

FELIPE PEREIRA SANTOS

FILIPE CISSOTO PORTUGAL

LEONARDO ANDRETTA OLIVEIRA

**Análise Técnica de Sistemas de Fachada em *Steel Frame* com
Fechamentos em Chapas Delgadas Leves**

São Paulo

2015

FELIPE PEREIRA SANTOS

FILIPE CISSOTO PORTUGAL

LEONARDO ANDRETTA OLIVEIRA

**Análise Técnica de Sistemas de Fachada em *Steel Frame* com
Fechamentos em Chapas Delgadas Leves**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo no âmbito do curso de Engenharia
Civil.

Área de Concentração: Engenharia de
Construção Civil

Orientadora: Prof. Dr. Mércia M. S. B. Barros

São Paulo

2015

Catalogação-na-publicação

Santos, Felipe

Análise Técnica de Sistemas de Fachada em Steel Frame com
Fechamentos em Chapas Delgadas Leves / F. Santos, F. Portugal, L. Oliveira
-- São Paulo, 2015.

198 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Fachadas 2.Construção Civil 3.Edifícios 4.Industrialização da Construção
5.Inovações Tecnológicas I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica.
Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t. III.Portugal, Filipe
IV.Oliveira, Leonardo

RESUMO

A maioria dos segmentos industriais busca ser competitiva pela redução de custos de produção. A indústria da construção de edifícios não é diferente. Reduzir custos e prazo tem sido uma premissa importante para esse segmento que, muitas vezes, encontra nos conceitos de industrialização um aliado para atingir os seus objetivos. Somam-se à necessidade de redução de prazos e custos as crescentes preocupações com a manutenção da qualidade, o respeito aos requisitos de desempenho dos usuários e a redução dos impactos causados pela construção ao meio ambiente. Neste contexto, a fachada do edifício ocupa uma posição de destaque, seja por ser responsável por criar condições de habitabilidade necessárias aos usuários, seja pela sua função estética, pelos custos associados à sua produção e manutenção ou por fazer parte do caminho crítico de atividades de uma obra. Acredita-se que a fachada composta por chapas delgadas leves estruturadas em *steel frame* possa trazer ganhos positivos pela potencial redução de prazos de obra, pelo baixo consumo de materiais e recursos naturais exigidos na construção, e baixa geração de resíduos na sua desconstrução. Dada a limitação em literatura nacional sobre o tema, o presente trabalho busca reunir informações atualmente disponíveis sobre o sistema de fachada leve, a partir da caracterização dos seus componentes, da análise de seu potencial de atendimento às exigências da Norma de Desempenho, e do levantamento das técnicas construtivas necessárias. Busca-se também verificar interfaces e mudanças exigidas nos demais subsistemas do edifício, os principais impactos causados no planejamento de obra e uma estimativa dos custos, ao se optar pelo uso dessa tecnologia. Como método de pesquisa, foi adotada revisão de trabalhos acadêmicos, normas e manuais técnicos, contato com profissionais envolvidos, bem como, uma comparação entre projetos com fachada em alvenaria tradicional e com fachada leve. Apesar dos maiores custos associados e de ainda existirem desafios a serem superados, a pesquisa mostrou que o sistema apresenta potencial de atendimento às exigências de desempenho, pode incorporar menor massa de materiais ao edifício em comparação direta com alternativas tradicionais, e possibilita redução no cronograma de obras.

ABSTRACT

Most of the industrial segments seek for competitive advantages by cost reduction. This fact also applies to the construction industry. Cost and construction time reduction has been playing an important role for companies, which find in industrialization a way to achieve its goals. Another rising issue concerns the environmental impacts caused by building construction. The building façade occupies a highlighted position in a building, being responsible to create a habitable environment for the users, for its aesthetic functions, for the costs associated with its production or even for taking a critical place in construction planning. It is believed that the façade built with thin lightweight boards, structured by steel frame profiles, brings positive gains to construction by reducing construction time, by an increase in productivity, a decrease in material and natural resource consumption and a reduction in residue generation. Thus, this report summarizes the main information currently available for lightweight board façade systems, by characterizing the necessary components to production, by analyzing its potential to fulfill performance standards, and by bringing up construction methods. Also, the study analyzes the insertion of the proposed technology in the building context, verifying interfaces and necessary changes in other building systems, the impacts on activity scheduling and an evaluation of associated costs. Literature review, interviews with professionals and a project evaluation were the main adopted research methods. Research showed that the proposed system can incorporate a lower material mass to the building when compared to brick and mortar façade systems. Even though there is an increase in associated costs and some challenges to be accomplished, the system presents a potential to satisfy the national performance standards and it contributes to a reduction in global construction time.

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PANORAMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.3. JUSTIFICATIVA	4
1.4. METODOLOGIA	5
1.5. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	7
2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE FACHADAS COM PAINÉIS LEVES ESTRUTURADOS EM STEEL FRAME.....	9
2.1. CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DA FACHADA DE EDIFÍCIOS	9
2.2. TECNOLOGIAS TRADICIONAIS DE FACHADAS	12
2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES DA FACHADA LEVE	13
2.3.1. <i>Componente de Fechamento</i>	15
2.3.2. <i>Estruturação do elemento de vedação vertical</i>	22
2.3.3. <i>Componentes de Isolamento Termoacústico</i>	25
2.3.4. <i>Componente de Proteção contra ação de Água</i>	28
2.3.5. <i>Componentes de Fixação e Montagem</i>	29
2.3.6. <i>Componentes de Vedação de Juntas</i>	31
2.4. PRINCIPAIS AGENTES DA CADEIA DE PRODUÇÃO DAS FACHADAS LEVES.....	33
2.4.1. <i>Fornecedores de componentes</i>	33
2.4.2. <i>Projetistas</i>	34
2.4.3. <i>Montadores</i>	34
2.5. OBRAS IDENTIFICADAS	35
3. DESEMPENHO DO SISTEMA.....	39
3.1. EXIGÊNCIAS DOS USUÁRIOS E NORMA DE DESEMPENHO	39
3.2. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHO DO SISTEMA FACHADA LEVE	43
3.2.1. <i>Desempenho Estrutural</i>	46
3.2.2. <i>Segurança contra Incêndio</i>	49
3.2.3. <i>Estanqueidade</i>	52
3.2.4. <i>Desempenho Térmico</i>	54
3.2.5. <i>Desempenho Acústico</i>	57
3.2.6. <i>Durabilidade e Manutenibilidade</i>	58
4. DESENVOLVIMENTO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS	61

4.1.	SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO	61
4.1.1.	<i>Estocagem, transporte e manuseio</i>	61
4.1.2.	<i>Serviços preliminares</i>	63
4.1.3.	<i>Marcação na Laje</i>	63
4.1.4.	<i>Montagem da estrutura em steel frame</i>	64
4.1.5.	<i>Fixação da barreira impermeável</i>	74
4.1.6.	<i>Fixação das placas cimentícias na face externa</i>	76
4.1.7.	<i>Tratamento de juntas da face externa</i>	79
4.1.8.	<i>Aplicação do revestimento Basecoat</i>	84
4.1.9.	<i>Colocação da camada de isolamento</i>	85
4.1.10.	<i>Instalação das placas da face interior e seu tratamento de juntas</i> ...	86
4.2.	INTERFACES COM OUTROS SUBSISTEMAS	87
4.2.1.	<i>Interface entre elementos de fachada e estrutura principal</i>	88
4.2.2.	<i>Interface entre elementos de fachada e esquadrias</i>	95
4.2.3.	<i>Interface entre elementos de fachada e instalações</i>	98
4.3.	PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO	100
5.	ESTUDO DE CASO – ELABORAÇÃO DE PROJETO COMPARATIVO.....	108
5.1.	DESCRÍÇÃO DO EMPREENDIMENTO	108
5.2.	PRÉ DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FACHADA LEVE	110
5.2.1.	<i>Escolha dos perfis steel frame</i>	110
5.2.2.	<i>Escolha de placas e determinação da espessura da parede</i>	115
5.3.	ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA DO EDIFÍCIO	118
5.3.1.	<i>Descrição da Concepção Original</i>	118
5.3.2.	<i>Nova Concepção Estrutural</i>	121
5.3.3.	<i>Lajes</i>	125
5.3.4.	<i>Pilares</i>	131
5.3.5.	<i>Possível Redução/ganho em cargas nas fundações</i>	136
5.4.	ALTERAÇÕES NAS INSTALAÇÕES PREDIAIS	139
5.5.	PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO	143
5.5.1.	<i>Cronograma de Execução do Sistema Tradicional</i>	145
5.5.2.	<i>Cronograma de Execução da Fachada Leve</i>	148
5.5.3.	<i>Comparação dos Cronogramas dos Sistemas Apresentados</i>	157
5.6.	CUSTOS ASSOCIADOS.....	159

5.6.1. <i>Vedaçāo no sistema tradicional</i>	161
5.6.2. <i>Vedaçāo no sistema Fachada Leve</i>	167
5.6.3. <i>Comparativo Fachada Tradicional x Fachada Leve</i>	169
6. ANÁLISE CRÍTICA.....	171
REFERÊNCIAS.....	177
ANEXO I.....	187
ANEXO II.....	191
APÊNDICE A	193
APÊNDICE B	195

1. INTRODUÇÃO

1.1. PANORAMA DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Um edifício pode ser entendido como um conjunto de subsistemas, de modo a criar um ambiente habitável para seus usuários. Cada um desses subsistemas cumpre determinada função, como o fornecimento de água, energia elétrica, proteção contra agentes como o calor, chuva, dentre outros.

Dentre os sistemas de um edifício, a vedação vertical externa, ou fachada, ocupa posição de destaque, dadas suas funções relacionadas às exigências de segurança, habitabilidade e sustentabilidade (ABNT NBR 15.575-4:2013), além de contribuir para as condições estética e de valorização do empreendimento (OLIVEIRA, 2009).

Usualmente constituída pelo vedo propriamente dito, pelas esquadrias e pelo revestimentos, a fachada exerce grande influência em outros subsistemas com os quais interage e, por isto, é também influenciada por eles, dentre os quais estrutura, sistemas hidráulico e elétrico e impermeabilização. Sua produção usualmente faz parte do caminho crítico da obra, além de exigir, mobilização de equipamentos que influenciam a dinâmica dos canteiros, como guindastes, cremalheiras e balancins (SOUZA, 1998).

Os custos atrelados à sua produção e manutenção não são desprezíveis. Em um levantamento realizado pela revista Construção Mercado, para um edifício hotel de cinco pavimentos localizado em Brasília, os custos relativos à alvenaria mais revestimentos de fachada compõem 11,3% do custo total da obra. Ao se somar esquadrias, ferragens e vidros, esse percentual se eleva para 16% (EDITORA PINI, 2015).

Apesar de os custos diretos parecerem baixos quando comparados com os dos demais subsistemas do edifício, a fachada pode ser responsável por parcela importante dos custos de manutenção. Por ser um subsistema que está sujeito a muitos e intensos fatores de degradação como ventos, variação de temperatura, dentre outros, semelhante ou mal executada, poderá acarretar em problemas patológicos (OLIVEIRA e MELHADO, 2009). E a ocorrência desses problemas poderá

comprometer a durabilidade e a vida útil do edifício como um todo (RESENDE *et al.*, 2000), aumentando os custos associados à manutenção do edifício.

Dentre as tecnologias disponíveis para a produção da fachada, a principal em uso no Brasil, por razões históricas e culturais, ainda é a alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto, assentados com argamassa e revestidos por argamassa (FONTENELLE, 2012). São técnicas construtivas que requerem extensa quantidade de materiais e mão de obra e usualmente geram grande quantidade de resíduos durante sua produção. Por exemplo, com foco apenas nos blocos cerâmicos, Souza *et al* (2004), listam diversos momentos de geração de resíduos desses componentes, atrelados à estocagem, transporte e processamento.

Apesar de existir certa resistência para a adoção de novas tecnologias, alguns setores da construção de edifícios têm optado por novas formas de produção, com adoção de componentes industrializados (SANTIAGO, 2008).

Para a CBIC¹ (2011), o contexto em que a cadeia produtiva da construção de edifícios está envolvida conduz ao desenvolvimento e incorporação de inovações no processo produtivo. As inovações tecnológicas aplicadas à construção de edifícios são importantes para acelerar as construções, melhor aproveitar as equipes de obra e alcançar melhor custo-benefício (MARQUES, 2012).

E acelerar as construções, em um cenário de alta competição entre empresas, pode ser uma alternativa adequada, tendo em vista a possibilidade de antecipação de recursos e receitas.

A ideia de se incorporar os princípios da industrialização à construção de edifícios de múltiplos pavimentos ganha mais força quando se somam as exigências de redução de prazos e de custos com a crescente preocupação com os impactos causados pelo edifício ao meio ambiente.

A construção civil é um dos setores da economia que mais consomem recursos naturais, tanto na construção quanto na operação de um edifício ao longo de sua vida útil. (JOHN, *et al.*, 2001).

¹ Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

Com foco na etapa de construção, parcela dos recursos consumidos diz respeito às perdas geradas, sejam elas incorporadas ao edifício, sejam elas resíduos que voltam ao meio. Assim, alternativas para a redução do impacto ambiental além de passar pela utilização de métodos e processos construtivos que minimizem as perdas de material. também devem passar pela diminuição da massa de insumos incorporados ao edifício, a chamada desmaterialização (AGOPYAN e JOHN, 2011),

Verifica-se, portanto, a necessidade de se buscar novas alternativas que tragam ganhos em termos de prazo e sustentabilidade para o sistema de vedação vertical externa, ou fachada.

Neste contexto, neste trabalho enfoca-se uma nova forma de produção de fachada para edifícios de múltiplos pavimentos: um elemento de vedação sem função estrutural, constituído por chapas delgadas de materiais leves (OSB, gesso acartonado, placas cimentícias etc.) estruturadas com perfis leves de aço (*steel frame*). Trata-se de uma tecnologia usual em países desenvolvidos e ainda em processo de desenvolvimento no Brasil. Apesar de poder se enquadrar em outras definições, para simplificação, o termo “Fachada Leve” é utilizado nesse trabalho sempre que necessário fazer referência a essa tecnologia.

1.2. OBJETIVOS

Sintetizar as principais informações sobre a tecnologia de fachadas produzidas com chapas delgadas leves estruturadas com perfis de aço *steel frame*, com foco para as exigências de desempenho e os principais componentes disponíveis no mercado e inserir a tecnologia no ambiente do edifício, de modo a analisar criticamente as mudanças e implicações exigidas em termos de projeto, planejamento, execução e custos, quando comparada à fachada tradicional em alvenaria de blocos e revestimentos em argamassa.

1.3. JUSTIFICATIVA

Acredita-se que a Fachada Leve, um sistema considerado inovador no Brasil, pode representar um avanço na tecnologia da produção de fachadas de edifícios de múltiplos pavimentos, seja pelo menor consumo de materiais dado o emprego de materiais leves ou pela redução de prazos associados à produção do edifício quando comparado à produção tradicional.

Em comparação com as alvenarias tradicionais, a montagem da estrutura de *steel frame* e a fixação de placas e chapas tem potencial para se tornar menos artesanal e, por isto, ser mais rápida quando comparada com as alternativas de fechamento tradicionais. Santiago (2008) lista que a maior organização do canteiro, rapidez e facilidade na execução das vedações são as principais vantagens de se utilizar fechamentos industrializados. Assim, espera-se que haja um ganho na produtividade da mão de obra na execução da fachada. Para que isso seja possível, é necessário que equipamentos estejam disponíveis, bem como seja realizado o correto treinamento da mão de obra.

E ainda, tendo em vista que a fachada faz parte do caminho crítico da obra, ou seja, o início de alguns serviços depende de sua execução (como é o caso dos revestimentos, pintura e fixação de esquadrias), reduzir seu tempo de execução poderá levar à redução do prazo global da obra. Isto pode ser especialmente importante para o empreendedor no caso de edificações comerciais como shoppings, hotéis, supermercados, edifícios corporativos, dentre outros, uma vez que poderá levar à antecipação de receitas (OLIVEIRA, 2009). A tecnologia também poderá trazer benefícios para os edifícios habitacionais, uma vez que poderá haver redução nos custos indiretos e alteração no fluxo de caixa pela redução do prazo de obra.

Trata-se de uma tecnologia que permite diferentes graus de industrialização. Atualmente, os elementos de fachada são montados no local a partir do acoplamento de chapas e perfis. Porém, o sistema apresenta grande potencial de ser montado em fábrica, formando um painel pré-fabricado, e ser acoplado diretamente ao edifício.

Espera-se também que a tecnologia do sistema seja ambientalmente mais atraente pela redução da quantidade de materiais e massa incorporada ao edifício e menor

geração de resíduos durante a produção (FONTELLE, 2012). A construção civil é o maior consumidor de recursos naturais da economia, respondendo por entre 20 a 50% dos recursos naturais consumidos pela sociedade (FIEB, 2007). Assim, a opção pelo uso de materiais e componentes com menor massa específica poderá ajudar a reverter esse panorama. A Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575-4:2013 estabelece que “vedações verticais sem função estrutural, constituídas por elementos leves devem ter densidade superficial inferior a 60 kg/m²”.

