser um ensaio ainda não normalizado no Brasil, a análise de resultados ainda é feita comparando-se as médias das leituras com outros resultados, geralmente obtidos através de experimentos em laboratório.

3.3.2 Teste de arrancamento de chumbadores químicos na alvenaria e em elementos de concreto armado

O teste de arrancamento de chumbadores, tanto mecânicos quanto químicos, é regido pela NBR 14827:2002 que trata sobre a determinação de resistência à tração e ao cisalhamento de chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria. No presente trabalho foram realizados ensaios de arrancamento de chumbadores químicos em blocos de alvenaria de 7 e 18 MPa e de chumbadores mecânicos em elementos de concreto armado, vigas e pilares, para analisar o desempenho do suporte em relação à segurança estrutural oferecida pela ancoragem escolhida para a fachada. Está registrado na Figura 52 os locais de ensaio, a letra a) sendo um elemento de concreto armado e a letra b) de alvenaria.

Figura 52 – Análise dos substratos para ensaio de arrancamento



Fonte: autora, 2020.

A NBR 14827:2002 estabelece que deve ser ensaiada no mínimo cinco chumbadores que serão utilizados no sistema. Assim, foram ensaiados seis pontos em elementos de concreto armado, seis pontos em blocos de 7 MPa e seis pontos em blocos de 18 MPa, totalizando 18 testes de arrancamento.

Para a realização do ensaio na obra, foi utilizado um equipamento calibrado que verifica o esforço máximo suportado pelo chumbador. O ensaio teve início com a marcação dos pontos de ensaio. Após, é adicionado um olhal no chumbador fixado, compatível com o diâmetro do mesmo, apresentado na Figura 53.

Figura 53 – Chumbador com olhal utilizado no ensaio



Fonte: autora, 2020.

O equipamento, Figura 54, traciona o olhal e conseqüentemente o chumbador, mostrando o resultado em kgf da carga máxima de tração suportada até o momento da ruptura do substrato ou do próprio chumbador.

Figura 54 – Equipamento utilizado para o ensaio de arrancamento



Fonte: autora, 2020.

3.3.3 Análise do projeto e execução da fachada

Para finalizar a metodologia, foi realizada uma análise dos detalhes construtivos da fachada ventilada do Edifício Luciana 250, com relatório fotográfico. Essa análise será dividida em organização e logística no canteiro de obras, estrutura de suporte, material isolante de lã de rocha e revestimento de porcelanato.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentadas as análises referentes ao Edifício Luciana 250, estudo de caso do presente trabalho. Essas análises englobam os resultados dos ensaios experimentais tanto em laboratório quanto no local da obra. Além do acompanhamento da execução da fachada ventilada, foi realizada a caracterização de seu revestimento e a avaliação do sistema de fixação.

4.1 Apresentação do estudo de caso

O estudo de caso deste trabalho acadêmico é a fachada ventilada do Edifício Luciana 250, localizado na rua Luciana de Abreu, Bairro Moinhos de Vento, na cidade de Porto Alegre. O edifício, conta com doze pavimentos, é considerado de alto padrão e está sendo executado pela Wolens Incorporadora. O revestimento exterior é com porcelanato de fina espessura, contando com uma subestrutura de fixação e isolamento térmico de lã de rocha. Visualiza-se a localização do edifício na Figura 55 e o projeto da fachada frontal do empreendimento está apresentado na Figura 56.

Figura 55 – Localização do Edifício Luciana 250



Fonte: adaptado de Wolens Inc, 2020. Disponível em: <<http://wolensinc.com.br/c/luciana>>.

Figura 56 – Fachada do empreendimento Luciana 250

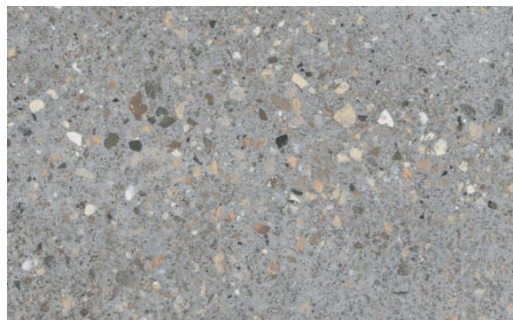


Fonte: fornecido pela construtora Wolens, 2019.

4.2 Caracterização das placas de porcelanato de fina espessura

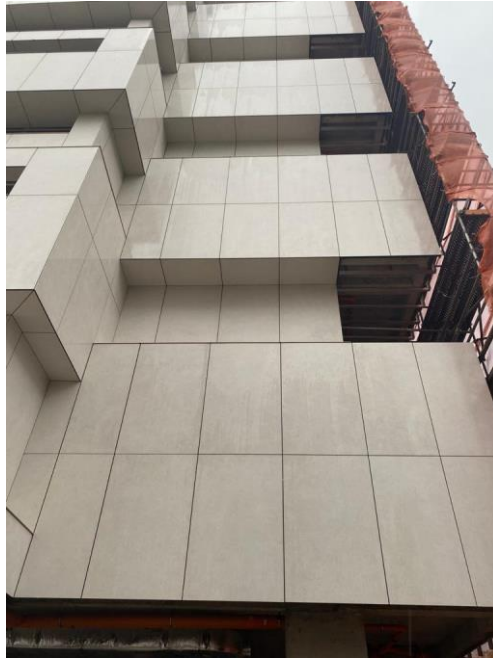
O revestimento utilizado na fachada ventilada é o porcelanato de grandes dimensões e fina espessura da Empresa *Refin Ceramiche*, sede na Itália. As placas são da linha *Mold - Concrete Blend*, onde possui o estilo “*Mist*”, que significa névoa em português, trazendo uma cor praticamente branca para fachada. As peças encomendadas foram fabricadas especialmente para o empreendimento. A placa foi encomendada com tamanho padrão de 280x120cm e com espessura de 6,60mm, todas os outros tamanhos necessário referentes ao projeto de paginação, foram cortadas. A placa possui concreto misturado manualmente com pedras e cascalho de grossura variável, lembrando moldes de concreto fresco. Na Figura 57 é possível visualizar os detalhes das pedras e cascalhos misturados aleatoriamente na peça. Já na Figura 58, observa-se a placa de porcelanato na fachada, e na Figura 59 pode ser visualizada a espessura da placa.

Figura 57 – Detalhes da peça de porcelanato



Fonte: Catálogo *Refin Ceramiche Mold – Concrete Blend*, 2018.

Figura 58 – Porcelanato utilizado na fachada ventilada



Fonte: autora, 2020.

Figura 59 – Espessura da placa



Fonte: autora, 2020.

Conforme a NBR 13817:1998, os revestimentos cerâmicos podem ser divididos de acordo com o acabamento superficial, podendo ser esmaltados ou não esmaltados. Pode ser classificado também em relação ao seu modo de conformação, em extrudados, prensados ou fabricados por outros processos, e ainda pelo índice de absorção de água. Citando a ISO 13006:2012, as placas cerâmicas são divididas em grupos de acordo com o os processos de fabricação e pela absorção de água da placa. Os materiais cerâmicos usualmente são fabricados, à temperatura ambiente, por extrusão (Grupo A), ou prensagem a seco (Grupo B), podendo ainda serem fabricados por outros processos (Grupo C). A maior diferença entre os processos de fabricação do Grupo A e do B é na fase de conformação, no primeiro a pasta é extrudada em feiras, sendo um processo

bem delicado e complexo, e no segundo se realiza a prensa da pasta a partir de equipamentos hidráulicos. Podemos verificar que tanto a norma brasileira quanto a europeia possuem os mesmos critérios de classificação do porcelanato por grupos e pelo índice de absorção de água.

4.2.1 Ensaio de absorção de água

A absorção de água está diretamente ligada a porosidade aberta dos revestimentos cerâmicos, portanto quanto menor for a porosidade e menor for a absorção de água, as características como resistência mecânica e química são melhores, por exemplo. De acordo com a ISO 13006:2012 esse ensaio é considerado um ensaio necessário e de grande importância, pois o mesmo realiza a classificação do revestimento cerâmico, podendo acarretar na exclusão do produto da classe de porcelanatos e afetando na qualidade final da placa.

Consideram-se três níveis de absorção de água, nível de baixa absorção, menor ou igual a 3%, média absorção de água, sendo entre 3% e 10%, e placas com alta absorção sendo acima de 10% (NBR 13817:1998). Ainda segundo a norma brasileira, o Quadro 10 mostra a classificação dos materiais cerâmicos relacionados com a capacidade de absorção de água da placa e seu processo de conformação.

Quadro 10 – Grupos de absorção de água em função dos métodos de fabricação

Absorção de água (%)	Métodos de fabricação		
	Extrusão (A)	Prensagem (B)	Outros (C)
Grupo Ia $0\% < \text{Abs} \leq 0,5\%$	AI	Bla	CI
Grupo Ib $0,5\% < \text{Abs} \leq 3\%$		Blb	
Grupo IIa $3\% < \text{Abs} \leq 6\%$	AIa	BIIa	CIIa
Grupo IIb $6\% < \text{Abs} \leq 10\%$	AIb	BIIb	CIIb
Grupo III $\text{Abs} > 10\%$	AIII	BIII	CIII

Fonte: adaptado de NBR 13817:1997.