Também está presente nas discussões envolvendo a sustentabilidade, o potencial de desmontabilidade dos elementos construtivos ao final da vida útil do edifício. A alvenaria de blocos revestida por argamassa, ao ser desmontada, permitirá apenas a produção de agregados reciclados, sendo muito difícil a sua remoção e reutilização como produto em outra obra. O sistema de vedações com painéis leves tem maior potencial de reutilização de parte de seus componentes devido a potencial desmontabilidade dos painéis (NETO e SPOSTO, 2011).

Não obstante a importância dessa tecnologia, a literatura nacional acerca do sistema de Fachada Leve é, ainda, escassa. Mudar esse cenário passa por conhecer mais profundamente a tecnologia que é o que se busca por meio deste trabalho de formatura.

1.4. METODOLOGIA

A realização deste trabalho foi fundamentada em levantamento e análise da literatura nacional e internacional acessível a respeito do sistema Fachada Leve. Buscou-se informações a respeito dos principais componentes constituintes desse sistema, entendendo suas principais funções e características, quais sejam: estruturação em *steel frame*; elementos de fixação (parafusos e pregos); placas de fechamento em OSB, placas cimentícias, chapas em gesso acartonado; barreiras impermeáveis; componentes de vedação de juntas e revestimentos utilizados.

Os principais meios de informação para a realização de tal levantamento foram teses e artigos científicos. Também foram consultadas revistas técnicas de larga circulação,

periódicos, manuais e catálogos técnicos disponibilizados por fabricantes e fornecedores.

Apesar de a internet ser o principal meio de informação disponível, também foi estabelecido contato com departamentos técnicos das empresas por meio de telefonemas e e-mails, e, quando possível, visitas a feiras e estandes.

Identificados os componentes e métodos construtivos, foi realizado um levantamento de referenciais que levassem à análise de desempenho do sistema. Os principais referenciais utilizados foram a Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575:2013 e a Diretriz SiNAT 009 – “Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas delgadas”, (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012), diretriz elaborada pelo Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat para avaliação de sistemas considerados inovadores.

Também foram realizadas entrevistas com profissionais que têm trabalhado com a elaboração de projetos ou execução do sistema. Para a realização das entrevistas, foram elaboradas questões (Apêndice A) que possibilitaram direcionar as entrevistas realizadas com os profissionais.

Apesar de um pequeno número de obras executadas com o sistema no Brasil, foi possível realizar uma visita técnica ao empreendimento BK30, ainda em fase de obras, localizado em São Paulo, construído pela empresa BKO. Tal visita, realizada em agosto de 2015, teve como objetivo um maior entendimento da inserção da tecnologia de Fachada Leve no edifício. Buscou-se analisar alterações necessárias para se executar um empreendimento com essa tecnologia, verificar interações do sistema de vedação vertical com os demais subsistemas do edifício, obter dados relativos a planejamento de obra, dentre outras informações. De maneira similar às entrevistas realizadas, foram elaborados um roteiro previamente à visita e um relatório sintetizando as principais informações obtidas. O relatório com a síntese das informações obtidas encontra-se no Apêndice B.

Foram realizadas também reuniões semanais com a orientadora, para que o desenvolvimento do trabalho recebesse a orientação necessária, observando-se

questões técnicas relativas aos objetivos do trabalho, facilitação do contato com os profissionais do ramo e elementos relativos à redação de um trabalho técnico.

1.5. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo este primeiro, que contextualiza a construção de edifícios no Brasil, apresenta justificativas para escolha do tema, objetivos a serem alcançados e metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho.

O Capítulo 2 traz a caracterização do sistema Fachada Leve. Em primeiro lugar, analisou-se as principais características e funções da vedação vertical externa, bem como as principais soluções utilizadas atualmente para esse subsistema. Em seguida, foram identificados os componentes necessários para a produção da Fachada Leve, os materiais disponíveis para cada um e outras características relevantes. Além disso, foram identificados os principais agentes atuantes no mercado, bem como uma breve descrição das obras de edifícios de múltiplos pavimentos identificadas no Brasil.

À luz da Norma de Desempenho NBR 15575/2013, no Capítulo 3, foram analisadas as exigências e requisitos de desempenho pertinentes ao sistema de vedação vertical externa, particularmente os constituídos por chapas delgadas leves. Ainda neste capítulo, foi feita uma análise crítica quanto ao cumprimento dos requisitos por um dos sistemas disponíveis no mercado, sistema este que foi adotado nas obras identificadas.

No Capítulo 4 descreveu-se o método construtivo do sistema Fachada Leve, identificando-se as atividades necessárias para a construção das paredes, as interfaces com outros subsistemas e cuidados necessários. Foi feita também uma discussão de como a produção do sistema se encaixa na produção do edifício como um todo, em termos de planejamento e de equipamentos envolvidos.

No Capítulo 5, é apresentado um estudo de caso, comparando-se o projeto de um empreendimento real, com vedações verticais externas em alvenaria tradicional e um

projeto elaborado pelos autores para o mesmo empreendimento utilizando o sistema Fachada Leve. Buscou-se com o estudo de caso identificar quais são as principais mudanças, impactos e soluções causados na estrutura e nas instalações prediais do edifício. Além disso, foi construído um novo planejamento para o empreendimento, de modo a visualizar os ganhos trazidos pela adoção do sistema em termos de prazo, bem como uma comparação dos custos envolvidos ao se optar pela Fachada Leve.

Por fim, no Capítulo 6 apresenta-se uma análise crítica a respeito do desenvolvimento do trabalho. São sumarizados os pontos positivos e ganhos trazidos pela tecnologia estudada ao edifício, bem como os principais desafios a serem percorridos, dificuldades para sua implantação e eventuais sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

2. CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE FACHADAS COM PAINÉIS LEVES ESTRUTURADOS EM STEEL FRAME

Primeiramente são abordadas as principais funções e características das fachadas de edifício e as tecnologias tradicionalmente empregadas. Na sequência, discutem-se os componentes e principais agentes da cadeia de produção do sistema Fachada Leve.

2.1. CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DA FACHADA DE EDIFÍCIOS

As vedações verticais externas, ou fachadas, ocupam uma posição de destaque tanto no projeto quanto na construção de um edifício. É o subsistema que tem como principais funções compartimentar a edificação e propiciar aos ambientes internos características que permitam o adequado desenvolvimento das atividades para as quais eles foram projetados, controlando agentes indesejáveis (FRANCO, 1998).

Assim, o sistema tem como principal função a proteção das edificações frente à atuação dos agentes externos, como a água das chuvas, os ventos, o calor e o frio, a radiação solar, a luminosidade, agentes biológicos, dentre outros. Portanto, influem diretamente sobre o conforto dos usuários e à necessidade de se construir edifícios cada vez mais sustentáveis. (MEDEIROS et al., 2014)

Em conjunto com as coberturas, o subsistema de vedação vertical externa forma o invólucro do edifício.

É usualmente constituída por vedo, revestimentos e esquadrias, os quais, do ponto de vista construtivo, são geralmente abordados separadamente, principalmente em função da sequência de execução destas atividades no conjunto dos serviços (SABBATINI, FRANCO e BARROS, 2007).

Em relação ao conjunto do edifício, as vedações verticais possuem importância considerável pois podem estar no caminho crítico da obra, portanto influenciam no cronograma de execução. Como destacado anteriormente, as vedações verticais externas interferem com esquadrias, instalações elétricas e hidráulicas, impermeabilização e revestimentos; portanto, a sua racionalização, pode induzir à

racionalização de outros elementos construtivos. Além disso, o sistema sofre com ocorrência de problemas patológicos como fissuras e descolamento de revestimentos e, em algumas situações, em fissuras no próprio vedo (SABBATINI, FRANCO e BARROS, 2007). As vedações verticais podem ser classificadas em diversas categorias, segundo diferentes enfoques, sendo os principais identificados no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Classificação das categorias das vedações verticais

Classificação	Características	Descrição
Função que desempenham no Edifício	Externa	proteção contra agentes externos
	Interna	compartimentação (divisória interna) ou separação (entre unidades distintas)
Técnica de Execução	Por conformação	moldadas in loco, a chamada “construção úmida”
	Por acoplamento a seco	vedações montadas a seco, sem necessidade de água
	Por acoplamento úmido	pré-moldados montados com utilização de argamassa
Mobilidade	Fixas	não podem ser movidas. Dificilmente recuperáveis em caso de modificação do espaço
	Desmontáveis	podem ser removidas, mas há perda de componentes
	Removíveis	elementos modulares que podem ser facilmente montados e desmontados, sem perda de componentes
	Móveis	compartimentação sem conexão com o corpo do edifício
Estruturação	Estruturadas	vedações que necessitam de estrutura reticular de suporte
	Auto-portantes	vedações que não necessitam de estrutura de suporte
	Pneumáticas	vedações verticais sustentadas por injeções de ar, usualmente temporárias
Distribuição de Esforços	Monolíticas	todos os elementos absorvem os esforços transmitidos a vedação vertical
	Modulares	absorção dos esforços solicitantes é feita individualmente por componentes, sendo presentes juntas aparentes ou não
Continuidade Superficial	Monolíticas	presença de juntas aparentes
	Modulares	não há juntas ou estas não estão aparentes
Acabamento	Com revestimento incorporado	são vedações montadas já acabadas, sem necessidade de revestimento <i>a posteriori</i>
	Com revestimento a posteriori	o revestimento é aplicado após a montagem da vedação em seu local definitivo
	Sem revestimento	vedações em que não há necessidade de aplicação de revestimento
Densidade Superficial	Leves	vedações verticais não estruturais, com densidade superficial menor que 100 kg/m ² . A Norma NBR 11.685 determina elementos leves como sendo menores que 60 kg/m ²
	Pesadas	vedações, estruturais ou não, com densidade superior a 100 kg/m ²

Fonte: SABBATINI, FRANCO e BARROS, 2007.

Segundo Sabbatini (2007), para que se possa racionalizar a produção das vedações verticais externas, deve-se considerar alguns parâmetros importantes, dentre os quais:

- Adequação aos requisitos de desempenho;
- Construtibilidade: facilidade de montagem, produtividade, velocidade de execução, necessidade de mecanização e equipamentos;
- Aspectos de uso e manutenção: considerando-se flexibilidade e mobilidade

2.2. TECNOLOGIAS TRADICIONAIS DE FACHADAS

O sistema de fachada tem sido executado majoritariamente empregando-se sistemas tradicionais como alvenaria de blocos de concreto ou cerâmico e painéis de concreto pré-moldados ou moldados *in loco*.

As paredes em alvenaria de blocos são o sistema mais antigo da humanidade, e ainda utilizados em larga escala. Os blocos garantiram a habitabilidade em diversos edifícios ao longo da história, mas perderam espaço para o concreto armado quanto a sua utilização com estrutura suporte.

A alvenaria constitui-se num sistema complexo, conformado *in loco*, formado por blocos unidos entre si por juntas de argamassa, que formam um conjunto coeso e rígido. Devido ao alto grau artesanal da execução da alvenaria blocos, a alternativa apresenta baixa produtividade. Há um grande esforço na busca por melhoria na racionalização desse sistema. (SABBATINI, FRANCO e BARROS, 2007)

O sistema de vedação vertical por painéis de concreto pré-fabricados apresenta certas vantagens como a flexibilidade de ser utilizado como superfície de fechamento em diversos tamanhos e acabamentos variados (BARTH e VEFAGO, 2007). Apresenta elevada interface com outros tipos de estrutura, até mesmo na construção convencional e elimina vários serviços artesanais ligados a alvenaria de blocos.

O sistema de vedação vertical por painéis pré-fabricados de concreto armado possui um alto grau de racionalização. Porém, o sistema ainda encontra entraves como a

falta de material técnico disponível e alto custo de produtos industrializados (OLIVEIRA, 2009).

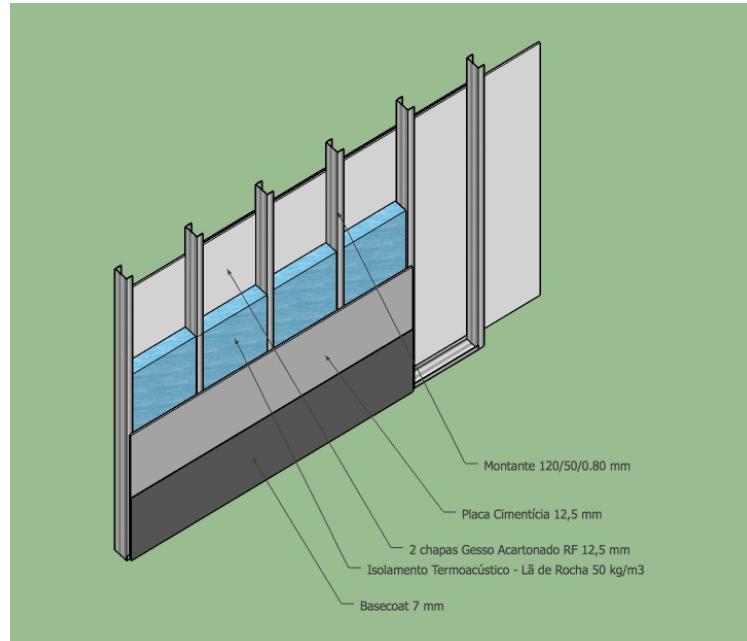
2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES DA FACHADA LEVE

Neste item busca-se elencar, descrever e caracterizar os componentes da Fachada Leve e também identificar e caracterizar os principais agentes envolvidos na produção do sistema.

A Fachada Leve consiste num sistema de fachada produzido por acoplamento a seco de diferentes componentes. Uma estrutura reticular, usualmente de perfis de aço, sustenta chapas delgadas, elementos de proteção térmica e de estanqueidade. As chapas delgadas constituem o fechamento, e, portanto, configuram um sistema leve e modular. Tal de tipo de sistema caracteriza-se por apresentar juntas entre as chapas, que podem ou não serem aparentes. O revestimento das chapas delgadas pode vir incorporado de fábrica ou ser feito após a montagem de todo o painel.

A seguir, serão caracterizados cada um de seus componentes. A Figura 2.1 ilustra os componentes do sistema Fachada Leve constituídas por painéis leves estruturados em *steel frame*.

Figura 2.1 – Construção utilizando Fachada Leve



Fonte: Os Autores, 2015.

A Norma ABNT NBR 15.575:2013 considera os componentes do Sistema de Vedações Verticais Internas e Externas –SVVIE, como sendo “elementos sem função estrutural [...] com peso próprio menor ou igual a 60 kg/m^2 ”.

O sistema é constituído por componentes com funções específicas e, segundo Oliveira (2009), podem ser subdivididos em:

- Componente de fechamento
 - Face externa
 - Face interna
- Componente estrutural
 - Perfis
 - Dispositivos de fixação
- Componentes para Isolamento Termoacústico
- Componente para proteção à água
 - Barreira impermeável
- Componentes de preenchimento de juntas
- Componentes de fixação

2.3.1. Componente de Fechamento

Os componentes de fechamento da Fachada Leve são classificados em função do posicionamento que ocupam, podendo ser faces internas ou faces externas. Cada tipo de face possui requisitos de desempenho e características diferentes devido às funções que cumprem e às condições a que estão submetidas. Por isso, este item foi subdividido em duas partes, evidenciando-se as particularidades de cada uma das faces: Externa e Interna.

2.3.1.1. Face Externa

A face externa do sistema Fachada Leve é caracterizada por Oliveira (2009) como sendo constituída por placas cimentícias, de OSB (Oriented Strand Board), de vidro, entre outras. Mesmo que de diferentes tipos, todas estão sujeitas a requisitos mínimos de desempenho, requisitos estes que serão abordados no capítulo 3 deste trabalho, sendo este responsável por descrever as características e especificações das placas utilizadas na face externa do sistema.

Os diferentes tipos de placas podem diferentes. A Figura 2.2 ilustra essa dissemelhança (as placas de OSB, a esquerda, e cimentícias usualmente empregadas, a direita).

Figura 2.2 - Placas OSB e Placas Cimentícias



Fonte: Google Imagens, Acesso em 20/04/2015.

a) Chapas OSB – Oriented Strand Board

As chapas OSB – Oriented Strand Board são constituídas por fibras de madeira prensadas com polímeros. No Quadro 2.2 são apresentadas as principais

características das chapas fornecidas pelo principal fabricante no Brasil: a empresa LP Building Products.

Quadro 2.2 - Principais características das Placas OSB Home Plus fabricadas no Brasil

Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso placa (kg)	Massa unitária (kg/m²)	Aplicação
9,5	1200	2400	17.50	6.1	Paredes e telhados com perfis espaçados a, no máximo, 40 cm
		3000	21.90	6.1	
11,1	1200	2400	20.40	7.1	Paredes e telhados com perfis espaçados a, no máximo, 60 cm
		3000	25.60	7.1	
15,1	1200	2400	27.8	9.7	Paredes com perfis espaçados a, no máximo, 60 cm. Telhados a, no máximo, 80 cm. Pisos e lajes secas a, no máximo, 40 cm
18,3	1200	2400	33.7	11.7	Pisos e lajes secas com perfis espaçados a, no máximo, 60 cm

Fonte: LP BUILDING PRODUCTS, 2012.

b) Placas Cimentícias

A placa cimentícia contém cimento Portland e fibras em sua composição. Foram desenvolvidas para uso em áreas molháveis em substituição às chapas de gesso acartonado, resistentes à umidade para *drywall*, e para uso em fachadas em função de sua resistência mecânica e resistência à ação da água (OLIVEIRA, 2009).

Os principais tipos de placas comercializadas no mercado brasileiro são descritos abaixo, e suas principais características são apresentadas no Quadro 2.3.

- CRFS (Cimento Reforçado com Fios Sintéticos): placas com cimento Portland, agregados naturais, celulose e fios sintéticos. Alguns dos fornecedores disponíveis são Brasilit e Decorlit;
- GRC ou GRFC (Glass Fiber Reinforced Concrete): placas com cimento Portland, agregados e fibras de vidro resistentes a ácalis dispersos na matriz. Um fornecedor disponível é a Pavicentro;

- Placas com fibras de vidro: placas com cimento Portland, agregados leves, reforçadas com telas de fibra de vidro nas superfícies. Alguns dos fornecedores disponíveis são Brasilit e Knauf.

Quadro 2.3 – Dimensões e Gramatura de placas cimentícias para alguns fabricantes (adaptado)

Fabricante	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)	Peso placa (kg)	Gramatura (kg/m²)	Aplicação
BRASILIT	6	1200	2000	24,4	10,2	Divisorias leves, forros, dutos de ar condicionado
			2400	29,4		
			3000	36,7		
	8	1200	2000	32,6	13,6	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos
			2400	39,2		
			3000	49,0		
	10	1200	2000	40,8	17,0	Áreas secas ou úmidas internas e externas, ideais para fechamento externo em sistemas steel framing e wood framing
			2400	49,0		
			3000	61,2		
	12	1200	2400	58,8	20,4	Para uso interno na compatibilização com drywall ou fechamentos internos ou externos que necessitam de maior resistência
			3000	73,5		
DECORLIT	6	1200	2400	24.90	8.6	Divisorias leves, forros, dutos de ar condicionado
			3000	36.75	10.2	
	8	1200	2400	39.20	13.6	Paredes internas em áreas secas e úmidas, revestimentos de paredes comuns ou em subsolos
			3000	49.00	13.6	
	10	1200	2400	40.80	14.2	Áreas secas ou úmidas internas e externas, ideais para fechamento externo em sistemas steel framing
			3000	51.00	14.2	
AQUAPANEL (KNAUF)	12,5	1200	2400	46.08	16	
ETERNIT	6	1200	2000	24,4	10,2	
			2400	29,4		
			3000	36,7		
	8	1200	2000	32,6	13,6	
			2400	39,2		
			3000	49,0		
	10	1200	2000	40,8	17,0	
			2400	49,0		
			3000	61,2		
	12	1200	2000	49,0	20,4	
			2400	58,8		
			3000	73,5		

Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011; TESIS, 2014; DECORLIT, 2015; USG, 2014; ETERNIT, 2014; KNAUF, 2011.

Alguns fornecedores possuem manuais com características técnicas das placas produzidas. Tais características são evidenciadas por ensaios-teste realizados. No Quadro 2.4 são registradas as características físicas das placas produzidas pela Brasilit.

Quadro 2.4 – Características físicas das placas fornecidas pela Brasilit

Características Físicas – Placa Cimentícia Brasilit	
Densidade Aparente (g/cm ³)	1,50
Absorção máxima de água (%)	30
Resistência de ruptura na flexão, condição saturada	Classe A3 (ABNT NBR 15.498:2014)
Resistência de ruptura na flexão, condição de equilíbrio	Classe B3 (ABNT NBR 15.498:2014)
Variação dimensional por imersão e secagem (mm/m) [Típico]	1,3
Variação dimensional por imersão e secagem (mm/m) [Máx.]	1,5
Condutividade Térmica (W/mK)	0,35

Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

Além da Brasilit, A Knauf possui placas cimentícias bastante difundidas no mercado nacional. O sistema comercializado pela Knauf é o Aquapanel, cujas principais características estão apresentadas no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Ficha técnica da placa cimentícia do sistema Aquapanel

Ficha Técnica – Aquapanel (Knauf)	
Largura (mm)	1200
Comprimento (mm)	2400
Espessura (mm)	12,5
Gramatura (kg/m ²)	16
Densidade do material seco (kg/m ³)	1150
Resistência à flexão (N/mm ²)	6,2
Alcalinidade (pH)	12
Dilatação Térmica (10E-6 K)	7

Fonte: KNAUF, 2011.

A características da placa Durock, fornecida pela USG, estão evidenciadas no Quadro 2.6.

Quadro 2.6 - Características técnicas da placa Durock, da USG

Propriedades	
Resistência à flexão (kg/cm ²)	52,7
Capacidade de carga uniforme (cm)	30,5
Absorção de água (24h) (% do peso)	15%
Resistência à extração de clavos (kg)	79
Raio mínimo de flexão (m)	2,44
Resistência térmica (Km ² /W)	0,05

Fonte: USG, 2014.

2.3.1.2. *Face Interna*

A face interna do sistema de vedações com fachada leves é usualmente constituída por chapas de gesso acartonado para *drywall*, que são devidamente normatizadas no mercado nacional pela ABNT NBR 14.715-1:2010. As chapas de gesso são fabricadas pelo processo de laminação contínua de gesso, água e aditivos, processados entre duas lâminas (cartão), o que lhe confere resistência à flexão e à tração (ABRAGESSO, 2006). A Figura 2.3 ilustra a colocação de uma placa de gesso acartonado numa edificação.

Figura 2.3- Colocação de chapas de gesso acartonado (*drywall*)



Fonte: Google Imagens, Acesso em 21/04/2015.

As chapas de gesso acartonado são comercializadas em 3 tipos, segundo a Abragesso (2006):

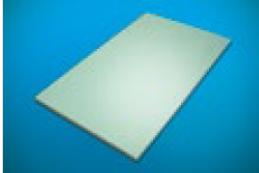
- “Standard (ST): Para aplicação em áreas secas
- Resistente à Umidade (RU) – Chapa Verde: Para aplicação em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado de forma intermitente

- Resistente ao Fogo (RF) – Chapa Rosa: Para aplicação em áreas secas necessitando de um maior desempenho em relação ao fogo". (ABRAGESSO, 2006)

A Knauf é uma grande fabricante de chapas de gesso acartonado do mercado brasileiro, e fornece uma tabela apresentando os dados característicos, como dimensões e aplicação sobre as placas produzidas, semelhante a fornecida pela Associação Drywall. A Figura 2.4 e a Figura 2.5 mostram os dados sobre as placas da Knauf e os dados fornecidos pela Associação Drywall.

Figura 2.4 - Tipos de Chapas produzidas pela Knauf

Tipos de Chapas

Chapas Knauf ST, RU e RF	Denominação	Características	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
	Chapa Standard - ST	Aplicação em áreas secas	9,50 12,50 15,00	600 / 1.200	1.800 a 3.600
	Chapa Resistente à Umidade - RU	Também conhecidas como "chapas verdes", contêm elementos hidrofugantes e são indicadas para uso em áreas úmidas como banheiros, cozinhas e áreas de serviço	12,50	1.200	1.800 a 3.600
	Chapa Resistente ao Fogo - RF	Também conhecidas como "chapas rosa", contêm retardantes de chama em sua fórmula, sendo indicadas para uso em áreas especiais (saídas de emergência, escadas enclausuradas, etc.)	12,50 15,00	1.200	1.800 a 3.600

Fonte: KNAUF, 2014.

Figura 2.5 – Chapas especificadas pelo Manual de Projeto de Sistemas Drywall

Característica geométrica		Tolerância	Limite
Espessura	9.5 mm	± 0.5 mm	–
	12.5 mm		–
	15 mm		–
Largura		+0 / -4 mm	Máximo de 1200 mm
Comprimento		+0 / -5 mm	Máximo de 3600 mm
Esquadro		≤ 2.5 mm / m de largura	–
Rebaixo ⁽¹⁾	Largura	Mínimo	–
		Máximo	–
	Profundidade	Mínimo	0.6 mm
		Máximo	2.5 mm

⁽¹⁾ A borda rebaixada deve estar situada na face da frente da chapa e sua largura e profundidade devem ser medidas de acordo com a NBR 14716.

Característica física		Limites		
		Espessura da chapa (mm)		
		9.5	12.5	15.0
Densidade superficial da massa (kg/m^2)	Mínimo	6.5	8.0	10.0
	Máximo	8.5	12.0	14.0
	Variação máxima em relação à média das amostras de um lote	± 0.5		
Resistência mínima à ruptura na flexão (N)	Longitudinal ⁽¹⁾	400	550	650
	Transversal ⁽²⁾	160	210	250
Dureza superficial determinada pelo diâmetro máximo (mm)		20		
Absorção máxima de água para chapa resistente à umidade – RU – (%)		5		
Absorção superficial máxima de água para chapa resistente à umidade – RU – tanto para face da frente quanto para a face do verso – característica facultativa – (g/m^2)		160		

⁽¹⁾ Amostra com a face da frente virada para baixo. Carga aplicada na face do verso.

⁽²⁾ Amostra com a face da frente virada para cima. Carga aplicada na face da frente.

Tipo	Código	Aplicação
Standard	ST	Para aplicação em áreas secas
Resistente à Umidade	RU	Para aplicação em áreas sujeitas à umidade por tempo limitado de forma intermitente
Resistente ao Fogo	RF	Para aplicação em áreas secas, necessitando de um maior desempenho em relação ao fogo

Fonte: ABRAGESSO, 2006.

2.3.2. Estruturação do elemento de vedação vertical

O elemento que permite a estruturação e fixação das chapas de vedo da Fachada Leve é feita por uma composição de perfis leves de aço, usualmente conhecida como *steel frame*. O sistema se caracteriza por apresentar perfis metálicos leves de aço galvanizado, conformados a frio, devidamente dimensionados para uma concepção racional de um sistema reticulado para o suporte das placas cimentícias (SANTIAGO, FREITAS e CASTRO, 2012).

Essa estrutura de aço deve ser dimensionada para sustentar as chapas delgadas e elementos complementares do sistema, bem como para suportar as ações próprias de um elemento de vedação vertical como cargas acidentais, tais como ação do vento e choques mecânicos. A Figura 2.6 ilustra uma estrutura em *steel frame*.

Figura 2.6 - Estrutura em *steel frame*



Fonte: Google Imagens, Acesso em 21/04/2015.

Os perfis galvanizados utilizados na construção civil são os que sofrem galvanização com imersão a quente, possuindo massas mínimas de revestimento de 150 g/m² para perfis leves (ABNT NBR 15.523:2014). Os perfis de *steel frame* utilizados para a execução da Fachada Leve devem ser considerados perfis estruturais mesmo não possuindo função estrutural para o corpo do edifício. Tais perfis devem estar sujeitos a esforços mecânicos como peso próprio, ação do vento, peso das chapas e revestimentos e deformações da estrutura primária. O Quadro 2.7 mostra as massas mínimas de revestimento para os perfis de acordo com o material utilizado para galvanização.

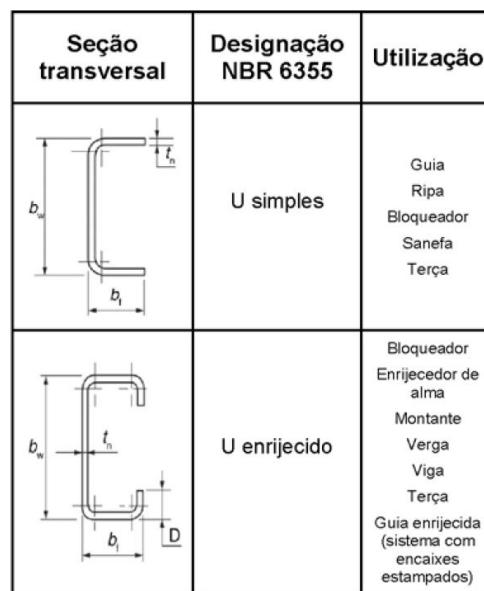
Quadro 2.7 - Revestimento mínimo dos perfis de aço formados a frio para *steel frame*, conforme ABNT NBR 15.273:2014

Tipo de revestimento	Perfis estruturais	
	Massa mínima do revestimento ^a g/m ²	Designação do revestimento conforme as seguintes normas
Zincado por imersão a quente	275 (ABNT NBR 7008-1)	Z275 (ABNT NBR 7008-1)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 (ABNT NBR 15578)	AZ150 (ABNT NBR 15578)
^a A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo).		

Fonte: MEDEIROS, et al., 2014.

Há 2 tipos básicos de perfis mais utilizados na execução do *steel frame*. O Manual CBCA (MEDEIROS et al., 2014) mostra que para os montantes, o perfil mais utilizado é o “U enrijecido”, ou mais conhecido no mercado como o perfil de seção “C”. Os perfis utilizados como guias são os perfis com seção “U simples”. As espessuras comercializadas são 0,80, 0,95, 1,25 e 1,55 mm, chegando a até 3,0 mm (MEDEIROS, et al., 2014). A Figura 2.7 ilustra os perfis para cada utilização.

Figura 2.7 - Seções transversais de perfis padrão utilizados no sistema Fachada Leve

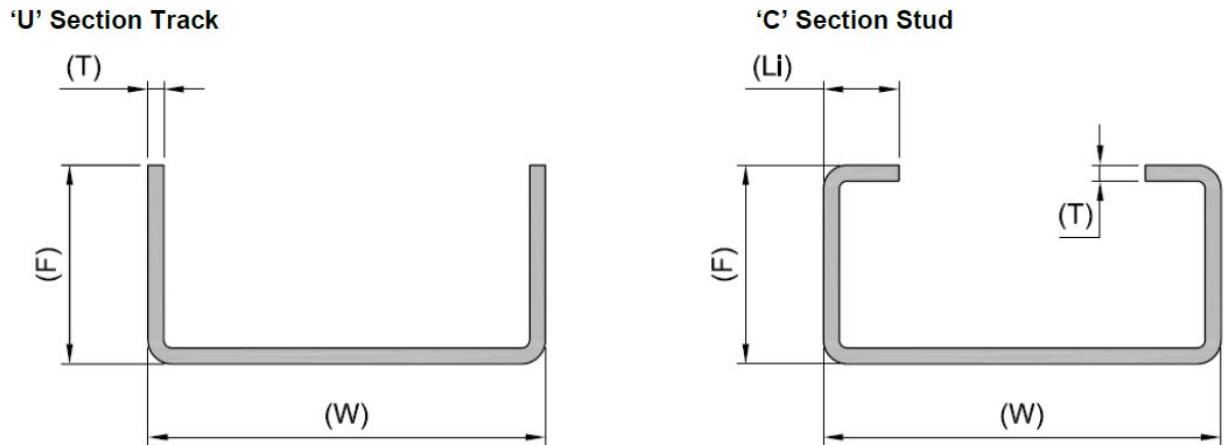


Fonte: ABNT NBR 6355:2012.

As empresas fornecedoras de perfis de aço para *steel frame* pesquisadas foram a Kingspan, a Brasilit e o sistema Aquapanel da Knauf.

A Kingspan fornece 2 perfis ao mercado para montagem do *LSF*, seção “C”, montantes, e seção “U”, para guias, conforme ilustrado na Figura 2.8. Eles utilizam na concepção perfis de aço com revestimento Z275 (ABNT NBR 7008-1:2012).

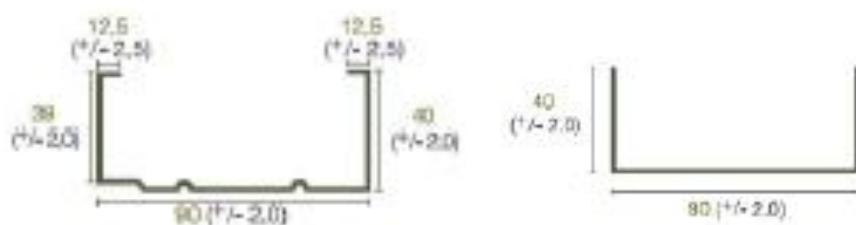
Figura 2.8 - Perfis com seção C e U



Fonte: KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014.

A Brasilit fornece perfis com seção “M” para montantes e seção “U” para guias. A proteção mínima é Z180, com aço mínimo ZAR 230 MPa em espessuras de 0,80, 0,95, 1,25 mm, de acordo com a ABNT NBR 15.273:2014 (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011). A Figura 2.9 apresenta os perfis detalhados com dados de dimensão e aplicação fornecidos pela Brasilit.