Segundo o fabricante, o porcelanato avaliado se enquadra no Grupo B, na categoria “Ia” de baixa absorção de água, sendo a absorção da placa menor ou igual a 0,5%. A NBR 13818:1997, demonstra que esse tipo de placa com a classificação BIa possui baixa absorção de água e consequentemente alta resistência mecânica. A Tabela 3 apresenta o resultado obtido

a partir do ensaio de absorção das placas de porcelanato utilizadas na obra. Todos os CP's tinham o mesmo tamanho de 14x50cm.

Tabela 3 – Absorção de água das placas ensaiadas

CP	Massa seca m₁ (g)	Massa saturada m₂ (g)	Médias individuais (%)
1	537,80	539,00	0,22
2	507,90	509,10	0,24
3	524,90	526,40	0,29
4	531,20	532,50	0,24
5	535,80	537,00	0,22
6	535,50	536,80	0,24
7	529,50	530,90	0,26
8	514,90	516,30	0,27
9	524,20	525,50	0,25
10	507,30	508,50	0,24
Média geral			0,25
Desvio padrão			0,02
Coefficiente de variação			8,86

Fonte: autora, 2020.

Analisando os resultados, todos ficaram dentro dos limites impostos pela norma brasileira para a placa de porcelanato. Resultados individuais inferiores a 0,6% de absorção de água e média geral $\leq 0,5\%$. O desvio padrão e o coeficiente de variação está apresentado na tabela para provar a homogeneidade dos resultados.

Na ficha técnica do produto Italiano, está exposto que o ensaio de absorção de água segue as normativas internacionais ISO 13006:2012 e UNI EN ISO 10545-3:2018. A ISO 13006:2012 especifica o grupo onde está inserido o porcelanato, o B1a, obtendo a mesma porcentagem de absorção máxima exposta na norma brasileira, de $Abs \leq 0,5\%$. Já a ISO 10545-3:2018 apresenta a metodologia do ensaio de absorção de água, que é realizado a vácuo ($\pm 10kPa$) por mais ou menos 30 min e depois as placas são imersas em água por 15 minutos. Seguindo os métodos desse ensaio, é possível verificar além da absorção de água, os índices físicos de porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Ainda segundo a ficha técnica, além do que foi exposto acima, o fabricante diz que esse específico porcelanato possui uma absorção de água máxima de 0,2%.

A partir da normativa internacional, foi elaborada a NBR ISO 10545-3:2020, a qual cancela o ensaio de absorção que utiliza da metodologia por fervura da NBR 13818:1997.

Esse valor permitido pelas normativas de absorção de água é muito pequeno, assim qualquer mínimo problema relacionado ao método de ensaio pode ocasionar resultados pouco confiáveis. Portanto, é necessário um estudo aprofundado das metodologias de ensaio de absorção de água para que seja avaliado o método que melhor preenche toda porosidade aberta, revelando o grau real de absorção do produto analisado.

4.2.2 Ensaio de flexão por carregamento em três pontos

O ensaio de flexão por carregamento em três pontos é um dos mais comuns utilizados para caracterização dos revestimentos cerâmicos. Esse ensaio foi realizado a partir da NBR 13818:1997, devidamente apresentado na metodologia. Essa norma especifica que sempre que possível, deve-se ensaiar as placas inteiras. Porém, como as placas utilizadas em obras possuem grandes dimensões e tamanhos variados, optou-se por cortar peças de acordo com o tamanho da máquina Emic DL30000N do laboratório de mecânica dos solos e pavimentação da Universidade de Santa Cruz do Sul, chegando a um tamanho de 14x50cm, mesmo tamanho aproveitado para o ensaio de absorção de água. Os resultados obtidos de força de ruptura e módulo de resistência a flexão estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Forças de ruptura e módulo de resistência a flexão das placas

CP	Força de ruptura (N)	Módulo de resistência a flexão (MPa)
1	436,50	48,31
2	393,90	43,60
3	376,80	41,71
4	430,30	47,63
5	389,80	43,14
6	402,20	44,52
7	414,50	45,88
Média geral	406,29	44,97
Desvio padrão	21,86	2,42
Coefficiente de variação	5,38%	5,38%

Fonte: autora, 2020.

Analisando os resultados, percebe-se que as placas de porcelanato ensaiadas não obtiveram valores satisfatórios em relação a carga de ruptura. As placas ensaiadas obtinham

espessura de 6,60mm, portanto deveriam atingir valores iguais ou maiores que 700N, segundo as normativas.

Expondo os resultados do módulo de resistência a flexão, obteve-se valores dentro dos limites instituídos para a classificação da placa. Tanto os resultados individuais quanto a média geral ficaram acima de 40MPa. O valor limite imposto para aceitação da placa no ensaio era de maior ou igual a 35MPa para a média geral e de 32MPa para os resultados individuais. Analisa-se na Figura 60 o momento em que a placa rompe.

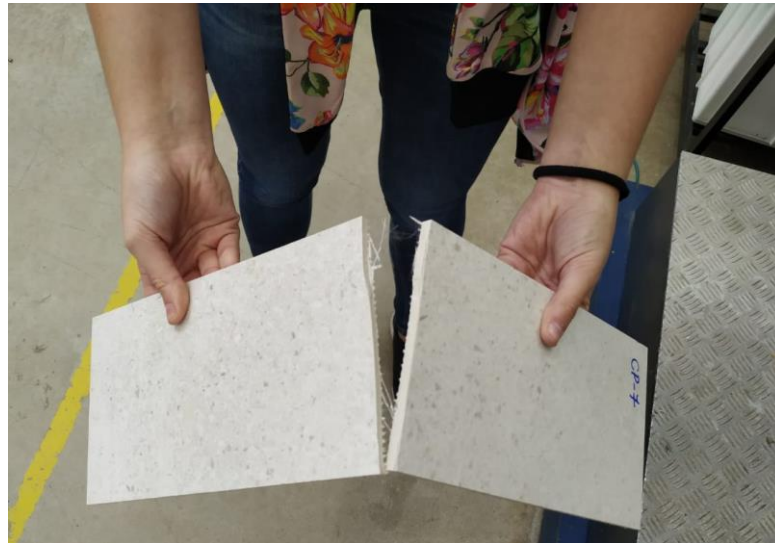
Figura 60 – Ruptura da placa de porcelanato



Fonte: autora, 2020.

O porcelanato ensaiado segue as normas da Europa, como já mencionado anteriormente. Esse ensaio é regido pela ISO 13006:2012 e UNI EN ISO 10545-4:2019, em que apresenta os mesmos valores limites que a NBR 13818:1997. A partir desse ano de 2020 no Brasil passa a valer a NBR ISO 10545-4:2020, que foi formula seguindo todo conteúdo técnico da ISO. A maior diferença entre os ensaios é que a adoção dessa normativa estabelece para alguns casos, que as amostras devem ser obrigatoriamente cortadas. Visualiza-se na Figura 61 a ruptura no centro da placa, a qual ocorreu em todas as amostras ensaiadas.

Figura 61 – Verificação da ruptura da placa



Fonte: autora, 2020.

Segundo o artigo publicado por Dermarch *et al.* (2019), sob o título “Análise da nova metodologia da ISO 10545 para determinação da carga de ruptura e resistência a flexão de revestimentos cerâmicos”, verifica-se que na versão anterior, de 2014, o ensaio era realizado com amostras inteiras e na atual revisão de 2019, as amostras podem ou devem ser cortadas, dependendo do seu tamanho, e a normativa expõe o método correto para o corte. Basicamente o trabalho analisou se as alterações de cortes nas placas afetariam de forma significativa os resultados de carga de ruptura e módulo de resistência a flexão. De acordo com os resultados dos autores, fica confirmado com 95% de confiança que existe diferenças entre ensaios realizados com amostras inteiras e com amostras cortadas. Portanto sempre que a norma indicar que é obrigatório realizar o corte das peças, esse corte de fato, deverá ser realizado.

Comparando com a NBR 13818:1997 que foi utilizada na execução do ensaio do presente trabalho, a mesma prevê que as placas podem ser cortadas caso as mesmas possuam mais que 300mm de comprimento, porém sempre que possível, deve-se utilizar placas inteiras. A mesma normativa porém não prevê métodos de corte, apenas indica que os corpos-de-prova devem ser retangulares, cuidando para o centro do mesmo coincidir com o centro da placa original.