Figura 2.9 – Perfis em aço galvanizado para *steel frame*



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

Os perfis *steel frame* utilizados pelo sistema Aquapanel, para montante e guia, foram estudados em laboratório, e estão ilustrados com as dimensões de suas seções transversais no Quadro 2.8.

Quadro 2.8 – Perfis utilizados pelo sistema Aquapanel, da Knauf

Descrição do produto	Dimensões dos perfis (mm) Comprimento x largura x espessura	Ilustração do produto
Perfil Metálico Montante	90 x 50 x 0,80	
	90 x 50 x 0,95	
	120 x 50 x 0,80	
	140 x 50 x 0,80	
	200 x 50 x 0,80	
Perfil Metálico Guia	91 x 40 x 0,80	
	91 x 40 x 0,95	
	121 x 40 x 0,80	
	141 x 40 x 0,80	
	201 x 40 x 0,80	

Fonte: KNAUF, 2011.

2.3.3. Componentes de Isolamento Termoacústico

A Fachada Leve pode necessitar de materiais e componentes adicionais para adequação térmica e acústica, para que se possa garantir os requisitos mínimos de desempenho explicitados na Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575:2013. Há dois tipos de isolamento mais difundidos para utilização no sistema proposto: vidro e rocha de materiais naturais, e lã de materiais sintéticos como PET reciclado.

O material mais difundido para a função de adequação térmica e acústica são as lãs de minerais, estas se caracterizam também por serem incombustíveis. Para adequação do material aos requisitos são utilizados dois índices para características térmicas e um índice de característica acústica, apresentados no Quadro 2.9.

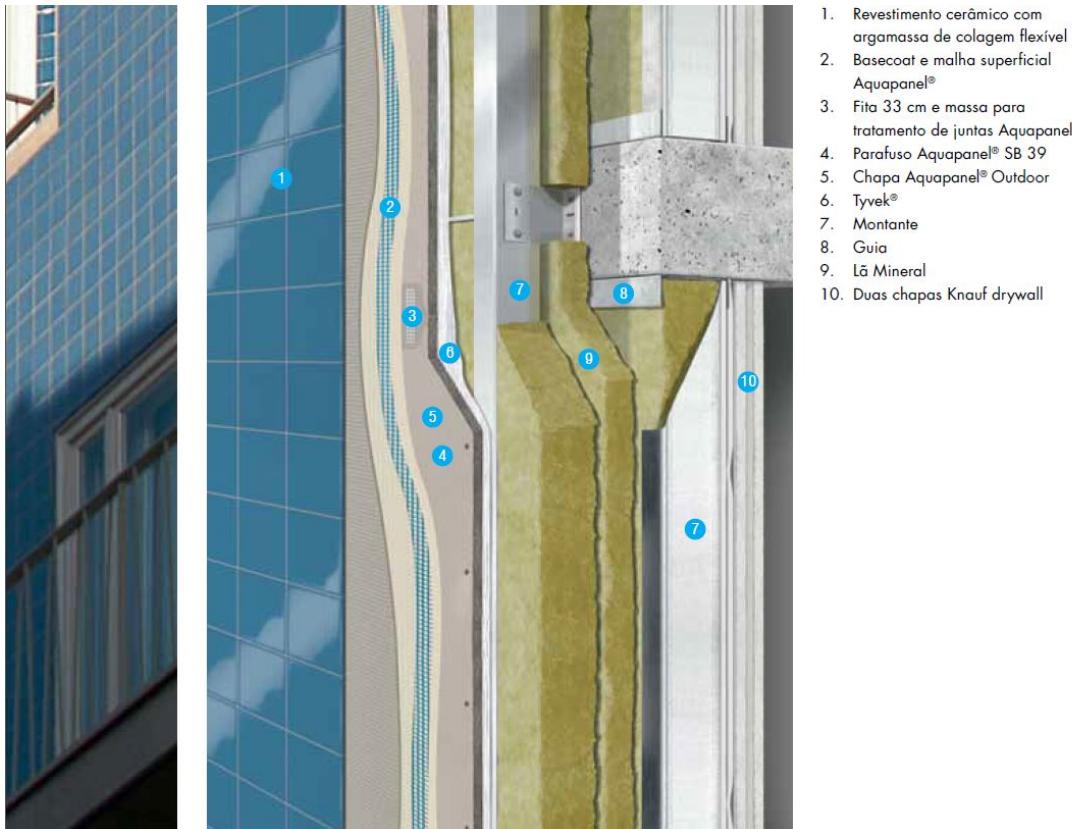
Quadro 2.9 - Parâmetros de desempenho térmico e acústico

Índices de Desempenho Térmico e Acústico			
Isolamento	Sigla	Descrição	Unidade
Térmico	U	Coeficiente de Transmitância Térmica	W/m°C
	Rt	Resistência Térmica	m°C/W
Acústico	RW	Índice Ponderado de Redução Acústica	dB

Fonte: ABNT NBR 15.575-1:2013.

Como foi enunciado, a lã de mineral é o material mais difundido no mercado, a Figura 2.10 ilustra o sistema Aquapanel, destacando a presença deste componente de isolamento.

Figura 2.10 - Componentes do Sistema Aquapanel.



Fonte: KNAUF, 2014.

A Brasilit Saint-Gobain recomenda a utilização dos isolamentos também produzidos pela Saint-Gobain, da subsidiária Isover, chamados Wallfelt. O Wallfelt é produzido por lã de vidro revestida em uma das faces com papel Kraft ou véu de vidro. A Figura 2.11 apresenta o Wallfelt em manta e placa semirrígida.

Figura 2.11 - Rolo de Wallfelt e Placa semi-rígida de Wallfelt.



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

PAROCK é um isolamento termoacústico de lã de rocha encontrado no mercado, produzido pela RockFibras. Possui características similares ao painel produzido pela Saint-Gobain, sendo, portanto, uma placa semirrígida. A Figura 2.12 ilustra este material.

Figura 2.12 - Placa semirrígida PAROCK



Fonte: Google Imagens, 2015, Acesso em 25/04/2015.

Segundo os fabricantes, esses componentes são de fácil manuseio e podem ser cortados facilmente com uma faca, a fim de se obter o tamanho desejado. As características dimensionais e técnicas dos componentes estão sintetizadas no Quadro 2.10.

Quadro 2.10 - Características dimensionais e técnicas de isolantes termoacústicos.

Saint-Gobain	Feltro Wallfelt	Manta	Comprimento	7,50 e 12,50 m
			Largura	0,60 e 1,20 m
			Espessura	75 mm
			RW	47 dB
			Rt	1,78 m ² °C/W
			U	0,042 W/m°C
	Painel Wallfelt	Placa Semirrígida	Comprimento	1,35 m
RockFibras	PA-ROCK	Placa Semirrígida	Largura	0,60 m
			Espessura	75 mm
			RW	47 dB
			Rt	1,78 m ² °C/W
			U	0,042 W/m°C
			Comprimento	1,35 m
			Largura	0,600 m
			Espessura	51 mm
			RW	45 dB
			Rt	1,59 m ² h°C/kcal
			U	0,032 kcal/mh°C

Fonte: ISOVER, 2010; BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011; PACINI, 2012.

2.3.4. Componente de Proteção contra ação de Água

As placas cimentícias são materiais permeáveis. Portanto, para se garantir estanqueidade à água e ao ar do sistema, emprega-se um elemento impermeável. O material utilizado é a barreira de polietileno de alta densidade.

O produto mais difundido para tais fins é o Tyvek® Home Wrap®, da Dupont. De acordo com a fabricante (DUPONT, 2014), a barreira tem as funções de:

- Reduzir transferência de temperatura entre ambiente interno e externo aumentando a eficiência energética da construção.
- Evitar a formação e acúmulo de umidade no interior da parede.

- Resistir à penetração de água.
- Aumentar a longevidade da estrutura e isolamento termoacústica.
- Proteger a estrutura dos elementos na fase de construção.

A Figura 2.13 ilustra uma construção utilizando a barreira impermeável, neste caso o Tyvek.

Figura 2.13 - Edifício utilizando Tyvek.



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

2.3.5. Componentes de Fixação e Montagem

Para fixação dos perfis metálicos entre si e entre eles e a estrutura principal do edifício, são utilizados parafusos e ancoragens. A fixação entre elementos da Fachada Leve é feita por parafusos e buchas padronizados, como por exemplo os ilustrados na Figura 2.15. Entretanto, a fixação dos perfis aos elementos estruturais é feita por elementos dimensionados por projetistas (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011).

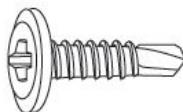
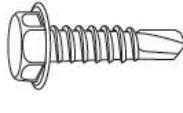
A Knauf, que comercializa o Sistema Aquapanel, é um fornecedor de elementos de fixação para seu sistema. A empresa apresenta especificações para os parafusos, como resistência à corrosão e comprimentos mínimos próprios. A Figura 2.14 apresenta os dispositivos comercializados com suas características técnicas e físicas.

Figura 2.14 - Tipos de parafusos comercializados pela Knauf

Tipos de parafusos					
Tipo	Desenho	Código	Comprimento nominal (mm)	Utilização	
				Perfil metálico	Chapas de drywall
Cabeça trombeta e ponta agulha		TA25	25	Espessura máxima de 0,70 mm	1 chapa com espessura de 12,50 mm ou 15,00 mm em perfis metálicos
		TA35	35		2 chapas com espessura de 12,50 mm em perfis metálicos
		TA45	45		2 chapas com espessura de 15,00 mm em perfis metálicos
		TA50	50		
		TA55	55		3 chapas com espessura de 12,50 ou 15,00 mm em perfis metálicos
		TA65	65		
		TA70	70		
Cabeça trombeta e ponta broca		TB25	25	Espessura máxima de 0,70 mm até 2,00 mm	1 chapa com espessura de 12,50 mm ou 15,00 mm em perfis metálicos
		TB35	35		2 chapas com espessura de 12,50 mm em perfis metálicos
		TB45	45		2 chapas com espessura de 15,00 mm em perfis metálicos
		TB50	50		
		TB55	55		3 chapas com espessura de 12,50 ou 15,00 mm em perfis metálicos
		TB65	65		
		TB70	70		
Cabeça lenticila ou panela e ponta agulha		LA	4,2 X 13 mm	Espessura máxima de 0,70 mm	Fixação de perfis metálicos entre si
		PA	3,50 X 9,00 mm		Fixação de perfis metálicos entre si
Cabeça lenticila ou panela e ponta broca		LB	4,2 X 13 mm	Espessura máxima de 0,70 mm até 2,00 mm	Fixação de perfis metálicos entre si
		PB	3,50 X 9,00 mm		Fixação de perfis metálicos entre si

Fonte: KNAUF, 2014.

Figura 2.15 - Parafusos recomendados pela BRASILIT

Utilização	Comprimento	Diâmetro	Desenho	Tratamento	Tipo
Fixação entre perfis de aço.	13 mm	4,2 mm		Zincado	Parafuso para Fixação entre Perfis Brasilit "metal-metal"
Fixação entre perfis de aço.	3/4"	4,8		Zincado	Parafuso Cabeça Sextavada Ponta Broca
Fixação entre perfis de madeira.	19 x 36	—		Zincagem a fogo	Prego de aço tipo Ardox Ponta Broca

11.2.1. PARA FIXAÇÃO DE PLACA NA ESTRUTURA					
Utilização	Comprimento	Diâmetro	Desenho	Tratamento	Tipo
Fixação sobre estrutura de aço.	1"	6		Zincado	Cabeça Trombeta fenda Philips Ponta agulha
Fixação sobre estrutura de aço (perfil de Drywall).	32 mm	4,2 mm		Zincado	Parafuso Autobrocante Brasilit Ponta Broca sem asas
Fixação sobre estrutura de aço (perfil de Steel Framing).	32 mm	4,2 mm		Zincado	Parafuso Autobrocante Brasilit Ponta Broca com Asas
Fixação sobre estrutura de madeira.	15 x 15	—		Zincado a fogo	Prego de aço tipo Ardox ou anelado

Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

2.3.6. Componentes de Vedação de Juntas

Para as vedações deve-se sempre ser respeitado um espaçamento mínimo de três milímetros, após a instalação das placas, este espaço deve ser totalmente preenchido com o material de junta especificado pelo fabricante.

Para juntas invisíveis, pelo método tradicional, as regras são as mesmas usadas no *drywall*, ou seja: após a fixação das chapas o tratamento que se segue é de preencher o espaço entre uma chapa e outra para garantir uma superfície única. Para esse preenchimento utiliza-se massa e fita alternadamente até que a camada esteja adequada.

Existem ainda outros métodos de realizar o tratamento das juntas. Materiais utilizados:

- Massa para tratamento de juntas

Trata-se de uma massa à base de cimento para preenchimento das juntas entre as chapas.

- Fita para tratamento de juntas

A fita de vidro que se segue à aplicação da massa deve se comportar bem frente a possíveis variações de comprimento, um comportamento elástico.

- Basecoat

É uma massa para acabamento, à base de cimento reforçado com resina sintética a ser aplicada com uma camada de 5mm antes da malha sintética e de 2mm após.

- Malha de reforço

É uma ampla malha de fibra de vidro, com largura aproximada de um metro, fica embutida na massa *basecoat*.

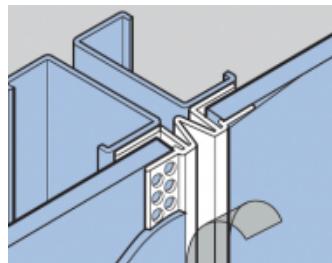
- EIFS (STO)

Consiste basicamente em um revestimento sem carga composto de: adesivo de fixação, camada de isolamento, reforço de fibra de vidro, camada de base, acabamento. Tem como diferencial a vantagem estética e a fácil instalação.

- Juntas de controle

É um material não muito difundido no Brasil. Trata-se de um elemento, normalmente em PVC ou Vynil, com juntas flexíveis de forma a permitir movimentação (Figura 2.16).

Figura 2.16 - Juntas de controle com bordas perfuradas.



Fonte: KNAUF, 2014.

2.4. PRINCIPAIS AGENTES DA CADEIA DE PRODUÇÃO DAS FACHADAS LEVES

2.4.1. Fornecedores de componentes

Os fornecedores de componentes, como um todo, têm a mesma tendência de, além do produto, oferecerem também alguma forma de incentivo (como treinamento de mão de obra ou consultoria) para que o sistema seja escolhido frente a outras soluções.

- Brasilit

A Brasilit é um ramo da multinacional Saint-Goban. Foi criada com o intuito de oferecer soluções de fibrocimento. A empresa fornece apenas os materiais, não elabora projetos nem faz acompanhamento de obra.

- Knauf

Knauf é uma empresa multinacional alemã, em atuação no Brasil desde 1997. É a empresa fornecedora do sistema AQUAPANEL® que reúne todos os elementos necessários para a montagem das paredes externas de vedação. A empresa fornece os materiais e o treinamento da mão de obra, não elabora projeto, nem controla a qualidade da instalação.

- Eternit

A Eternit é uma empresa diversificada do ramo de coberturas, com atuação também no segmento de louças, metais, sanitários e soluções construtivas. É fornecedora da placa cimentícia “Eterplac”. A empresa mantém showroom em São Paulo, onde exibe

a solução construtiva estudada e pode tirar dúvidas. Na sede do showroom, a Eternit oferece também como serviços o treinamento da mão de obra, consultoria a partir de projeto existente e possibilidade de contratação de um funcionário para controle de qualidade.

- LP Brasil

É uma empresa que entrou no mercado Brasileiro no ano de 2008. A multinacional fornece painéis estruturais de OSB, além de materiais de revestimento e barreira de impermeabilização. A LP Brasil oferece também treinamento da mão de obra para construção em *steel frame*.

- PlacLux

Em atuação no mercado Brasileiro desde 2007, a PlacLux tem como seu principal produto a placa cimentícia ProFort ds, de tecnologia americana. A empresa se responsabiliza, além do fornecimento dos materiais, por também oferecer treinamento para construção em *steel frame*.

2.4.2. Projetistas

Dentro do ramo de projetos, existem poucas empresas familiarizadas com o método de *steel frame*. Com o passar dos anos, as paredes internas de *drywall* têm sido cada vez mais utilizadas e aceitas; porém, o uso de painéis leves em vedações externas ainda é pouco adotado e o *steel frame* tem impacto de maneira diferente quando adotado em fachada.

Empresas como a “FCH consultoria e projetos ou a “Inovatec Consultores associados” têm buscado aprimorar as soluções utilizando o sistema de vedação externa leve, tentando encontrar soluções mais econômicas e satisfatórias.

2.4.3. Montadores

A proposta de adotar a solução pode vir de diferentes partes, tanto do cliente ou da projetista, como da construtora própria. As construtoras que têm visado esse tipo de

construção estão geralmente em busca de redução de prazos, já que é de rápida instalação.