4.3 Análise da impermeabilização do substrato

A impermeabilização da base de suporte de uma fachada ventilada normalmente é realizada para evitar a ocorrência de patologias. Como ainda não existe uma norma brasileira que ajude na elaboração de projetos e etapas de execução de uma fachada ventilada, coloca-se

em evidência que todas as práticas preventivas devem ser executadas, incluindo a impermeabilização. Apesar da quantidade de água pluvial que passa na câmara-de-ar e chega até o substrato ser bem reduzida, é de extrema necessidade garantir a estanqueidade do sistema, evitando que a água infiltre para o interior da edificação causando patologias recorrentes. Assim, visando um melhor desempenho do conjunto da fachada, foram realizados ensaios de dois produtos impermeabilizantes utilizados no substrato. O Quadro 11 e o Quadro 12 mostram os resultados obtidos no local da obra pelo método do cachimbo em dois produtos de empresas diferentes.

Quadro 11 – Análise do produto Sto *Gold Coat* 80265 – resultados em ml

Cachimbo	Local	Tempo de medição (min)					
		1	5	15	30	60	90
1	Bloco	0	0	0	0	0	0
2	Junta	0	0	0	0	0	0
3	Bloco	0	0	0	0	0	0
4	Bloco	0	0	0	0	0	0
5	Junta	0	0	0	0	0	0

Fonte: autora, 2020.

Quadro 12 – Análise do produto Viaplus 7000 – resultados em ml

Cachimbo	Local	Tempo de medição (min)					
		1	5	15	30	60	90
1	Bloco	0	0	0	0	0	0
2	Junta	0	0	0	0	0	0
3	Bloco	0	0	0	0	0	0
4	Bloco	0	0	0	0	0	0
5	Junta	0	0	0	0	0,1	0

Fonte: autora, 2020.

Na ficha técnica do produto Sto *Gold Coat* 80265 (2013), está especificado que esse impermeabilizante é uma membrana de barreira de ar à prova de água. Esse produto normalmente é aplicado em revestimentos verticais acima do nível do solo e alvenaria de concreto. Importante ressaltar que o produto foi aprovado no teste de fogo, e o mesmo não ocasiona aumento de perigo, visto que o estudo da propagação do fogo em uma fachada ventilada é de extrema necessidade. No teste do método do cachimbo, que foi executado tanto no bloco quanto na junta, não apresentou nenhuma penetração de água no decorrer de 90 minutos de ensaio. Na Figura 62, pode-se observar a execução do método do cachimbo no impermeabilizante da Empresa Sto.

Figura 62 – Aplicação do método do cachimbo no produto Sto Gold Coat 80265



Fonte: autora, 2020.

Na ficha técnica do produto Viaplus 7000 (2019), apresenta que esse é um impermeabilizante flexível, bi componente à base de resinas termoplásticas e cimentos com aditivos e incorporação de fibras sintéticas (polipropileno). Essa composição resulta em uma membrana de polímero modificado com cimento de características de resistência, flexibilidade e impermeabilidade. Esse produto é indicado para impermeabilização de áreas com constante presença de água ou áreas permanentemente úmidas, como reservatórios de água ou piscinas de concreto enterradas. Apesar de não ser específico para impermeabilização de paredes externas, a empresa optou por testar o produto, pois o mesmo garante bom desempenho frente a grandes quantidades de água. No ensaio do método do cachimbo, que foi executado tanto no bloco quanto na junta, apresentou penetração de 0,1 ml de água na verificação de 60 minutos de ensaio, repôs-se a água e na última verificação não houve nenhuma alteração, permanecendo sem penetração de água. A execução do método do cachimbo no impermeabilizante da Empresa Viapol é possível ser visualizado na Figura 63.

Figura 63 – Aplicação do método do cachimbo no produto Viaplus 7000



Fonte: autora, 2020.

De acordo com os estudos relacionados a fachadas ventiladas, percebe-se a necessidade da impermeabilização do substrato antes da instalação das ancoragens. Garantindo que a interface entre a alvenaria e a subestrutura de fixação não venha a ter problemas de infiltração de água gerando trincas ou prejudicando o sistema da fachada como um todo.

4.4 Teste de arrancamento

O teste de arrancamento foi realizado a partir do que foi exposto na metodologia, com o equipamento específico para esse ensaio, Prevq Teste 210, com capacidade de 2.000 kgf, sendo executado pela MMC Lab. Para fins de comparação, foram realizados testes de arrancamento dos chumbadores químicos em blocos de 7 e 18MPa, embora a fixação da fachada ventilada tenha acontecido apenas nos blocos de 18MPa. E para uma análise geral das fixações, realizou-se o teste de arrancamento em elementos de concreto armado, os quais obtinham fixação mecânica.

Como já mencionado, a fixação química da subestruturada da fachada ventilada ocorreu em blocos cerâmicos estruturais de 18MPa da Pauluzzi, com dimensões de 14x19x28cm. A escolha desse bloco ocorreu por conta da espessura da parede de cerca de 3cm, não sendo necessário realizar o grauteamento. A Figura 64 apresenta o bloco cerâmico utilizado na obra.

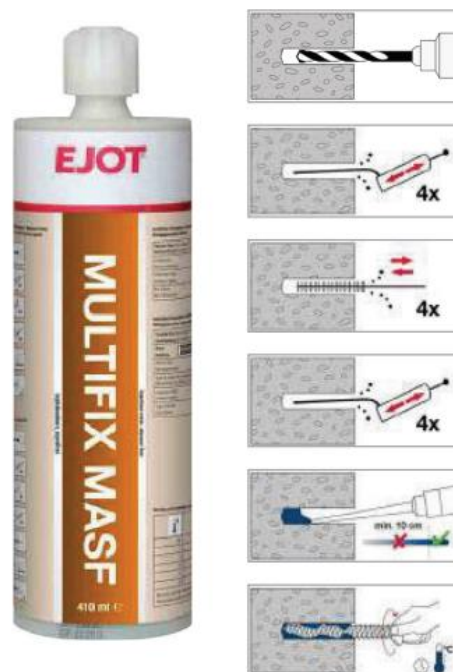
Figura 64 – Bloco cerâmico estrutural 18MPa



Fonte: Caderno Pauluzzi, 2011.

O chumbador químico é da marca Ejot Fey, Ejot Multifix Masf, Figura 65, específico para alvenaria de tijolo perfurado. O produto é de injeção bicomponente de metacrilato, sem estireno e com baixo odor, ideal para utilização com barras rosqueadas. De acordo com o fabricante, as principais características são para uso de altas cargas, alta durabilidade, resistência a água e avaliado para casos de incêndio.

Figura 65 – Chumbador químico



Fonte: Catálogo de chumbadores químicos Ejot Fey, 2015.

As barras rosqueadas utilizadas foram as de 5/16”, também da mesma marca, Figura 66. Para alvenaria de blocos vazados, utilizam-se as camisas de injeção que favorecem na difusão do material no interior do bloco. A Tabela 5 apresenta as recomendações do fabricante para a fixação do chumbador.

Figura 66 – Barra rosqueada e camisa de injeção Ejot Fey para fixação química



Fonte: Catálogo de chumbadores químicos Ejot Fey, 2015.

Tabela 5 – Recomendações do fabricante para fixação do chumbador químico

Diâmetro (pol)	Comprimento (mm)	Prof. de emb. mín. em alvenaria (mm)	Prof. de emb. mín. em concreto (mm)	Diâmetro do furo em concreto/alvenaria (mm)
5/16"	110	50	60	10

Fonte: Catálogo de chumbadores químicos Ejot Fey, 2015.

Os resultados do teste de arrancamento de chumbadores químicos na alvenaria de blocos cerâmicos de 18MPa está exposto no Quadro 13.

Quadro 13 – Resultados do teste de arrancamento em blocos de 18MPa

Amostra	Patamar de carregamento (kgf)	Carga aplicada (kgf)	Força de ruptura (N)	Solicitação
1	150	158	1549,51	Atendida
2	150	153	1500,47	Deformação excessiva/ Não atendida
3	150	262	2569,43	Atendida
4	150	342	3353,99	Atendida
5	150	30	294,21	Não atendida
6	150	71	696,30	Não atendida
Média		169,33	1660,65	
Desvio Padrão		116,52	1142,67	

Fonte: autora, 2020.

A barra rosqueada tem resistência a tração recomendada de 9070N, segundo o catálogo do fabricante, mas como a carga máxima suportada pelo conjunto foi de 3354N, significa que a barra sozinha teria capacidade de suportar mais carga, porém o que resistiu menos foi o conjunto. Tanto a barra rosqueada como o chumbador químico apresentaram bom desempenho,

atendendo o que foi prometido pelo fabricante, mostrando a confiabilidade do produto. Nota-se na Figura 67 como é a fixação pontual na qual foi realizado o teste de arrancamento em blocos de 18MPa.

Figura 67 – Fixação pontual testada nos blocos cerâmicos estruturais de 18MPa



Fonte: autora, 2020.

Pode-se visualizar as rupturas ocorridas no bloco cerâmico na Figura 68. Nota-se um padrão em todas as amostras, pois ocorreram rupturas no bloco em forma cone. Todas as rupturas ocorreram no substrato e não na haste, conforme se observa na Figura 69, as barras rosqueadas estavam inteiras após o ensaio.

Figura 68 – Ruptura ocorrida nos blocos de 18MPa



Fonte: autora, 2020.

Figura 69 – Chumbador químico após o teste de arrancamento



Fonte: autora, 2020.

O arrancamento das barras rosqueadas que vieram com restos do material bicomponente e com a camisa de injeção, pode ter ocorrido devido a falhas no momento de misturar corretamente o material ou na hora da limpeza do furo, pois o mínimo de poeira dificulta a aderência do material, provocando a ruptura do conjunto.

Para fins de comparação, foi analisado a fixação química em bloco cerâmico estrutural de 7MPa da Pauluzzi, conforme a Figura 70.

Figura 70 – Bloco cerâmico estrutural 7MPa



Fonte: Caderno Pauluzzi, 2011.

Foram utilizados os mesmos materiais da Ejot Fey e o resultado do teste de arrancamento está exposto no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultados do teste de arrancamento em blocos de 7MPa

Amostra	Patamar de carregamento (kgf)	Carga aplicada (kgf)	Força de ruptura (N)	Solicitação
1	150	236	2314,45	Atendida
2	150	319	3128,43	Atendida
3	150	288	2824,42	Atendida
4	150	249	2441,94	Atendida
5	150	313	3069,59	Atendida
6	150	178	1745,65	Atendida
Média		263,83	2587,41	
Desvio Padrão		53,68	526,42	

Fonte: autora, 2020.

A principal diferença do bloco de 18MPa para o de 7MPa, é que o último possui mais ocos. De acordo com os resultados, a fixação química nos blocos de 7MPa apresentaram um resultado médio de força de ruptura melhor do que a fixação em blocos de 18MPa. Esse resultado se dá pela quantidade de ocos que o bloco de 7MPa possui, proporcionando mais aderência ao bicomponente químico. As rupturas no bloco ocorreram em cone, conforme consta na Figura 71, da mesma forma que no outro bloco.

Figura 71 – Análise de ruptura ocorrida nos blocos de 7MPa

Fonte: autora, 2020.

As especificações dos chumbadores mecânicos são de 5/16” de diâmetro, também da empresa Ejot Fey, fazendo o uso da broca 8, Figura 72. As recomendações do fabricante estão

apresentadas na Tabela 6. Toda a fixação em elementos de concreto armado foi realizado com chumbadores mecânicos.

Figura 72 – Chumbador mecânico Ejot BA-V de aço galvanizado



Fonte: Catálogo de chumbadores mecânicos Ejot Fey, 2015.

Tabela 6 – Recomendações do fabricante para fixação do chumbador mecânico

Diâmetro (pol)	Comprimento (mm)	Esp. de fixação $t_{fix} \leq$ (mm)	Prof. do furo $h_l \geq$ (mm)	Prof. de embutimento $h_{ef} \geq$ (mm)
5/16"	112	50	60	45

Fonte: Catálogo de chumbadores mecânicos Ejot Fey, 2015.

Apresenta-se os resultados do teste de arrancamento em elementos de concreto armado no Quadro 15.

Quadro 15 – Resultados do teste de arrancamento em elementos de concreto armado (vigas e pilares)

Amostra	Patamar de carregamento (kgf)	Carga aplicada (kgf)	Força de ruptura (N)
1	Até a ruptura	1507	14779,15
2	Até a ruptura	1504	14749,73
3	Até a ruptura	1684	16514,99
4	Até a ruptura	1576	15455,83
5	Até a ruptura	1570	15396,99
6	Até a ruptura	1568	15377,38
Média		1568,17	15379,01
Desvio Padrão		65,33	640,70

Fonte: autora, 2020.

Através dos resultados, constata-se que o concreto armado se apresentou como um bom substrato para o chumbador mecânico, resistindo cerca de sete vezes mais o que o fabricante prometeu na ficha técnica. Foi possível observar, através dos testes realizados, desvios padrão significativos. Essa variação pode se dar em virtude da execução, por exemplo. Analisa-se a fixação onde foi realizado o teste no concreto armado na Figura 73 e a realização do ensaio no

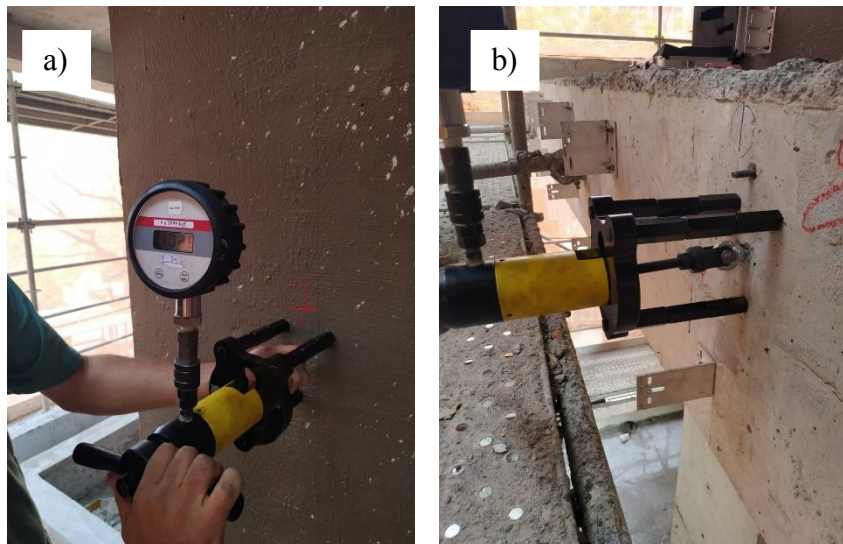
pilar e na viga na Figura 74. Em nenhum teste houve a ruptura aparente do concreto e nem a ruptura da haste do chumbador.

Figura 73 – Fixação pontual de chumbador mecânico em elemento de concreto armado



Fonte: autora, 2020.

Figura 74 – Teste de arrancamento a) pilar e b) viga



Fonte: autora, 2020.

4.5 Acompanhamento da execução da fachada ventilada do Edifício Luciana 250

O acompanhamento da execução da fachada ventilada teve como principal objetivo registrar os detalhes construtivos de estrutura de suporte, material isolante, encaixe do revestimento e organização e logística dentro do canteiro de obra.

4.5.1 Organização e logística

A concepção da fachada ventilada foi escolhida para o projeto do edifício Luciana 250 pelo conjunto de benefícios como o isolamento acústico, processo de execução rápido e limpo, com consequente diminuição de resíduos e um ótimo acabamento externo, com pouquíssimas chances de ocorrência de patologias.

A empresa responsável pelo projeto e execução da fachada ventilada é a Favegrup. A empresa é uma das pioneiras a introduzir esse sistema de fachada no Brasil, atuando desde 2010 no ramo das fachadas ventiladas, realizando o processo de estudos iniciais e projetos até o momento da fabricação e montagem do sistema na obra. Para executar a fachada, fez-se necessário a organização e a logística de execução, as estratégias incluem por exemplo, o quadro de funcionários, estoque de materiais e planejamento para alcançar metas de produtividade. A empresa responsável pela fachada ventilada, elaborou o projeto de paginação e modulação do revestimento, sendo a primeira etapa a análise dos esforços que atuam sobre a edificação. Além do projeto de paginação, a empresa também elaborou o projeto executivo da fachada, detalhando o passo a passo da montagem das fixações pontuais e da subestrutura de fixação, bem como de detalhes construtivos, como por exemplo a interface com a esquadria.

O cronograma de execução da obra estava previsto para montagem da estrutura de dezembro de 2019 a março de 2020 e a instalação do porcelanato de abril a junho de 2020. Esse cronograma na prática não se manteve pelo agravante da pandemia do corona vírus, atrasando entregas de insumos, diminuindo o quadro de funcionários ou até mesmo paralisando a obra. O quadro de funcionários previsto para trabalhar por dia na execução da fachada é de 1 encarregado e mais 5 funcionários.

Para execução de fachadas ventiladas, é necessário o uso de andaime fachadeiro, proporcionando mobilidade, produtividade e segurança aos trabalhadores, conforme registrado na Figura 75.

Figura 75 – Andaime fachadeiro utilizado na obra



Fonte: autora, 2020.

A estocagem de materiais para execução da fachada era toda na garagem, em um local limpo e de fácil acesso para garantir a organização das várias etapas de montagem. Na Figura 76 aparece a estocagem do material de isolamento (direita) e do revestimento de porcelanato (esquerda).