A “USG – United States Gypsum” (uma das empresas líderes em produtos para construção a seco) indica como montadores: “Ciamon”, “Gypsul”, “Idea Sistemas”, “Multiframe”, “Smart Sistemas” e “Imecon”. As montadoras têm um papel muito importante na execução, uma vez que possuem uma maior experiência prática em um ramo que ainda não é muito explorado, por vezes acabam até interferindo com sugestões nos projetos. O orçamento para concorrência é levantado em cima da quantidade de material especificada e depois, para obra, estudado juntamente com a empresa projetista responsável.

2.5. OBRAS IDENTIFICADAS

Mesmo com todas as funções da vedação e das vantagens discutidas, ainda existem poucas obras de edifícios de múltiplos pavimentos executadas com o sistema no cenário nacional. Apesar de existir um número razoável de edifícios comerciais como shopping centers, supermercados e obras de residências unifamiliares (térreas ou sobrados), as opções para edifícios de múltiplos pavimentos, objeto de estudo desse trabalho, ainda são bastante escassas. As principais serão discutidas na sequência.

Um dos primeiros empreendimentos a utilizar o sistema é um hotel localizado na cidade de Canoas-RS, pertencente à rede de hotéis Ibis, da empresa Accor Hotels. O empreendimento, cuja construção foi finalizada em 2012, possui sete pavimentos-tipo e área construída total aproximada em 4200 m². A Figura 2.17 ilustra a construção das fachadas do empreendimento Ibis.

Figura 2.17 - Fachada Leve em construção - Hotel Ibis, Canoas-RS



Fonte: Medabil S.A, Acesso em 05/08/2015.

O empreendimento do hotel Ibis foi executado pela empresa Prisma Engenharia. A execução e fornecimento das estruturas metálicas foram de responsabilidade da empresa Medabil. O empreendimento foi concebido utilizando pilares mistos de concreto e aço em perfis I. A estrutura de sustentação horizontal é composta por vigas metálicas e lajes em *steel deck*. Para a fachada foi utilizado o sistema estruturado com *steel frame* e placas cimentícias pelo lado externo, chapas de gesso acartonado pelo lado interno e isolamento termoacústico em lã de vidro entre as placas. De acordo com a empresa Medabil, a construção da estrutura metálica do edifício e da fachada foi finalizada em 67 dias.

O segundo empreendimento identificado é o Residencial Wind, localizado no Rio de Janeiro-RJ, construído pela empresa Odebrecht Realizações Imobiliárias. A finalização das obras está prevista para o segundo semestre de 2015. O empreendimento conta com quatro torres residenciais de sete pavimentos cada, totalizando 260 unidades.

O edifício foi concebido com estrutura reticulada com pilares e lajes planas em concreto armado. Não há vigas. A fachada tem a mesma constituição da empregada no edifício do hotel Ibis. A Figura 2.18 ilustra a execução da subestrutura de sustentação em *steel frame*, enquanto que na Figura 2.19 é possível observar as

placas cimentícias fixadas, além da plataforma de trabalho utilizada para o empreendimento com andaime fachadeiro.

Figura 2.18 - Wind Residencial - Estruturação em *steel frame*. a) Vista Externa. b) Vista Interna



(a)

(b)

Fonte: Odebrecht Realizações Imobiliárias, Acesso em 05/08/2015.

Figura 2.19 - Wind Residencial - Fechamento Externo em Placas Cimentícias



Crédito: Eng. Reinaldo Kaizuka, 2015.

A terceira obra identificada com o sistema Fachada Leve é o empreendimento BK30 da empresa construtora BKO Engenharia e Comércio. Tal empreendimento, localizado em São Paulo-SP, consiste em uma torre residencial de 12 pavimentos, com 10 unidades tipo estúdio por pavimento. Pela localização do empreendimento, foi possível realizar uma visita técnica ao canteiro de obras, de modo a obter mais informações sobre a execução de um edifício com o sistema de Fachada Leve. A Figura 2.20 ilustra de maneira geral a torre em estudo.

Para a execução do empreendimento BK30, a solução estrutural adotada foi estrutura de concreto armado, com a utilização de lajes planas, sem vigas. A fachada tem a mesma constituição dos dois empreendimentos anteriores.

Figura 2.20 - BK30 - a) Vista Frontal. b) Pano de Fachada lateral com placas cimentícias.



Fonte: Os Autores, 2015.

3. DESEMPENHO DO SISTEMA

3.1. EXIGÊNCIAS DOS USUÁRIOS E NORMA DE DESEMPENHO

Em um edifício, o sistema de vedação vertical externa é responsável por fazer a separação entre o ambiente interno, de permanência dos usuários, e o ambiente externo. Portanto, é responsável por criar as condições de habitabilidade que os usuários necessitam, protegendo-os de intempéries como ar, água, calor, luz, dentre outros.

Por mais que o sistema de vedação vertical não exerça função estrutural, é um sistema que interage com as demais partes e componentes de um edifício, como esquadrias, estruturas, coberturas, pisos, instalações, dentre outros. Por interagir com a estrutura do edifício, o sistema de vedação vertical pode ou não exercer função de contraventamento, além de sofrer ações decorrentes das deformações da estrutura. Também existe a necessidade de resistir a eventuais cargas geradas pelos próprios usuários, como cargas de choque fixação de peças suspensas (OLIVEIRA, 2009).

Nesse sentido, para poder estudar o sistema Fachada Leve, é necessário identificar as principais exigências dos usuários. A partir do lançamento da norma ABNT NBR 15.575:2013 - Desempenho para Edificações Habitacionais, que entrou em vigor em Julho de 2013, houve uma consolidação do conceito de exigências dos usuários, que até então eram tratadas de forma subjetiva e, muitas vezes, heterogênea.

Com a Norma, as exigências passaram a ser tratadas como requisitos técnicos, com parâmetros determinados para cada tipo de preocupação. Requisitos técnicos são condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam atender às exigências do usuário (CBIC, 2011). As exigências do usuário foram agrupadas em três grandes temas: Segurança, Habitabilidade e Sustentabilidade e foram expressas como requisitos listados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Exigências e requisitos do Usuário

Segurança	Segurança estrutural
	Segurança contra o fogo
	Segurança no uso e operação
Habitabilidade	Estanqueidade
	Desempenho térmico
	Desempenho acústico
	Desempenho lumínico
	Saúde, higiene e qualidade do ar
	Funcionalidade e acessibilidade
Sustentabilidade	Conforto tátil e antropodinâmico
	Durabilidade
	Manutenibilidade
	Impacto Ambiental

Fonte: ABNT NBR 15575:2013.

Para cada um destes requisitos, são estabelecidos critérios de atendimento, que são especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados. Segundo a ABNT NBR 15575:2013, para alguns requisitos, são estabelecidos três níveis de desempenho passíveis de serem alcançados: mínimo, intermediário e superior.

Dentre os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 15575:2013 (Quadro 3.1), alguns são de caráter absoluto e outros de caráter relativo. Deste modo, na análise do desempenho do edifício, é possível levar em consideração as peculiaridades e limitações sociais, econômicas e ambientais do local em que o edifício está inserido.

Requisitos de Segurança são sempre absolutos, isso é, deverão ser atendidos independentemente do contexto no qual o edifício está inserido. Da mesma maneira, todos os usuários necessitam de um ambiente com qualidade sanitária adequada, além de que todos os ambientes devem ser acessíveis e funcionais. Logo, a edificação deve apresentar compartimentação adequada e dispor de espaços físicos suficientes, bem como permitir o correto funcionamento das instalações.

Os requisitos de caráter relativo, por sua vez, não são necessariamente menos importantes. A diferença se dá porque estes requisitos alcançarão um nível de desempenho tanto maior quanto maior for o investimento em melhorias nos sistemas. Por exemplo, toda edificação necessita ter atendidas as condições mínimas de isolamento térmico e acústico; mas existem no mercado demandas que exigem soluções que acarretem em nível de conforto maior ao usuário, que exigirão o uso de tecnologias específicas como, por exemplo, o uso de mantas com características de isolamento acústico aplicadas aos elementos da edificação. Porém, tais soluções, por agregar maior custo ao edifício, podem não ser acessíveis a todos os usuários.

Outros requisitos de destaque são os de Durabilidade e Manutenibilidade. Apesar de a norma ABNT NBR 5674/2012 estabelecer procedimentos para atividades de manutenção em um edifício, não havia referencial técnico ou jurídico que indicasse qual o período de tempo que qualquer componente ou subsistema do edifício deveria possuir (CBIC, 2013). Nesse sentido, a ABNT NBR 15575/2013 define Durabilidade como “a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas.”

Assim, torna-se importante a correta identificação das condições de exposição e uso do edifício por parte dos agentes envolvidos na sua concepção (empreendedores, projetistas, construtores), bem como a definição dos períodos de manutenção necessários. Com base nesses elementos, foi possível expressar o conceito de Vida Útil, também estabelecido pela norma.

A Vida Útil de um edifício, sistema ou componente, segundo a ABNT NBR 15575:2013, é definida como o período de tempo em que estes elementos “se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, levando em consideração a correta periodicidade e execução de processos de manutenção especificados”. A norma estabelece também o conceito de Vida Útil de Projeto (VUP) que reflete uma “estimativa de tempo para o qual o sistema é projetado a fim de atender aos requisitos de desempenho estabelecidos na norma, considerando o atendimento aos requisitos das normas aplicáveis, o estágio do conhecimento no momento do projeto e supondo-se a correta execução dos processos de manutenção nos prazos especificados no Manual de Uso, Operação e Manutenção” (ABNT NBR 15.575-1:2013). A Figura 3.1 busca esclarecer o conceito de Vida Útil.

Figura 3.1 - Vida Útil de Projeto

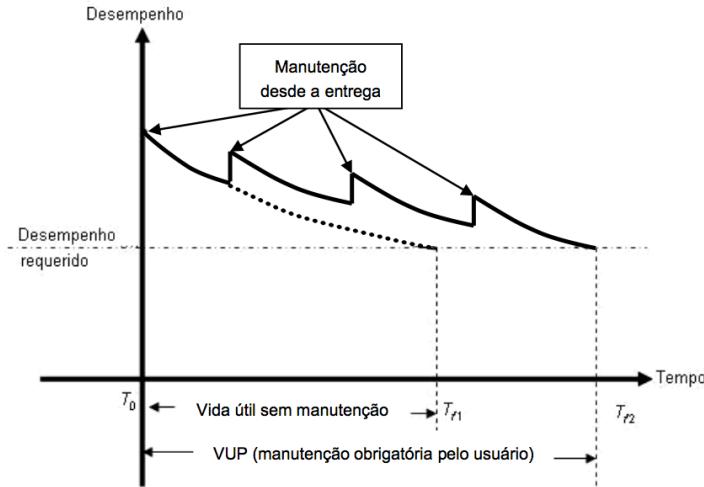


Figura C.1 — Desempenho ao longo do tempo

Fonte: ABNT NBR 15.575-1:2013, Anexo C.

Para facilitar a aplicação dos conceitos de desempenho ao edifício como um todo, a ABNT NBR 15.575:2013 está organizada em seis partes:

- 1) Requisitos Gerais
- 2) Sistemas de Estrutura
- 3) Sistemas de Pisos
- 4) Sistemas de Vedações Verticais
- 5) Sistemas de Coberturas
- 6) Sistemas Hidrossanitários

Observa-se que a divisão contemplou os principais subsistemas do edifício, além de uma parte geral. Cada uma das partes está organizada em função dos critérios de desempenho que cada sistema deve cumprir. Por exemplo, um determinado critério que se aplica à estrutura portante de um edifício pode não ser necessariamente aplicável ao sistema de vedações verticais. Assim, a Norma especifica critérios técnicos, definidos em quantidades mensuráveis ou qualidades que possam ser objetivamente observadas. Desse modo, é possível comprovar que um determinado sistema atende às exigências do usuário para a sua função esperada. Além disso, também fornece as instruções necessárias para a realização de testes com os

sistemas e componentes de cada parte envolvida, de modo a simular condições de utilização mais próximas das reais.

A Norma de Desempenho não invalida as outras normas existentes, mas age de forma a complementá-las, uma vez que estabelece requisitos de desempenho para o edifício como um todo. As demais normas - aplicáveis a materiais e componentes construtivos - são prescritivas, isto é, lidam com as exigências específicas para um determinado produto ou serviço.

3.2. EXIGÊNCIAS DE DESEMPENHOS DO SISTEMA FACHADA LEVE

Considerando-se as partes da ABNT NBR 15575:2013, fica claro que a Parte 4 deve ser o foco deste trabalho. Assim, para que as tecnologias disponíveis para o sistema possam ser adequadamente analisadas nos itens seguintes, foi feita uma síntese quanto aos requisitos e critérios de desempenho cabíveis ao sistema de vedações verticais externas, aplicados ao sistema Fachada Leve, objeto do trabalho.

O sistema de fachada produzida com chapas delgadas e estrutura leve de aço ainda não dispõe de norma específica, mas estão disponíveis normas que se referem aos componentes utilizados nesse sistema, as quais estão elencadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Normas brasileiras relativas aos materiais e componentes utilizados pela tecnologia Fachada Leve.

Norma ABNT	Título da Norma	Publicação
NBR 10412	Isolantes térmicos de lã de vidro feltros de lamelas – Especificação	2013
NBR 11361	Mantas termoisolantes à base de lã de rocha	2014
NBR 11362	Feltros termoisolantes à base de lã de vidro	2013
NBR 11722	Feltros termoisolantes à base de lã de rocha	2014
NBR 14715	Chapas de gesso acartonado – requisitos gerais	2010
NBR 15253	Perfis de aço conformados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações – Requisitos gerais	2005
NBR 15498	Placa plana cimentícia sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio	2007

Norma ABNT	Título da Norma	Publicação
NBR 6355	Perfis estruturais de aço formados a frio – Padronização	2012
NBR 14762	Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio	2010

Fonte: Extraído de CARDOSO, 2015

Uma vez que não existe norma específica para o sistema, ele é considerado como inovação tecnológica e, para que possa ser empregado em empreendimentos financiados pelos programas governamentais, deve passar por avaliação específica, prevista no âmbito do Sistema Nacional de Aprovação Técnica (SiNAT), proposto pelo Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), do Ministério das Cidades.

Apesar de existirem normas prescritivas para análise individual dos componentes do sistema de vedação estudado, ainda não existe uma norma que elenque os métodos e ensaios necessários para verificar o atendimento às exigências de desempenho expressas na ABNT NBR 15575:2013 quando todos os componentes operam em conjunto.

Visando suprir as lacunas de normalização técnica, o SiNAT fornece diretrizes para avaliação técnica de produtos, que incluem os requisitos e critérios de desempenho, bem como os métodos de avaliação a serem adotados na avaliação técnica. Ao ser avaliado por uma ou mais Instituições Técnicas Avaliadoras (ITA), o referido produto possuirá um Documento de Atestado Técnico (DATec), o qual serve como certificado de atendimento às exigências de desempenho.

As Diretrizes do SiNAT não são uma sobreposição à Norma de Desempenho, pelo contrário. Para cada sistema novo proposto, a Diretriz enumera quais são as exigências previstas na ABNT NBR 15575:2013 que são aplicáveis na avaliação do sistema inovador, agindo mais como uma forma de síntese dos critérios.

Para o sistema de vedações leves, existem duas diretrizes atualmente disponíveis: a Diretriz SiNAT 003 – “Sistema construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012) e a Diretriz SiNAT 009 – “Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas

delgadas” (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012). A Diretriz SINAT 003 foca os sistemas em que os componentes de *steel frame* possuem função de estrutural principal da edificação. Já a Diretriz 009 foca os sistemas de vedação sem função estrutural.

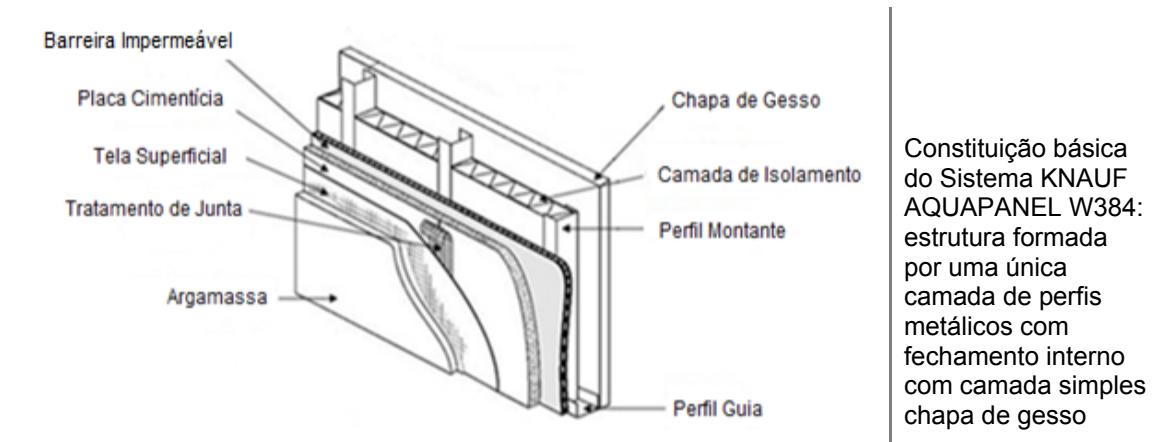
Como o presente trabalho visa discutir a implantação de sistemas de fachadas leves em edifícios de múltiplos pavimentos, sem função estrutural, apenas a Diretriz 009 foi considerada. É importante dizer, porém, que apesar de o sistema de vedação não ter função de estrutura principal do edifício, é necessário que seja capaz de suportar as ações decorrentes do vento e de seu peso próprio (SANTIAGO *et al*, 2012). Portanto, faz-se necessário que o sistema atenda a determinados requisitos estruturais também.