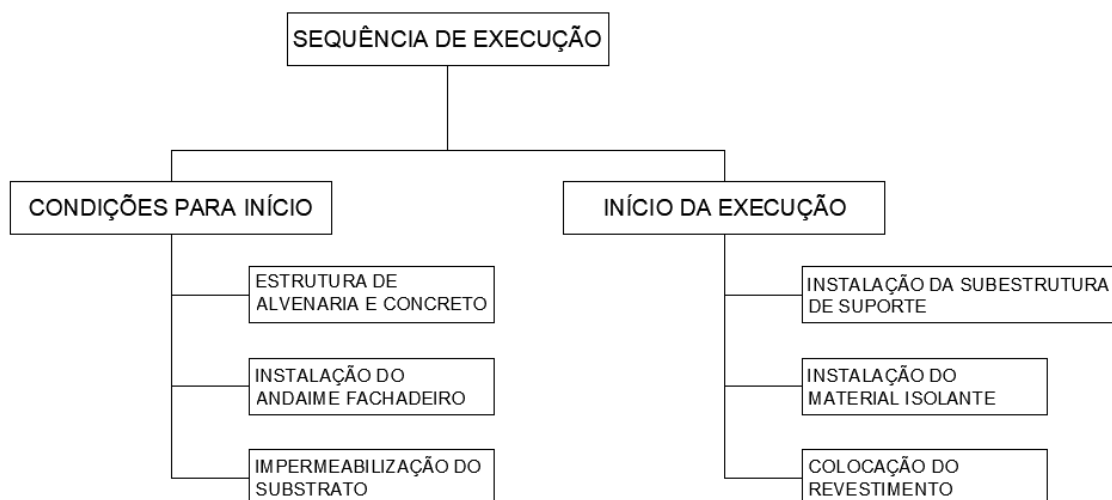
Figura 76 – Estocagem de materiais



Fonte: autora, 2020.

Na Figura 77, identifica-se a sequência de execução dos serviços, sendo estruturado com base no que foi executado na obra conforme o que é necessário para o funcionamento desse sistema, sempre buscando o máximo de produtividade e visando o mínimo de perdas de materiais e geração de resíduos.

Figura 77 – Estrutura da organização dos serviços executados



Fonte: autora, 2020.

4.5.2 Estrutura de suporte

A estrutura de suporte escolhida para essa fachada é a chamada pela empresa Favegrup de porcelanato oculto, onde é composta por perfis metálicos verticais, os quais são fixados através de cantoneiras na alvenaria com chumbadores químicos e em elementos de concreto armado com chumbadores mecânicos. A distância entre os perfis varia entre 30 e 60cm. Pode-se avaliar a concepção da fachada executada no Edifício Luciana 250 na Figura 78.

Figura 78 – Concepção da fachada ventilada com porcelanato oculto



Fonte: Apresentação de fachadas ventiladas disponibilizada pela empresa Favegrup.

No projeto da fachada do empreendimento apresenta que a cavidade entre o revestimento e o substrato é de cerca de 12cm, e a espessura do revestimento de 6,60mm. Os detalhes do projeto da estrutura de elevação podem ser visualizados na Figura 79.

Figura 79 – Detalhes do projeto da estrutura de elevação da fachada ventilada

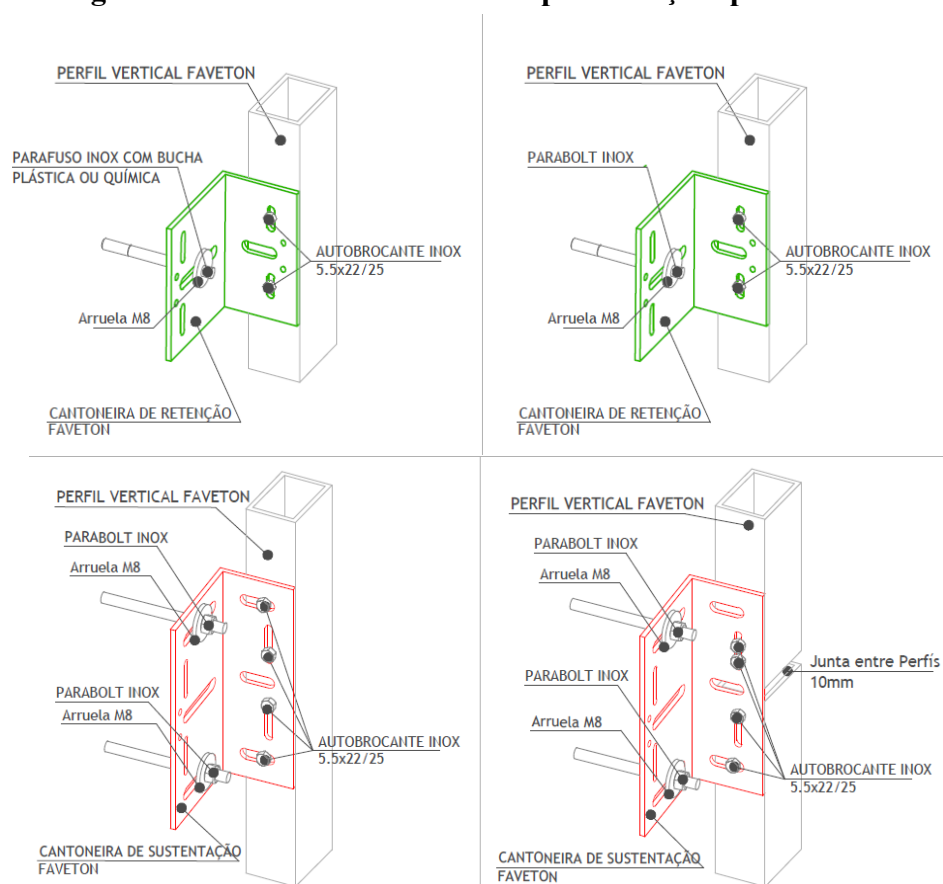


Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2020.

As fixações pontuais ocorreram a partir de cantoneiras, Figura 80, visto que a cantoneira de sustentação é utilizada nos elementos de concreto armado e a cantoneira de retenção é utilizada na alvenaria. Analisando que o esforço normal atua em função do vento tentando “arrancar” o *parabolt*, gerando esforços no eixo que está fixando a estrutura, a cantoneira de sustentação aguenta todo esforço normal atuante e a cantoneira de retenção suporta cerca de 30% desse esforço. Na Figura 81 é possível observar as fixações das cantoneiras em cada situação.

É necessário analisar que a ancoragem do sistema apresenta diversas interfaces, sendo substrato com o chumbador, chumbador e a cantoneira de fixação, posterior a interação da cantoneira de fixação com o perfil metálico e por último a cola de fixação do revestimento com o perfil metálico. Nesse sentido é observado pontos críticos a serem levados em consideração, sendo necessário atenção nos esforços transmitidos entre eles.

Figura 80 – Cantoneiras utilizadas para fixações pontuais



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2020.

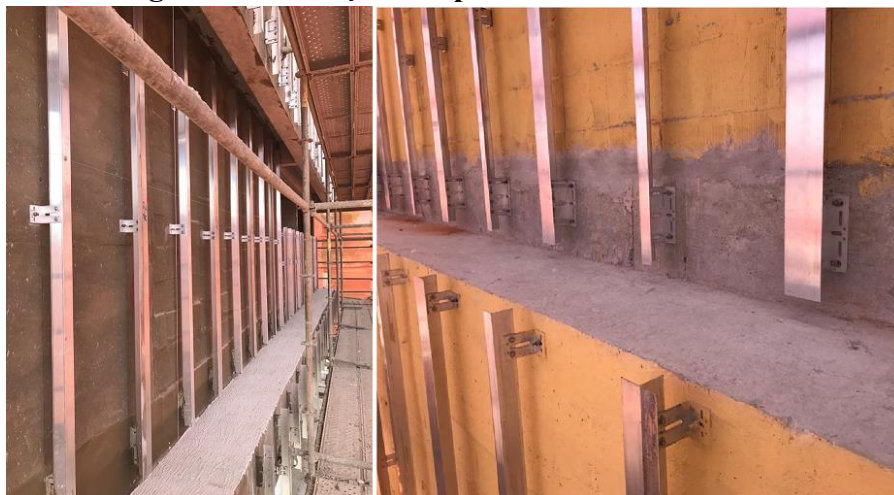
Figura 81 – Fixação das cantoneiras



Fonte: autora, 2020.

Pode-se analisar os perfis metálicos utilizados na concepção da fachada na Figura 82. Vale ressaltar que na composição da estrutura de fixação foram utilizados três tipos de perfis, perfil vertical em L, perfil vertical em T e perfil vertical tubular.

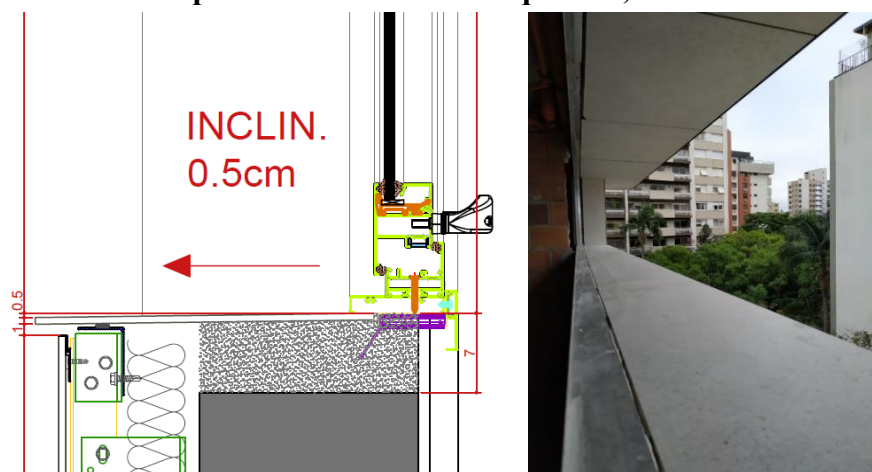
Figura 82 – Fixação dos perfis metálicos verticais



Fonte: autora, 2020.

Em relação a interface entre revestimento, substrato e esquadria, a ideia principal, como em uma fachada de revestimento aderido, é que a água escoe para fora através de pingadeira com inclinação. A pingadeira nesse sistema de fachada ventilada, deve transpor o revestimento externo, e para isso acontecer, parte dessa pingadeira não pode estar apoiada no substrato, sendo uma junta aberta. O detalhe da pingadeira projetado juntamente com o que foi executado na obra e a esquadria com a inclinação correta para o escoamento da água, pode-se visualizar na Figura 83.

Figura 83 – Detalhe comparativo da interface esquadria, substrato e revestimento



Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2020 e foto autora, 2020.

A partir dos detalhes construtivos expostos na Figura 84, verifica-se o perfil vertical, o detalhe da cola de fixação do revestimento no perfil e o espaçador utilizado entre os mesmos.

Figura 84 – Detalhes construtivos



Fonte: autora, 2020.

4.5.3 Material isolante de lã de rocha

O material isolante utilizado para uso na fachada ventilada é a lã de rocha 100% natural, é o padrão de isolamento utilizado pela Favegrup. Considerado um material resistente a intempéries, incombustível e com bom desempenho térmico e acústico.

O produto é chamado de painel rígido de lã de rocha vulcânica de dupla densidade Ventirock, da empresa Rockwool. Segundo a ficha técnica do Ventirock Duo (2012), esse painel pode ser utilizado tanto em obras novas quanto em obras de recuperação. O produto mencionado pode ser visualizado na Figura 85.

Figura 85 – Material isolante de lã de rocha da Rockwool

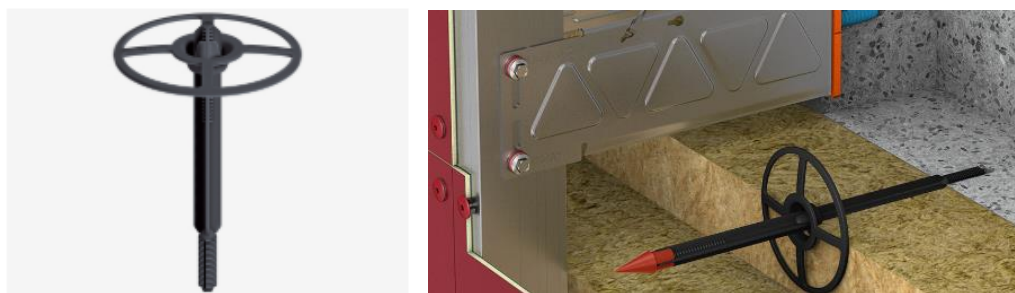


Fonte: Ficha técnica Ventirock Duo, 2012.

O intuito de utilizar este material é auxiliar na qualidade do sistema da fachada como um todo. A fachada como parte envolvente de um edifício, tem papel fundamental na diminuição do consumo de energia. Assim, utilizando um isolante é possível realizar essa economia de energia e consequentemente melhorar a qualidade de vidas das pessoas que moram no edifício.

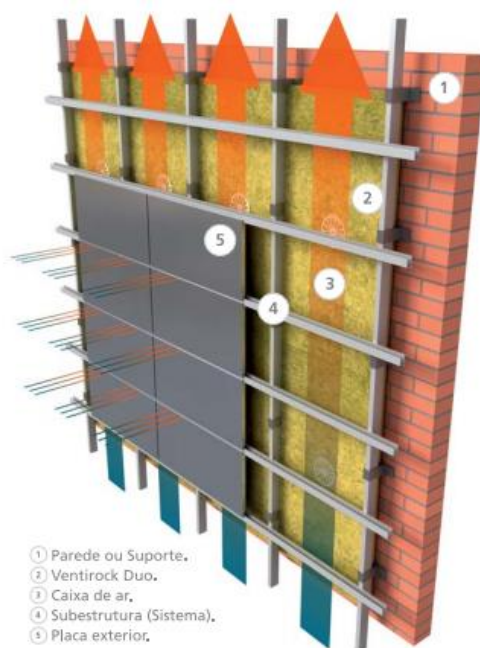
O método de ancoragem de suporte do material isolante é da empresa Ejot Fey. É uma âncora adequada para fixação desse tipo de produto em todos os substratos. Segundo a ficha técnica do material, a utilização dessa ancoragem é de grande importância para prevenir o efeito acolchoado, ou seja, entalhes no isolamento, causado pela adaptação da anilha e, assim, a abertura das juntas entre os painéis isolantes individuais. Pode-se analisar na Figura 86 a âncora de suporte de isolamento utilizada na obra, e na Figura 87 a concepção da fachada ventilada, em relação ao uso do material isolante e ao efeito chaminé.

Figura 86 – Âncora de suporte de isolamento EJOT DH



Fonte: Site Ejot Fey, 2020. Disponível em: < <https://www.ejotfey.com.br/overview-anchors>>.

Figura 87 – Concepção da fachada ventilada com o material isolante de lã de rocha



Fonte: Ficha técnica Ventirock Duo, 2012.

Os detalhes construtivos da execução do material isolante de lã de rocha na obra podem ser identificados na Figura 88, e na Figura 89 onde aparece os perfis verticais junto do material isolante.

Figura 88 – Detalhes do isolante térmico de lã de rocha



Fonte: autora, 2020.

Figura 89 – Detalhes do material isolante de lã de rocha

Fonte: autora, 2020.

4.5.4 Revestimento com placa de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura

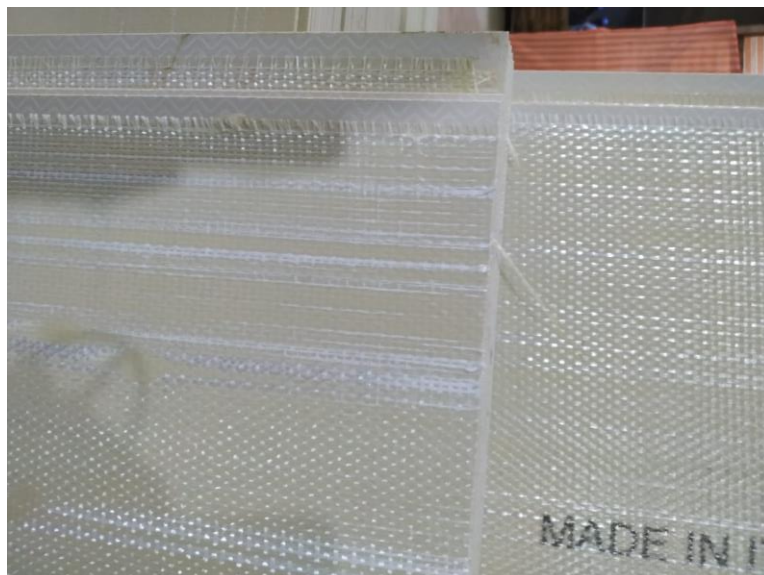
A empresa montou um projeto de paginação e modulação do revestimento como exposto na Figura 90, como forma de evitar cortes desnecessários e desperdícios. A espessura das juntas entre placas é de 10mm.

Figura 90 – Projeto de paginação da fachada principal

Fonte: Projeto fornecido pela empresa Favegrup, 2020.

A placa de porcelanato trata-se de um composto que constitui tela de fibra de vidro e resina polimérica aderidas na peça, conforme Figura 91.

Figura 91 – Detalhe da tela de fibra de vidro aderida no revestimento



Fonte: autora, 2020.

A principal finalidade do uso dessa tela de fibra de vidro na placa de porcelanato, é garantir a segurança do material após a instalação. Essa tela apresenta resistência perante ao processo de impacto. Portanto, caso haja algum problema com a placa, a tela ajuda a segurar os fragmentos, evitando o desprendimento. Em frente a outras fibras sintéticas, a tela de fibra de vidro se torna economicamente mais atraente para aplicações de cunho estrutural.

Devido ao projeto de paginação, as peças foram encomendadas com um tamanho padrão de 2,80 x 1,20m, transportados por navio importados da Itália, sendo considerada uma quebra de 20%, e 10% com direito de recompra pelo vendedor. Esse era o tamanho da maior placa de acordo com o projeto, sendo assim foi necessário adaptar as demais realizando cortes dos tamanhos necessários. Em frente a esse problema e colocando em evidência que a placa de porcelanato era de fina espessura, foi fundamental o estudo relacionado aos cortes das peças para que não houvesse perdas de materiais. Assim, a empresa realizou a compra de uma máquina para realização dos cortes na obra, Figura 92.