Uma vez que existe uma Diretriz SiNAT que visa propiciar a avaliação de um determinado sistema, os proponentes de um novo sistema podem realizar a avaliação de seu sistema específico. Até o momento de finalização deste trabalho, foi possível ter contato com os resultados da avaliação de um dos sistemas disponíveis no mercado: o KNAUF Aquapanel (TESIS, 2014).

O Sistema KNAUF Aquapanel é um sistema de Fachada Leve formado por guias e montantes em aço galvanizado, com fechamento exterior em placas cimentícias e fechamento interior com chapas de gesso acartonado. Entre a placa cimentícia e a estrutura metálica é inserida uma barreira impermeável de polietileno de alta densidade, da marca Tyvek®. No interior das chapas, entre os montantes, é utilizada uma camada de isolamento térmico em lã de rocha ou lã de vidro.

Essa configuração, ilustrada na Figura 3.2, é denominada pelo fabricante de composição W384 e foi avaliada pela Instituição Técnica Avaliadora (ITA) TESIS Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia a partir da Diretriz SiNAT 009, considerando-se análise de projetos, ensaios labororiais e de campo e vistorias em obras. O resultado de tal avaliação foi cedido pela Knauf a estes autores, a fim de que se pudesse estudar o sistema mais a fundo.

Figura 3.2 - Sistema Knauf Aquapanel - Composição avaliada pela Instituição Técnica Avaliadora



Fonte: TESIS, 2014.

Uma vez que somente foi possível acesso a informações técnicas de desempenho do sistema Knauf Aquapanel, para a análise dos requisitos de desempenho do sistema, neste trabalho, além de se tomar como referência a Diretriz SiNAT 009 (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2012) faz-se também uma análise dos resultados obtidos pelo sistema KNAUF Aquapanel e, para facilitar a leitura e compreensão de cada requisito, as informações foram organizadas na forma de quadros (Quadro 3.3 a Quadro 3.11), considerando-se cada um dos requisitos.

3.2.1. Desempenho Estrutural

Quadro 3.3 - Requisitos de Desempenho Estrutural para o Sistema.

Critério	Descrição	Avaliação Sistema Aquapanel
Estabilidade e resistência estrutural	Não deve apresentar deslocamentos maiores do que os permitíveis quando sujeito a cargas horizontais devidas ao vento	Realizado ensaio com balão inflável aplicando carga lateral; Não houve fissuras, trincas, rupturas; As deformações observadas foram inferiores ao limite normativo.

Solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes no sistema	Tanto para cargas internas ou externas (letreiros, luminosos, etc.), não deve apresentar fissuras, deslocamentos horizontais acima dos permitidos, lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação, nem seu esmagamento	Não há menção na avaliação sobre ensaios de cargas provenientes de peças suspensas.
Resistência a impactos de corpo mole	Não deve sofrer ruptura ou instabilidade, que caracterize o estado limite último.	Não houve ocorrência de falhas, inclusive nos revestimentos, para os impactos de menor magnitude (estado limite de serviço), nem a ocorrência de ruína para ensaios com energias de impacto superiores (estado limite último), tanto nos ensaios de corpo mole quanto nos ensaios de corpo duro.
	Não deve apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha que possa comprometer o estado de utilização	
	Não deve provocar danos a componentes, instalações ou aos acabamentos acoplados ao sistema	
Impacto de corpo duro	Não deve apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), sendo admitidas mossas localizadas, para os impactos de corpo duro	O sistema resistiu à aplicação de esforços estáticos horizontais e verticais e esforços de impactos nos parapeitos
	Não deve apresentar ruptura ou transpassamento sob ação dos impactos de corpo duro	
Cargas de ocupação incidentes em parapeitos de janelas	Deve resistir aos impactos de corpo mole e duro indicados anteriormente; aos esforços estáticos horizontais e verticais previstos na NBR 14718	

Fonte: Ministério das Cidades, 2012; TESIS, 2014.

A Diretriz Sinat 009 destaca que os sistemas a cuja avaliação se destina não tem função estrutural e, por isto, o fabricante poderá fornecer uma tabela de pré-dimensionamento como referência inicial.

A Knauf fornece ao projetista tal tabela para pré-dimensionamento dos perfis metálicos a serem utilizados no projeto, em função do carregamento lateral devido ao vento. De acordo com o laudo da TESIS, os resultados obtidos nos ensaios mostram que a tabela de pré-dimensionamento atende às exigências da Diretriz SiNAT 009. Porém, a ITA não recomenda que a especificação dos perfis seja feita apenas a partir do uso da tabela e recomenda que a escolha dos perfis seja resultado de cálculo estrutural detalhado para cada projeto em específico.

A Diretriz 009 determina que sejam informadas as alturas máximas a serem vencidas pelos montantes, com detalhes de cortes e emendas e que sejam considerados os detalhes para garantir que o sistema não absorverá esforços vindos de lajes e vigas, além de detalhes para tratamento de desvios de prumo com os valores máximos que podem ser absorvidos pelo sistema.

De acordo com Santiago (2008), em sistemas de vedação vertical não estruturais, as principais cargas verticais atuantes no sistema são aquelas decorrentes de seu peso próprio (estrutura em *steel frame* e componentes de fechamento e acabamento) e cargas suspensas aplicadas, enquanto que deve também resistir às cargas horizontais de vento. Além disso, a estrutura em *steel frame* deve ter resistência suficiente para absorver deformações da estrutura principal. Para isto, deve-se lançar mão de detalhes especiais de interface.

O autor ainda identifica em seu trabalho que a principal norma nacional atualmente disponível para dimensionamento do fechamento não estrutural em *steel frame*, é a ABNT NBR 14762:2010 – “Dimensionamento de Estruturas de Aço constituídas por perfis formados a frio”.

Sobre o requisito de solicitações de cargas provenientes de peças suspensas, Ribeiro (2015)² destaca a necessidade de que no projeto das vedações sejam previstos reforços em locais onde estejam previstas a atuação de cargas suspensas, como por

² Entrevista feita pelos autores com a M.Eng. Fabiana Ribeiro, projetista na empresa FCH Consultoria, em 27/05/2015.

exemplo, televisões, prateleiras, armários, dentre outros. Os reforços mais comumente usados são chapas metálicas, usualmente fornecidas pelos fabricantes da estrutura em *steel frame* fixadas entre perfis montantes, e sarrafos de madeira que devem ser devidamente tratados contra a ação de umidade e microrganismos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL, 2014).

Ainda em relação ao uso de elementos suspensos nestes painéis, destaca-se a importância do manual do usuário que deve trazer informações claras e precisas sobre o posicionamento dos elementos de reforços para uso de cargas suspensas.

3.2.2. Segurança contra Incêndio

Quadro 3.4 - Requisitos de Segurança contra Incêndio para o Sistema

Critério	Descrição	Avaliação Sistema Aquapanel
Dificultar a ocorrência da inflamação generalizada	<p>As superfícies internas do sistema objeto dessa diretriz, formadas por chapas de gesso para <i>drywall</i>, devem classificar-se como incombustíveis (ISO 1182:2010);</p> <p>Os materiais empregados como isolantes térmicos e absorventes acústicos devem classificar-se como I, IIA ou IIIA, de acordo com as recomendações da ISO 1182:2010, ABNT NBR 9442:1988 e ASTM E662:2009, elencadas pela ABNT NBR 15.575:2013.</p>	<p>Contempla a chapa de gesso acartonado mais crítica para ação do fogo: chapas Standard (STD); Índice de propagação de chama $Ip=1$;</p> <p>Densidade específica ótica máxima de fumaça $Dm=20$;</p> <p>Classificação da chapa como IIA (NBR 15575:2013);</p> <p>Resultado: aprovada.</p>

	A face externa do sistema deve estar classificada como I a II B, de acordo com as recomendações da ISO 1182:2010, ABNT NBR 9442:1988 e ASTM E662:2009	Utilizado o método de ensaio previsto na ISO 1182:2010 Avaliado corpo de prova composto por 4 camadas de placa cimentícia (conforme dimensões do corpo de prova padrão previsto na ISO 1182:2010); Material classificado como Incombustível: Diferença de temperatura máxima observada menor que 30 C, perda de massa menor que 50% e tempo médio de chameamento menor que 10 s.
Difícil a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação	O sistema deve atender a ABNT NBR 14432:2011 quanto ao tempo requerido de resistência ao fogo, considerando a altura da edificação e seu uso	Avaliação da composição W384 – apenas um perfil montante (90 mm x 80 mm x 0,80 mm) Ensaios: <ul style="list-style-type: none"> • Com chapa de gesso acartonado STD – TRF³ = 60 min • Com uma chapa de gesso acartonado RF – TRF = 90 min • Com duas chapas de gesso acartonado RF – TRF = 120 min

Fonte: Ministério das Cidades, 2012; TESIS, 2014.

O Quadro 3.5 auxilia na compreensão das classificações expressas nas normas relativas à segurança ao incêndio elencadas acima.

³ TRF – Tempo de Resistência ao Fogo

Quadro 3.5 – Classificação dos materiais tendo como base os métodos ISO 1182, NBR 9442 e ASTM E662

Classe	Método de ensaio	ISO 1182	NBR 9442	ASTM E 662
	I	Incombustível $\Delta T \leq 30^{\circ}\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$Ip \leq 25$	$Dm \leq 450$
	B	Combustível	$Ip \leq 25$	$Dm > 450$
III	A	Combustível	$25 < Ip \leq 75$	$Dm \leq 450$
	B	Combustível	$25 < Ip \leq 75$	$Dm > 450$
IV	A	Combustível	$75 < Ip \leq 150$	$Dm \leq 450$
	B	Combustível	$75 < Ip \leq 150$	$Dm > 450$
V	A	Combustível	$150 < Ip \leq 400$	$Dm \leq 450$
	B	Combustível	$150 < Ip \leq 400$	$Dm > 450$
VI		Combustível	$Ip > 400$	-

Fonte: Ministério das Cidades, 2012.

Notas: Ip – Índice de propagação superficial de chama; Dm – Densidade específica ótica máxima de fumaça; Δm – Variação da massa do corpo de prova; Δt – Variação da temperatura no interior do forno.

A norma ABNT NBR 14432:2011 especifica os tempos mínimos de resistência ao fogo, em função da altura da edificação. Porém, no projeto do sistema, também devem ser consideradas as recomendações fornecidas pelo corpo de bombeiros local. No caso de São Paulo, a Instrução Técnica 08/2011 (CORPO DE BOMBEIROS, 2011) especifica os tempos mínimos de resistência ao fogo em função do uso das edificações Quadro 3.6. Portanto, a utilização de uma chapa de gesso acartonado como fechamento interno só é possível de ser utilizada em São Paulo para edifícios residenciais de até 23 m. Para edificações com maior gabarito vertical, é necessário recorrer a uma ou mais chapas do tipo RF.

Quadro 3.6 - Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (min)

Ocupação/Us o	Altura da edificação							
	Até 6m	6m a 12m	12m a 23 m	23m a 30m	30m a 80m	80m a 120m	120m a 150m	150m a 250m
Residencial	30	30	60	90	120	120	150	180
Serviços de Hospedagem	30	60	60	90	120	150	180	180
Comercial Varejista	60	60	60	90	120	150	150	180

Fonte: Adaptado de Instrução Técnica No 008. Corpo de Bombeiros de São Paulo, 2011.

3.2.3. Estanqueidade

Quadro 3.7 - Requisitos de Estanqueidade para o Sistema

Critério	Descrição	Avaliação Sistema Aquapanel
Infiltração de água	Deve permanecer estanque e não apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimientos ou formação de gotas de água aderentes na face interna, podendo ocorrer pequenas manchas de umidade com área limitada.	Montagem da estrutura considerando os perfis mais esbeltos no maior espaçamento possível (600 mm); Sistema mostrou-se estanque para uma condição crítica de vento (pressão de 50Pa), simulando a região V do Brasil
Umidade decorrente da ocupação do imóvel	Quantidade de água que penetra nas vedações verticais externas com incidência direta de água – região de contato com pisos de áreas molhadas; Não deve ocorrer presença de umidade perceptível nos ambientes contíguos de vedações verticais externas em contato com piso de áreas molháveis, desde que respeitadas as condições de ocupação e manutenção previstas em projeto e descritas no manual de uso e operação.	Avaliação realizada em campo: empreendimento localizado na cidade de Canoas/RS; Não foram detectados sinais de percolação de umidade entre ambientes externo e interno, nem na interface piso e fachada, tanto em áreas molháveis como áreas molhadas, nem indícios de danos causados por umidade na face externa do sistema.

Fonte: Ministério das Cidades, 2012; TESIS, 2014.

Na avaliação quanto à infiltração de água, com o painel do sistema Knauf Aquapanel, as placas cimentícias foram cortadas e posicionadas de forma que o corpo de prova possuísse tanto juntas verticais como horizontais, criando-se, com isto, condições críticas de passagem de água. O ensaio simulou uma condição de exposição para a região V (Quadro 3.8) com pressão estática de 50 Pa e vazão de água de 3 L/m².min.

Quadro 3.8 - Condições de ensaio de estanqueidade à água.

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão Estática (Pa)	Vazão de Água (L/m².min)
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575-4:2013.

Algumas premissas de projeto devem ser consideradas na concepção do sistema quanto aos requisitos de estanqueidade. Devem ser indicados detalhes construtivos para as interfaces entre juntas e componentes, bem como detalhes de proteção no entorno da construção, como beirais e pingadeiras.

Ainda em relação à estanqueidade à água do sistema, destaca-se que a Diretriz 009 não estabelece critérios técnicos para a barreira impermeável à água líquida. Informa, apenas, que os critérios aplicáveis a esse componente devem “constar do projeto e do DATEC específicos”. Como não existe norma técnica nacional para este tipo de produto, era de se esperar que a Diretriz suprisse tal lacuna.

3.2.4. Desempenho Térmico

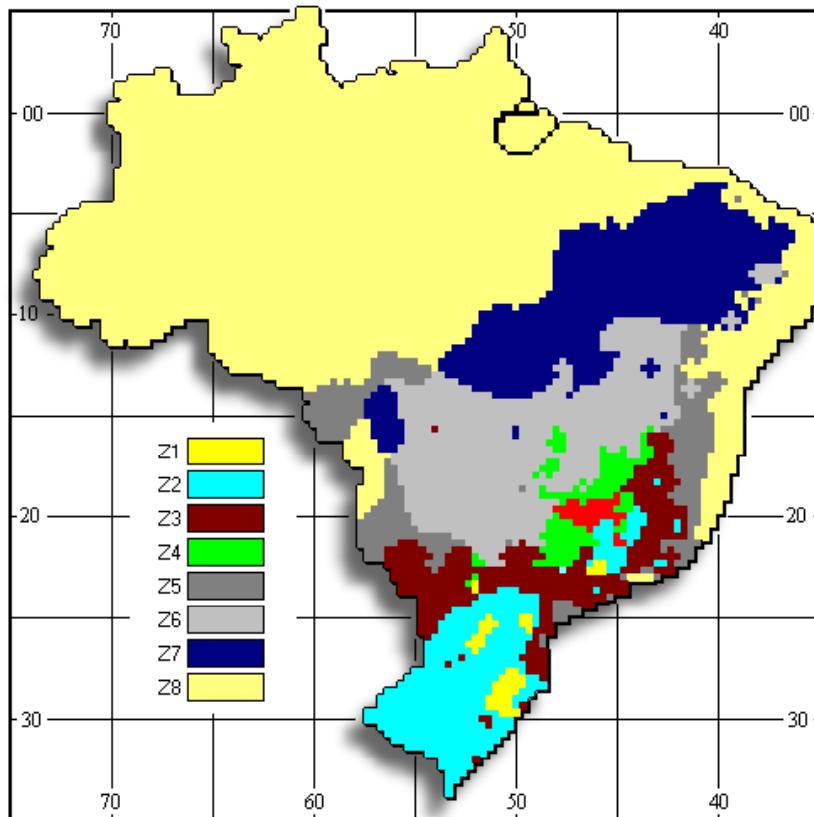
Quadro 3.9 - Requisitos de Desempenho Térmico para o Sistema

Critério	Descrição	Avaliação Sistema Aquapanel	Sistema
Adequação de paredes externas	Apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem pelo menos desempenho térmico mínimo apresentado em função da zona bioclimática da edificação, caracterizada na ABNT NBR 15220-3:2013	-Transmitância Térmica (U): 0,38 W/m ² .K (aprovado); -Capacidade Térmica (CT): 16,6 kJ/m ² .K. (aprovado para Zona Bioclimática 8).	