Figura 92 – Máquina automatizada para corte de porcelanato



Fonte: autora, 2020.

Essa máquina é da empresa Maqfort, a qual passou por modificações e foi desenvolvida especialmente para realizar esses cortes em porcelanatos de fina espessura, visto que a máquina era apenas para cortes de granitos e mármore. Os operários da obra foram capacitados pela empresa para fazerem uso dela, seguindo todas as precauções de segurança do trabalho.

Essa máquina é programada para fazer cortes em ângulos de 90° e 45°, com precisão. O tamanho de mesa utilizado foi um dos requisitos para realizar o corte nas placas de grandes dimensões, podendo atender a placas de até 3m de comprimento e 1,80m de largura. A principal descrição técnica dessa máquina é que a mesma foi desenvolvida para trabalhar em grandes escalas, garantindo a produtividade de execução da fachada.

Em relação aos detalhes construtivos do revestimento, na Figura 93 é possível analisar o espaçador utilizado para garantir a junta de 10mm entre as placas de porcelanato.

Figura 93 – Espaçador das placas de porcelanato



Fonte: autora, 2020.

Analisando a Figura 94, observa-se a concepção finalizada da fachada ventilada. O substrato impermeabilizado, seguido da colocação do material isolante de lã de rocha. A estrutura de fixação, com a cantoneira e perfil metálico vertical e por fim o revestimento de porcelanato de grandes dimensões e fina espessura, colado ao perfil, e para garantir a espessura das juntas, o uso de espaçadores.

Figura 94 – Elementos da fachada ventilada



Fonte: autora, 2020.

Ao longo da colocação do revestimento, foi possível observar uma placa de porcelanato com coloração diferente das demais, conforme a Figura 95. Esse problema foi detectado rapidamente, ocorrendo logo a troca da placa. Porém nessa manutenção, analisou-se certa dificuldade pois, além do andaime fachadeiro ter sido recolocado, o operário teve que quebrar toda a placa com martelo, sendo um serviço demorado e no final com sobra de uma grande quantidade de resíduos.

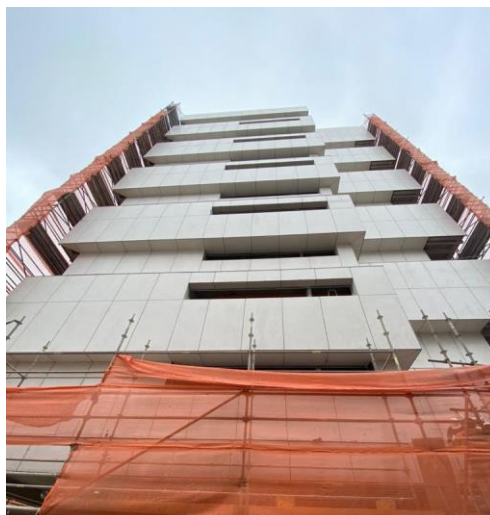
Figura 95 – Placa de porcelanato com coloração diferente



Fonte: autora, 2020.

A fachada com revestimento final pode ser visualizada na Figura 96, onde já aparece a remoção do andaime fachadeiro.

Figura 96 – Detalhes da finalização de uma das fachadas do edifício



Fonte: autora, 2020.

5 CONCLUSÕES

As fachadas ventiladas possuem um grande potencial construtivo, porém ainda é um tema com carência de material e novo no contexto de construção brasileira. O acompanhamento da execução da fachada ventilada do Edifício Luciana 250, foi importante para verificar as boas práticas que devem ser adotadas em relação a esse sistema construtivo. Observou-se que o cronograma inicial da obra previa a finalização da montagem da fachada em sete meses, sendo executada por uma equipe de apenas seis pessoas. Analisando o tempo de execução previsto comparado ao sistema de cerâmica aderida, pode-se notar maior rapidez e eficácia. No entanto, evidencia-se a necessidade de mão de obra especializada.

Uma constatação importante sobre este sistema, é que o mesmo proporciona um canteiro de obras mais organizado, por ser basicamente industrial, gerando o mínimo de resíduos, sendo um ponto importante perante a busca constante por uma construção mais limpa e racionalizada. A partir do que foi estudado no referencial teórico, com a implantação desse sistema, o empreendedor terá diversos benefícios, como produtividade, facilidade de limpeza, processos de execução rápidos, sustentabilidade e vantagens a longo prazo como diminuição de patologias na fachada. Também proporcionará aos usuários conforto devido ao isolamento térmico e acústico, possibilitando economia com consumo energético.

Sobre prevenção contra incêndio, ainda não existe um projeto que seja específico para esse tema relacionado com a fachada ventilada. O uso comprovado de materiais incombustíveis, nesse caso o porcelanato, o isolante térmico de lã de rocha que não gere nem emita gases tóxicos no contato com o fogo, é o primeiro passo para prevenção contra incêndio. A relação da fachada ventilada com o fogo é um tópico de importante discussão e estudo na hora da escolha desse tipo de sistema.

A partir dos resultados obtidos, coloca-se em evidência que a impermeabilização do substrato é mais uma boa prática a ser executada para garantir a estanqueidade do sistema. Caso houver infiltração de água da chuva por exemplo, o substrato impermeabilizado ajudará a manter o desempenho do edifício, evitando patologias. Vale ressaltar que ambos impermeabilizantes testados tiveram bons resultados de acordo com o método do cachimbo. Outra vantagem a ser mencionada é a resistência do sistema a intempéries, como umidade e corrosão, que são patologias recorrentes no sistema de fachada aderida, provocando eflorescências e até infiltrações nas vedações, ocasionando o desprendimento de placas.

Acerca dos testes realizados *in loco* de arrancamento dos chumbadores, observa-se que o chumbador químico teve melhor desempenho fixado em blocos de 7MPa, embora os blocos de

18MPa tenham uma parede mais espessa. Pelo fato dos blocos de 7MPa possuírem maior número de septos, é possível que com a camisa de injeção, o material químico bicomponente tenha criado buchas em cada oco, proporcionando ao sistema melhor resistência a tração. Em elementos de concreto armado as fixações mecânicas tiveram excelente resultado por se tratar de um substrato mais homogêneo, o que já era esperado de acordo com pesquisas encontradas na literatura existente. E são nas vigas e pilares que estão fixadas as cantoneiras de sustentação, as quais são levadas em conta para o cálculo de dimensionamento do sistema.

Em relação ao porcelanato de fina espessura, os resultados de absorção de água se mostraram ótimos, de acordo com o que estava previsto, sendo do grupo BIa com absorção inferior a 0,5%. A placa teve resultados de módulo de resistência a flexão acima de 40 MPa, sendo um resultado satisfatório para a classificação da placa.

A ausência de normas técnicas brasileiras que regulamentem a construção e manutenção desse sistema ainda é uma grande desvantagem para sua disseminação, bem como a necessidade de importar materiais devido à baixa diversidade de materiais adequados em território nacional.

Tendo em vista o maior número de vantagens em relação a desvantagens da implantação desse sistema construtivo, conclui-se que a curto prazo é um grande investimento que deve ser feito, impactando no orçamento da obra. Porém a longo prazo, o investimento se paga frente a grandes benefícios provindos dessa tecnologia. Assim, buscou-se analisar e mostrar as boas práticas executivas relacionadas a esse sistema que, aliada a uma mão de obra qualificada e materiais específicos e de qualidade, pode ser facilmente adotada para qualquer funcionalidade. A experiência de acompanhar a execução da obra, estudo de caso do presente trabalho, foi uma grande oportunidade para visualizar como essa tecnologia agrega na valorização do empreendimento.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, sugere-se os seguintes temas para pesquisa:

- Análise de diferentes geometrias de blocos cerâmicos em relação a fixação de chumbadores químicos, verificando e comparando as resistências a tração;
- Avaliar a viabilidade e o custo do uso de fachadas ventiladas como *retrofit*;
- Verificação aprofundada do comportamento do vento através da cavidade da fachada ventilada.

REFERÊNCIAS

ALLEN, G. *Fundamentals of building construction: Materials and methods*. 2ed. Nova York: John Wiley & Sons, 1990.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS INTERNACIONAL. ASTM E631-06. Standard Terminology of Building Constructions. International Standard Worldwide. Philadelphia, 2006.

ARCHDAILY BRASIL. Conheça as vantagens das fachadas ventiladas. 2015. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/775512/conheca-as-vantagens-das-fachadas-ventiladas>>. Acesso em: 5 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10820:1989. Caixilho para Edificação. Rio de Janeiro, 1989.