Fonte: Ministério das Cidades, 2012; TESIS, 2014.

Nas Zonas Bioclimáticas brasileiras mais quentes (Zonas 3 a 8, Figura 3.3) a NBR 15575 estabelece dois valores de transmitância térmica máximos, em função da absorção à radiação solar α . Tal parâmetro é função da cor da superfície analisada, estando mais próximo de 1 quanto mais escura for a cor. Os valores limites de transmitância e capacidade térmica para as paredes externas estão expressos na Figura 3.4 e Figura 3.5.

Figura 3.3 - Zoneamento bioclimático brasileiro.



Fonte: ABNT NBR 15220-3:2005

Figura 3.4 – Requisitos de transmitância térmica.

Transmitância térmica U W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$ $U \leq 3,7$	$\alpha^a > 0,6$ $U \leq 2,5$

^a - α é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.

Fonte: Guia CBIC para atendimento a NBR 15575, 2013.

Figura 3.5 - Requisitos de Capacidade Térmica.

Capacidade térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zona 8	Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem requisito	≥ 130

Fonte: Guia CBIC para atendimento a NBR 15575, 2013.

Além dos requisitos de transmitância e de capacidade térmica, a ABNT NBR 15575:2013 estabelece que os ambientes devem possuir ventilação e sombreamento adequados, sendo estes elementos que interferem diretamente no conforto térmico, principalmente nas regiões mais quentes. Caso o sistema de vedação vertical externa não atenda aos requisitos de transmitância e capacidade térmica, deve-se provar o conforto térmico dos ambientes por meio de simulações computacionais.

O desempenho térmico do Sistema Aquapanel foi avaliado por meio de simulação computacional com base no procedimento explicitado na ABNT NBR 15575-1:2013, avaliando-se a composição considerada mais crítica (W384). Para a simulação, foram utilizados os parâmetros de condutividade térmica e calor específico fornecidos pela ABNT NBR 15220:2005. Reproduz-se na Figura 3.6 as características térmicas dos elementos ensaiados.

Figura 3.6 - Características térmicas dos componentes ensaiados. Reprodução.

Componente	Dados				Cálculo	
	Espessura (e)	Densidade (ρ)	Condutividade (λ)	Calor específico (C)	Resistência Térmica (R_T)	Capacidade térmica (CT)
	m	kg/m ³	W/m K	kJ/kg.K	m ² .K/W	kJ/m ² .K
Basecoat	0,007	1320	0,87	1,00	0,008	9,240
Chapa cimentícia	0,013	1130	0,35	0,84	0,036	11,865
Lã de rocha	0,100	49	0,04	0,75	2,500	3,675
Chapa de gesso	0,013	850	0,20	0,84	0,063	8,925
Argamassa de gesso	0,004	1200 ^(*)	0,700 ^(*)	0,84	0,006	4,032
				TOTAL:	2,612	--

Fonte: TESIS, 2014.

A simulação computacional realizada a partir de elementos genéricos resulta num valor potencial do sistema; portanto, a simulação de transmitância térmica deve considerar as peculiaridades individuais de cada projeto. A norma de desempenho especifica um valor máximo de transmitância para a envoltória do edifício, ou seja, deverão ser considerados elementos como esquadrias e outros tipos de vedo vertical que venham a compor a envoltória.

Quanto à Capacidade Térmica, o valor obtido para o sistema só é adequado para a zona bioclimática 8 para a qual não se prevê tal requisito. Portanto, para as demais zonas, o atendimento aos requisitos de desempenho térmico deverá ser comprovado por simulação computacional conforme especificado na parte 1 da ABNT NBR 15575:2013.

Uma alternativa para o atendimento ao valor exigido pela norma seria a adição de novas camadas de placas, tanto interna quanto externamente. Porém, tal ação iria em sentido contrário ao das vantagens de se optar por esse sistema: o uso de componentes leves de modo a diminuir a massa de insumos incorporada ao edifício.

Nunes (2015)⁴ destaca que o requisito expresso pela norma é baseado em sistemas de vedação vertical tradicionais em alvenaria de blocos, os quais incorporam maior massa ao edifício e possuem maior capacidade de absorver calor. Nesse sentido, a norma apresentaria uma incoerência, pois sistemas leves não conseguem atender ao critério de Capacidade Térmica nela estabelecido.

3.2.5. Desempenho Acústico

Quadro 3.10 - Requisitos de Desempenho Acústico para o Sistema.

Critério	Descrição	Avaliação Sistema Aquapanel
Nível de ruídos admitidos na edificação	Diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela fachada, verificada em ensaio de campo, de acordo com a classe de ruído determinada pela existência de fontes de ruído intenso próximas à edificação	-Corpo de prova ensaiado com as mesmas características do utilizado para avaliação térmica -Índice de Redução Sonora padronizado DnT,w maior que 45 dB (aprovado)

Fonte: Ministério das Cidades, 2012; TESIS, 2014.

O desempenho acústico do sistema pode ser demonstrado a partir de dois parâmetros: o índice de redução sonora (R_w) e o coeficiente de isolamento acústico padronizado (DnT,w). O primeiro expressa a energia do ruído transmitida pelo

⁴ Entrevista realizada com a Arquiteta Fernanda Nunes, responsável técnica pelo sistema Aquapanel, em 20/08/2015.

elemento de fachada, que pode ser avaliado por meio de ensaios de laboratório, em que a energia acústica pode “atravessar” apenas o elemento estudado. O coeficiente de isolamento acústico padronizado, DnT,w, depende de medições realizadas no local, pois leva em consideração as imperfeições da construção e a presença de outros elementos na fachada, como esquadrias, estruturas, entre outros. A diferença estabelecida na ABNT NBR 15575:2013 entre esses dois valores é igual a 5 dB, sendo o valor de isolamento acústico padronizado menor.

Portanto, assim como o ensaio de desempenho térmico, o de isolamento acústico da fachada varia conforme as peculiaridades de cada projeto e dos materiais e processos construtivos adotados. A ABNT NBR 15.575-1:2013 determina que, para comprovação do desempenho acústico da fachada do edifício, deverão ser feitas medidas no local, considerando-se a influência de esquadrias e aberturas existentes.

3.2.6. Durabilidade e Manutenibilidade

Quadro 3.11 - Requisitos de Durabilidade e Manutenibilidade para o Sistema.

Critério	Descrição	Avaliação Sistema Aquapanel
Estanqueidade antes e depois de ciclos de calor e choque térmico	<p>As paredes externas, incluindo seus revestimentos, após terem sido aprovadas na avaliação de estanqueidade, devem ser submetidas a dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e resfriamento por meio de jato de água, não devendo apresentar:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Deslocamentos horizontais superiores aos máximos admissíveis; -Ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ensaio realizado em laboratório; -Não foram observadas manchas de umidade na face interna, nem gotejamento, umidade ou exsudações nos componentes internos do sistema após a realização dos ciclos de calor e resfriamento (aprovado).

Envelhecimento natural	Devem ser limitados os deslocamentos, fissurações e falhas do sistema, incluindo seus revestimentos, em função da exposição natural por 12 meses	Avaliação em campo – Hotel Ibis Canoas/RS, que teve construção finalizada em 2012; Não foram observados deslocamentos ou falhas que resultassem em fissuras, destacamentos, empolamentos ou outros problemas decorrentes do envelhecimento natural (aprovado).
Vida útil de projeto dos sistemas	Deve apresentar Vida Útil de Projeto igual ou superior a 40 anos, e ser submetidos a manutenções preventivas (sistêmáticas) e, sempre que necessário, a manutenções corretivas e de conservação previstas no manual de operação, uso e manutenção	
Manutenibilidade dos sistemas	Manutenções preventivas e, sempre que necessário, com caráter corretivo, devem ser previstas e realizadas. Os documentos técnicos de referência devem fornecer instruções claras das manutenções que devem ser realizadas	Não há menção na avaliação sobre vida útil de projeto ou recomendações para manutenção do sistema.

Fonte: Ministério das Cidades, 2012; TESIS, 2014.

Os requisitos de durabilidade consistem atualmente em uma grande incógnita dos requisitos de desempenho do sistema. Não existem muitos dados disponíveis, seja por indicação de fornecedores, projetistas ou referências na literatura, principalmente em relação à vida útil dos componentes. Além disso, não existe uma amostra extensiva de obras realizadas no Brasil. A maioria foi executada há menos de cinco anos o que dificulta a análise da durabilidade do sistema.

Apesar de o documento “Avaliação dos Sistemas Knauf Aquapanel” (TESIS, 2014) atestar a aprovação do sistema Aquapanel para os critérios de durabilidade e

manutenibilidade, não fica claro no documento qual a composição instalada no empreendimento analisado durante as vistorias em campo.

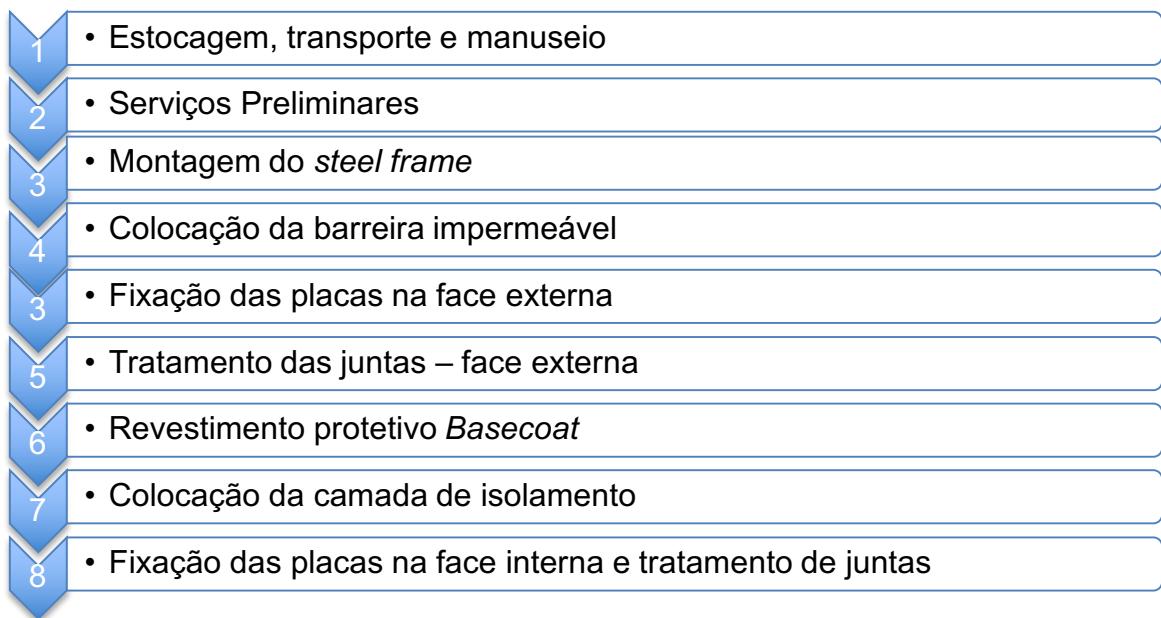
Além disso, acredita-se que a avaliação quanto à durabilidade de sistemas deve ser realizada com cuidado, pois a Norma de Desempenho e a Diretriz SiNAT 009 determinam que a análise seja feita decorridos 12 meses da exposição do edifício às condições naturais, um período de tempo curto se comparado à vida útil esperada para um edifício. A exposição por apenas um curto período de tempo não garante que possíveis patologias não possam ocorrer ao sistema em períodos de tempo maiores.

4. DESENVOLVIMENTO DOS MÉTODOS CONSTRUTIVOS

4.1. SEQUÊNCIA DE EXECUÇÃO

Nesta seção, buscou-se identificar quais as principais atividades e operações necessárias para a produção do sistema de fachada em *steel frame* com fechamentos em chapas delgadas. Apresenta-se incialmente na Figura 4.1 o fluxo macro das atividades.

Figura 4.1 - Sequência de atividades.



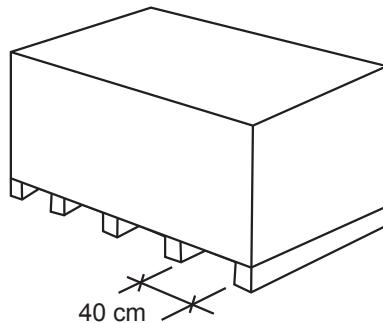
4.1.1. Estocagem, transporte e manuseio

Logo no recebimento, deve ser verificada a integridade dos componentes, antes de seu descarregamento. Após o recebimento dos componentes no canteiro, recomenda-se que sejam estocados em local seco, abrigado e protegido das intempéries.

Tanto as placas cimentícias quanto as chapas de gesso acartonado devem ser mantidas alinhadas e empilhadas sobre apoios ou *pallets*, evitando seu contato direto com o piso (Figura 4.2), em local coberto e protegido. Podem ser transportadas manualmente ou por empilhadeira. Em caso de transporte manual, recomenda-se que sejam transportadas na posição vertical.

Os perfis metálicos devem ser mantidos amarrados e alinhados. Deve-se ter atenção com eventuais balanços ou distorções que possam causar amassamentos ou torção dos perfis. Devem ser estocados na horizontal e sobre apoios, de forma a evitar o contato direto com o piso (Figura 4.3).

Figura 4.2 – Estocagem de Placas. Exemplo.



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

Figura 4.3 - Estocagem de Perfilis.



Fonte: Os Autores, 2015.

Recomenda-se para as mantas termoacústicas que sejam estocadas na embalagem original até o momento da instalação, em local protegido por intempéries, evitando a exposição a esforços mecânicos e o contato com a umidade do piso (GYPSUM DRYWALL, 2010). Tais medidas visam evitar alterações nas propriedades termoacústicas do componente.

Com relação aos componentes de juntas, recomenda-se seu armazenamento em local seco. Componentes ensacados devem ser estocados em pilha sobre estrados, de forma a evitar contato com possível umidade do piso.

4.1.2. Serviços preliminares

Em primeiro lugar, deve-se verificar se todos os projetos relacionados à produção da fachada estão disponíveis na obra e aprovados para execução. Caso haja ausência de informações para o executor dos serviços, haverá a tendência de aumento de tomada de decisões improvisadas, o que poderá comprometer a qualidade do produto final e aumentar os tempos de execução do serviço, diminuindo o grau de racionalização do sistema (KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014)

Antes de se dar início à instalação dos componentes, deve-se fazer a adequada inspeção sobre o acabamento dos elementos da estrutura do edifício. O prumo das faces dos pilares e vigas deve estar dentro dos limites de tolerância aceitáveis e deve ser verificada a presença de rebarbas de concreto nas superfícies das lajes, pilares e vigas que terão interface com o sistema de vedação vertical externa. Os excessos devem ser retirados previamente ao início da montagem dos painéis.

Como as guias metálicas estarão em contato direto com as lajes e vigas da estrutura, a produção correta dos elementos estruturais é importante para resultar em um sistema com dimensões controladas.

4.1.3. Marcação na Laje

Esta atividade está relacionada à definição do posicionamento das guias metálicas nas lajes e vigas do pavimento.

Em primeiro lugar, deve ser feita uma avaliação da estrutura concebida, observando o nivelamento das lajes, altura livre e prumo de pilares. Caso haja grandes desvios, devem ser tomadas providências para correção, de modo a evitar o desalinhamento e desnivelamento das paredes de fachada. Uma das providências cabíveis é o nivelamento da superfície com a aplicação de argamassa.

A posição do elemento de fachada (chapas delgadas e estrutura em *steel frame*) deverá estar indicada no projeto de vedações, com a locação dos elementos indicada a partir dos eixos pré-definidos do edifício. A partir dos eixos do edifício, deverão ser transferidos os eixos das vedações verticais com auxílio de aparelho laser ou trena, tanto para a guia inferior quanto para a superior. Os eixos podem ser marcados com auxílio de giz, spray de tinta ou fio de náilon (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Operário realizando locação com trena e marcação com fio de náilon.