_____. NBR 11675: Divisórias leves internas moduladas – Verificação da resistência aos impactos. Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 15575-4: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedação verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

_____. NBR 13817: Placas cerâmicas para revestimento – Classificação. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 13818: Placas cerâmicas para revestimento – Especificações e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.

_____. NBR 15463: Placas cerâmicas para revestimento – Porcelanato. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR ISO 10545-3: Placas cerâmicas Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Rio de Janeiro, 2020.

_____. NBR ISO 10545-4: Placas cerâmicas Parte 4: Determinação da carga de ruptura e módulo de resistência à flexão. Rio de Janeiro, 2020.

BARROS, A. J. P.; LEHFELD, N. A. S. *Projeto de pesquisa: propostas metodológicas*. 23 ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

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

BLESSMANN, Joaquim. *Acidentes causados pelo vento*. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2001.

BOBADILLA, Eduardo *et al.* *Fachadas ventiladas y aplacados. Requisitos constructivos y estanqueidad – Manual Básico*. Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Espanha, 2007.

BRITO, Marina Couto. (Dissertação de mestrado em Arquitetura) Reabilitação de Fachadas e o seu Contributo Energético, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

CAMPOS, Karina Felisbino *et al.* Desenvolvimento de sistema de fixação de fachada ventilada com porcelanato de fina espessura. 2012.

CAMPOSINHOS, Rui de Sousa. Estanqueidade em fachadas, Sebenta de Métodos e Técnicas de Construção. ISEP, Porto, 2004.

CAMPOSINHOS, Rui de Sousa. Fachadas pressurizáveis. Congresso Construção 2007 - 3º Congresso Nacional, 17 a 19/12/07, Universidade de Coimbra, Porto: ISEP, Coimbra.

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

_____. CBPMESP. *Instrução Técnica 08*. Segurança Estrutural nas Edificações, ed. 2018.
98

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

COSTA, Carla Neves; ONO, Rosária; SILVA, Valdir Pignatta. A importância da compartimentação e suas implicações no dimensionamento das estruturas de concreto para situação de incêndio. Anais, 2005.

CRASTA, Gian Paolo. 3mm: taking up the challenge. Ceramic World Review. Italy, n. 73, 2007, p.150-159.

CSTC, Centre Scientifique et Technique de la Construcción. Hidrofuges de surface. 51 p, Bruxelles, 2002. (Note D'information Technique – NIT n. 224 – remplace la NIT n. 140).

CUNHA, Márcio Manuel Ferreira da *et al.* Desenvolvimento de um sistema construtivo para fachadas ventiladas. 2006.

DEMARCH, A.; *et al.* Análise da nova metodologia da ISO 10545 para determinação da carga de ruptura e resistência a flexão de revestimentos cerâmicos. Revista Cerâmica Industrial, 2019.

DIAS, L.A., CARASEK, H. Avaliação da Permeabilidade e da Absorção de Água de Revestimentos de Argamassa pelo Método do Cachimbo. Anais do V Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Argamassa (SBTA). São Paulo, 2003.

DIN – Deutsches Institut für Normung, DIN 18516, Teil 1: Außenwandbekleidungen, hinterlüftet: Anforderungen, Prüfgrundsätze, Berlin, 1999.

DIREITO, Joana Ferreira. Estudo da segurança contra incêndio em fachadas ventiladas. (Dissertação mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

EIRAS, Carlos Quintáns. Cerramientos pesados. Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción. Cerramientos Pesados: Aplacados y Paneles – Envolvertes (II). Barcelona, n. 2, p. 12-27, 1995.

EJOT FEY. Catálogo de chumbadores mecânicos - Chumbadores e tecnologia de instalação. 2015.

EJOT FEY. Catálogo de chumbadores químicos - Chumbadores e tecnologia de instalação. 2015.

EJOT FEY. Anchors. Disponível em: <<https://www.ejotfey.com.br/overview-anchors>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

ELIANE TEC. Projetos. Disponível em: <<https://elianetec.com/projetos/fachadas-ventiladas>>. Acesso: 25 ago. 2019.

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

GRACIANO, Tiago Duarte. Fachadas ventiladas: análise da tecnologia e do suporte técnico fornecido ao mercado nacional. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13006 Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marking. Suíça, 2018.

_____. ISO 10545 Part 4 - Determination of modulus of rupture and breaking strength. Suíça, 2019.

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

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

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. Eficiência Energética na Arquitetura. 2ª Edição, revisada. São Paulo: Pro Livros, 2004.

LI, Shang-Shiou. A Protocol to Determine the Performance of South Facing Double Glass Façade System. Msc Thesis in Architecture, submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 2001.

MACIEL, Ana Carolina Fernandes. Energia incorporada de fachadas ventiladas: estudo de caso para edificação habitacional em Brasília. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

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

MARTINS, José Augusto Stoffel Maia Tito. Análise comportamental do fogo em sistemas de fachada com isolamento pelo exterior. 2009. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

MAZZAROTTO, Ana Carolina Elizabeth Kolb. Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios de Curitiba. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Paraná, 2011.

MENDES, Francisco Melo Vaz Pinto. Durabilidade das fachadas ventiladas: aplicação da Norma ISO 15686-1. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

MENEGAZZO, A.P.M.; LEMOS, F.L.N.; PASCHOAL, J.O.A.; GOUVEA, D.; CARVALHO, J.C.; NÓBREGA, R.S.N. Grês Porcelanato. Parte I: Uma Abordagem Mercadológica. In: Revista Cerâmica Industrial, nº 5 (5), setembro/outubro 2000.

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

MOURA, Eride. Fachadas respirantes. Fachadas ventiladas combinam funções estéticas com bom desempenho térmico, além de contribuir para reduzir cargas do condicionamento de ar. TÉCHNE: revista de tecnologia da construção, São Paulo, ed. 144, p. 34-41, mar. 2009.

OLIVEIRA, Pedro Filipe dos Santos Costa. Metodologia de manutenção de edifícios: fachadas ventiladas. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

PATÓN, Vicente. Una historia superficial. Tectónica: monografias de arquitectura, tecnologia y construcción. Fachadas ligeras – Envolvertes (I). Barcelona, n. 1, p. 4-9, 1995a.

_____. El nacimiento de una técnica. Tectónica: monografias de arquitectura, tecnologia y construcción. Cerramientos Pesados: Aplacados y Paneles – Envolvertes (II). Barcelona, n. 2, p. 4-11, 1995b.

PAULUZZI BLOCOS CERÂMICOS. Caderno Pauluzzi para alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. Sapucaia do Sul, 2011. Disponível em: <<https://pauluzzi.com.br/dl/restrito/materialpauluzzi/cadernopauluzzi.pdf>>. Acesso em: 8 jul. 2020.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 357 p.

PORTOBELLO ARCHTRENDS. Porcelanato em fachadas ventiladas: solução que reduz até 20% o consumo de energia elétrica. 2018. Disponível em: <<https://archtrends.com/blog/porcelanato-em-fachadas-ventiladas-solucao-que-reduz-ate-20-o-consumo-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 5 set. 2019.

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

REFIN CERAMICHE. Catálogo *Refin Ceramiche Mold – Concrete Blend*. Itália, 2018.

REVISTA HEALTHARQ. Hospital Moinhos de Vento: marco do crescimento. 2017. Disponível em: <<http://saudeonline.grupomidia.com/revista-digital/inspiracao-dinamarquesa/mobile/index.html#p=1>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

REVISTA TÉCHNE: revista de tecnologia da construção. Fachadas ventiladas. ed. 176. São Paulo: Pini, 2011.

RIBEIRO, Manuel Maria Loureiro de Bragança. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Durabilidade na construção: estimativa da vida útil de fachadas ventiladas – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.

RILEM - Water absorption under low pressure. Pipe method. Test N° II.4. Recommendations provisoires, Paris, 1980.

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

ROCKWOOL. Ficha técnica do produto Ventirock Duo. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://c1150398.ferozo.com/ISOLAMENTOrockwool.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2020.

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

SANJUAN, C. *et al.* Energy performance of an open-joint ventilated façade compared with a conventional sealed cavity façade. Solar Energy, volume 85, artigo 9. p. 1851-1863. Elsevier Science Ltda., 2011.

SIQUEIRA JÚNIOR, Amaury Antunes de. Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato. 2003. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOUSA, Fernando Manuel Fernandes. Fachadas ventiladas em edifícios: tipificação de soluções e interpretação do funcionamento conjunto suporte, acabamento. (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2010.

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

STO BRASIL. Boletim técnico do produto Sto Gold Coat 80265. São Paulo, 2013. Disponível em: <https://stobrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/01/80265_gold_coat_rev08-OK.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2020.

VIAPOL. Ficha técnica do produto Viaplus 7000. 2019. Disponível em: <<http://www.viapol.com.br/media/439563/ft-viaplus-7000-11-10-2019.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2020.

WOLENS INCORPORADORA. Empreendimento Luciana 250. Porto Alegre, 2020. Disponível em: <<http://wolensinc.com.br/c/luciana>>. Acesso em: 12 abr. 2020.