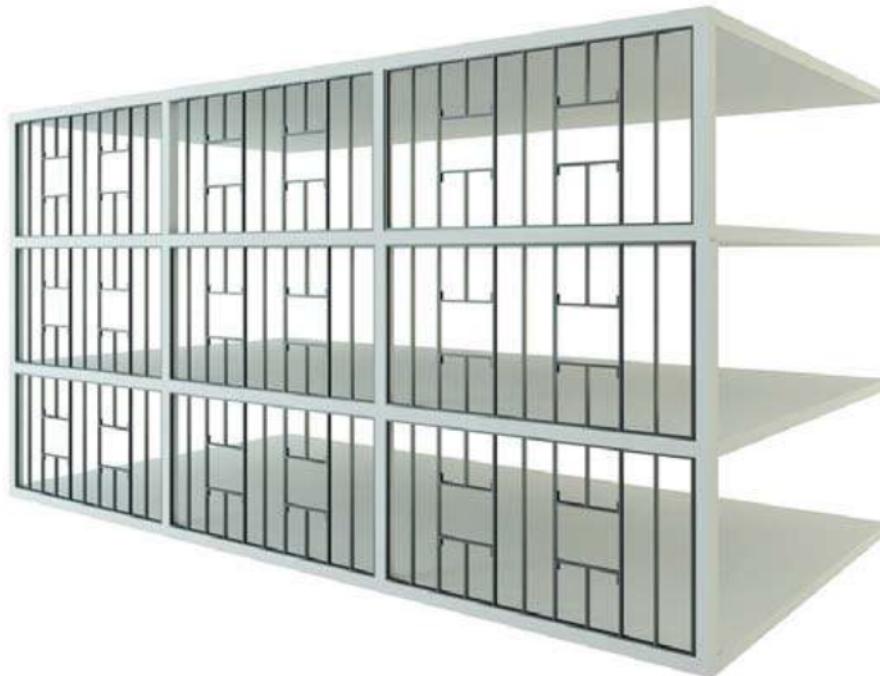
Fonte: KNAUF, 2014.

4.1.4. Montagem da estrutura em steel frame

A execução da fixação do *steel frame* pode ser feita ou embutida na estrutura principal, isto é, contida pela estrutura ou pode passar externamente à estrutura. Neste caso é denominada contínua. O método embutido (

Figura 4.5) é montado internamente aos elementos da estrutura principal do edifício, usualmente entre lajes; com isto, transmitem as cargas de utilização à superfície imediatamente abaixo (SANTIAGO, 2008). Segundo Santiago (2008), o método embutido não apresenta restrição de uso, ou seja, pode ser utilizado em qualquer tipo de edifício. Este método requer alto controle de prumo e alinhamento do edifício.

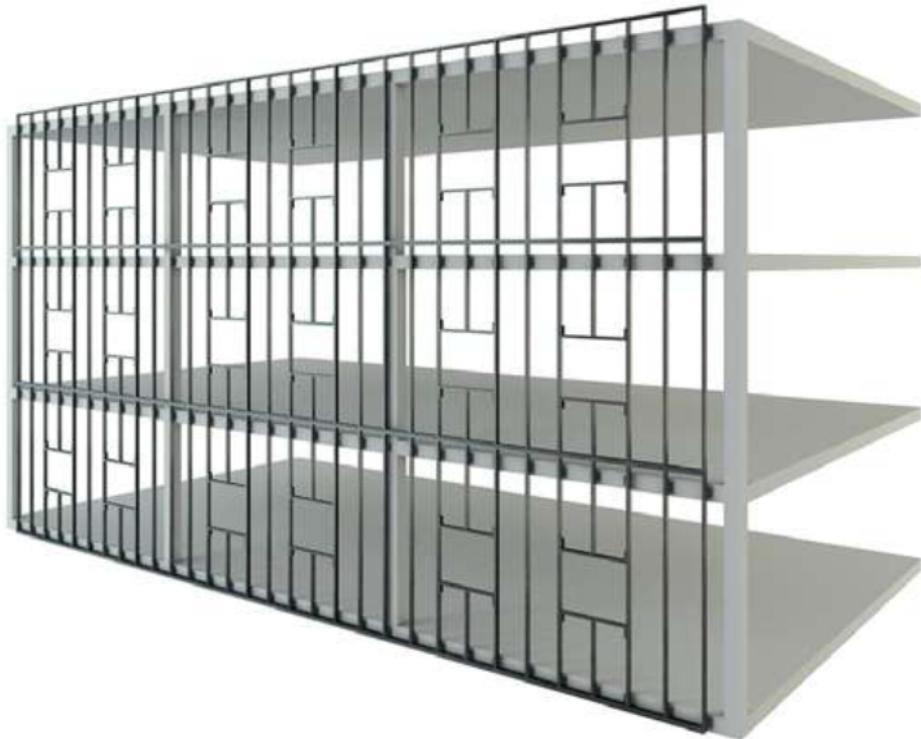
Figura 4.5 - Esquema de execução de *steel frame* por método embutido.



Fonte: SANTIAGO, 2008.

O método contínuo (Figura 4.6) é executado pelo emprego de painéis posicionados externamente à estrutura principal do edifício. Este método possibilita um total aproveitamento da laje. Além disso, este método está menos suscetível a erros de execução da estrutura, porém exige alto controle no prumo da vedação para garantir uma superfície plana e um projeto alternativo para segurança contra incêndio. Uma vez que não há separação total entre pavimentos pela laje, é necessária a instalação de elementos para a prevenção da passagem de fogo entre pavimentos (SANTIAGO, 2008).

Figura 4.6 - Esquema de execução de *steel frame* por método contínuo.



Fonte: SANTIAGO, 2008.

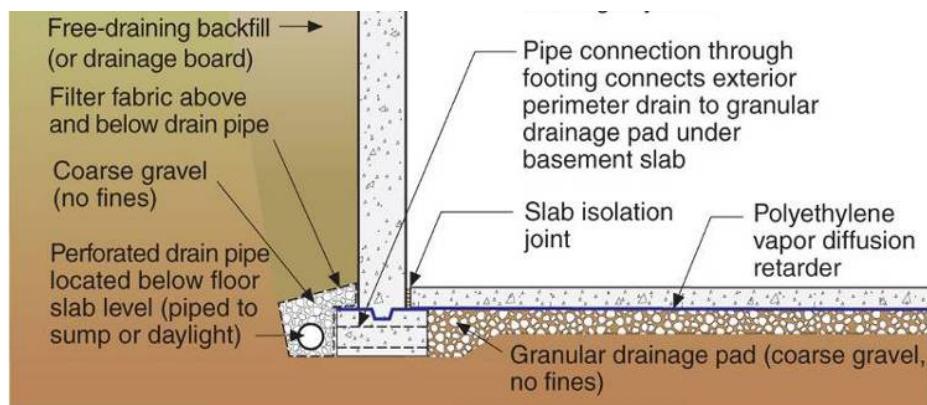
A seguir, é descrita a sequência de atividades necessária para a produção da estruturação em *steel frame* utilizando o método embutido, utilizado nos edifícios de múltiplos pavimentos identificados nas obras do subcapítulo 2.5.

Antes de se proceder à fixação dos perfis metálicos na estrutura do edifício, é necessário realizar o corte das peças conforme especificação de projeto, para adequação às dimensões do edifício. Assim, deve ser prevista no canteiro uma área em que possam ser realizadas as atividades de corte, tanto de perfis quanto das placas. Desse modo, é possível reduzir o tempo de realização do corte, diminuir a quantidade de resíduos gerados e aumentar a segurança do operário responsável por tal atividade.

Nos casos em que os painéis sejam executados em pavimentos em contato com o solo ou sujeito a outras fontes de umidade, deve ser executada a impermeabilização da laje e fundações de forma adequada, de modo a proteger a estrutura em *steel frame* e as chapas de fechamento, principalmente as de gesso acartonado, que têm sua durabilidade afetada pela presença de umidade.

Para dificultar a infiltração de água subterrânea, uma maneira descrita por Lstiburek e Ueno (2011) é posicionar a laje do térreo sobre uma camada de brita, e não em contato direto com o solo, e com manta impermeabilizante na face inferior. Esses autores também recomendam prover uma espécie de filtro ao redor de todo o perímetro da edificação, composto por um tubo de PVC perfurado envolvido por camada de brita, possibilitando a drenagem da água subterrânea em contato com o edifício. Tais medidas estão indicadas na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Elementos para drenagem da água subterrânea

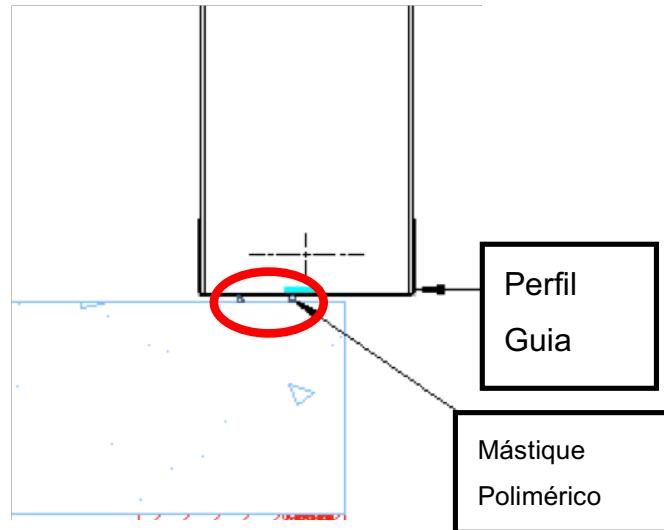


Fonte: LSTIBUREK E UENO, 2011.

Carvalho (2014) afirma que os principais materiais empregados para a impermeabilização de lajes e elementos estruturais em obras com *steel frame* são mantas pré-fabricadas asfálticas, de PVC e de EVA; selantes de poliuretano e acrílicos, e pinturas poliuretânicas, acrílicas e de silicones e asfaltos elastoméricos.

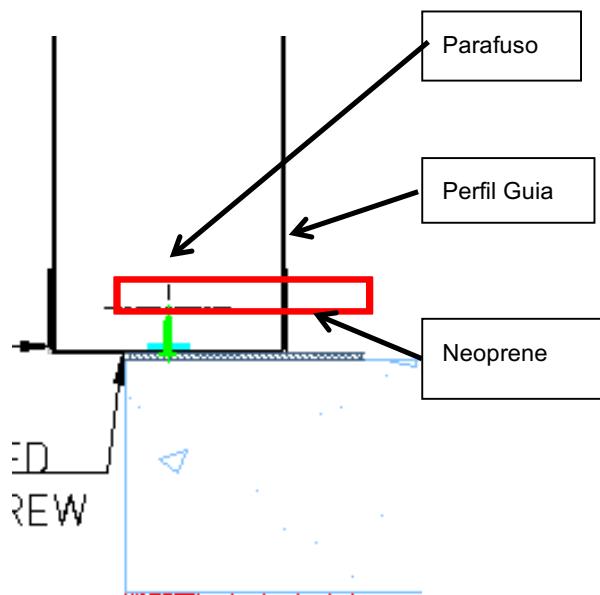
Também deverá ser executada uma camada de preparo acústico, chamada de banda acústica, junto aos perfis que ficam em contato com os elementos estruturais. De acordo com o Manual de Instalação da Kingspan (KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014), existem duas possibilidades de se executar esse preparo: utilizando uma fita de neoprene ou utilizando mástique polimérico. Para o uso de mástique acústico, a recomendação é utilizar 2 cordões distribuídos ao longo do comprimento do perfil (Figura 4.8). Já a fita de neoprene é fixada à base do perfil guia, anteriormente à instalação na laje, com auxílio de parafusos, espaçados de 1 m (Figura 4.9), ou colada à base da guia (Figura 4.10). Também é recomendável a execução deste processo nos montantes em contato com os pilares e nas guias em contato com a laje superior.

Figura 4.8 - Preparo acústico com Mástique



Fonte: KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014.

Figura 4.9 - Preparo acústico com neoprene.



Fonte: KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014.

Figura 4.10 - Operário aplicando fita de neoprene à guia.



Fonte: KNAUF, 2014.

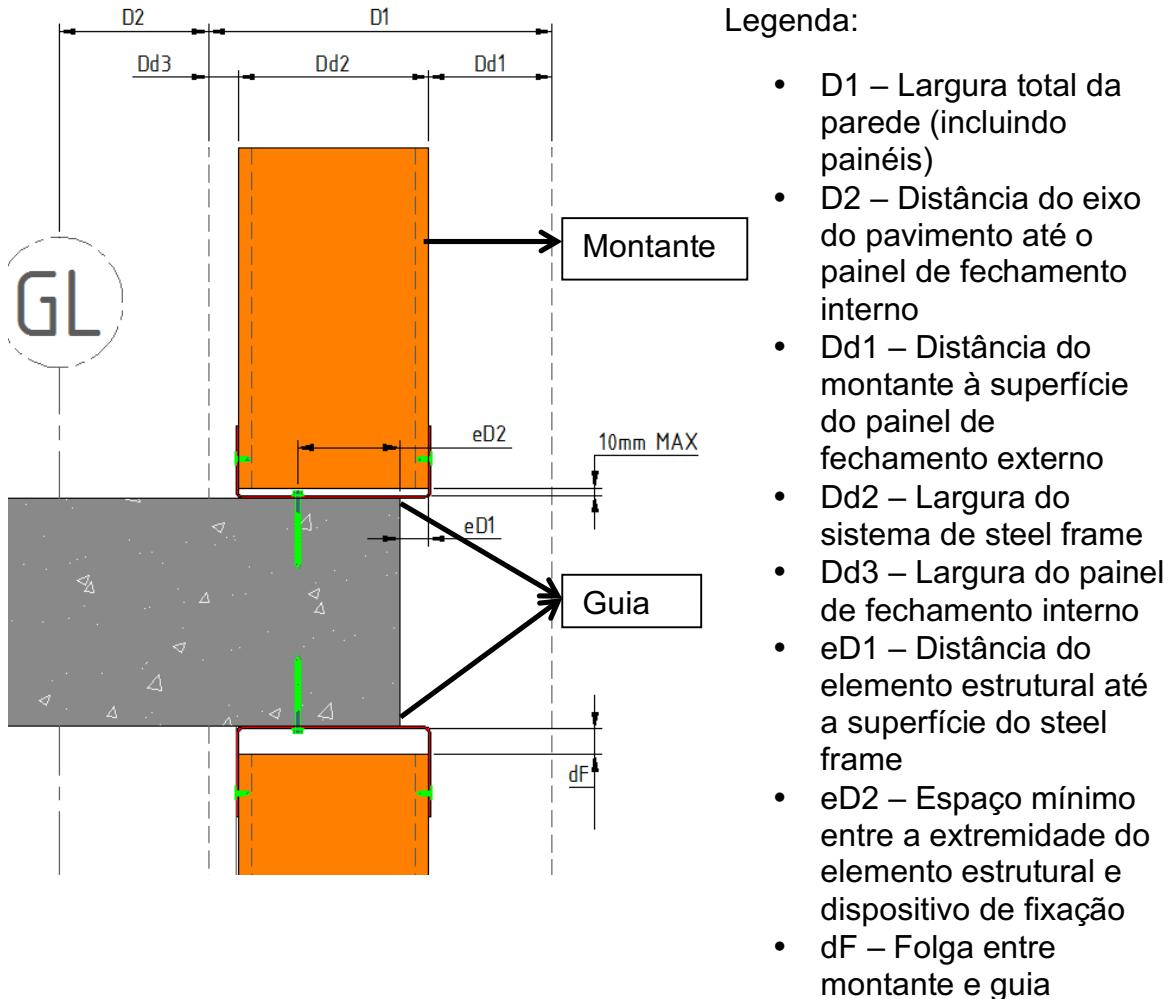
Executadas a impermeabilização e banda acústica, a sequência de atividades proposta por Zatt (2010) para a instalação das guias e montantes metálicos, que servirão de sustentação às placas de fechamento interno e externo, é apresentada a seguir.

- a. Fixação de guias – os perfis guia devem ser fixados à superfície superior da laje e à superfície inferior da viga ou laje do pavimento imediatamente acima, com auxílio de parafusos *parabolt*. Sugere-se fixar as guias inicialmente pelas suas extremidades. O espaçamento entre parafusos na fixação das guias deve ser dimensionado em função das condições de solicitação, e esta informação deve estar contida no projeto das vedações. A instalação dos parafusos é realizada com o auxílio de pistolas ou parafusadeiras de impacto. Ao final da instalação, as guias superior e inferior devem estar alinhadas entre si, o que pode ser conferido ao se posicionar um perfil montante na extremidade interna dos dois perfis guias com o auxílio de um nível-bolha.
- b. Locação dos montantes: conforme o dimensionamento previsto no projeto das vedações verticais, deve-se realizar, com auxílio de régua e lápis, a marcação do posicionamento dos montantes verticais nas guias inferior e superior. Deve ser verificado o alinhamento entre os dois pontos marcados (guia superior e inferior), com o auxílio de fio de prumo.
- c. Fixação dos montantes: os montantes deverão ser colocados em locais próximos às marcações executadas na atividade anterior, sendo arrastados até a posição demarcada. Inicialmente, devem ser colocados os montantes de

extremidade da parede. Para os montantes em contato com pilares deverá ser executada uma camada de banda acústica, similar à aplicada à guia. Cuidados devem ser tomados quanto à verificação do número de montantes especificados no projeto. Após o correto posicionamento, os montantes são fixados à guia inferior por meio de parafusos autoperfurantes. De acordo com Santiago (2008), ao se fixar parafusos à guia superior, forma-se uma ligação rígida, o que faz com que a estrutura e o elemento de vedação trabalhem em conjunto. Ao se deixar espaço livre no topo dos montantes, não há mais a transmissão de esforços da estrutura para o vedo, pois, o último pode-se deslocar independentemente da estrutura. Portanto, durante a execução, deve-se atentar para o tipo de ligação previsto em projeto para a correta fixação dos montantes.

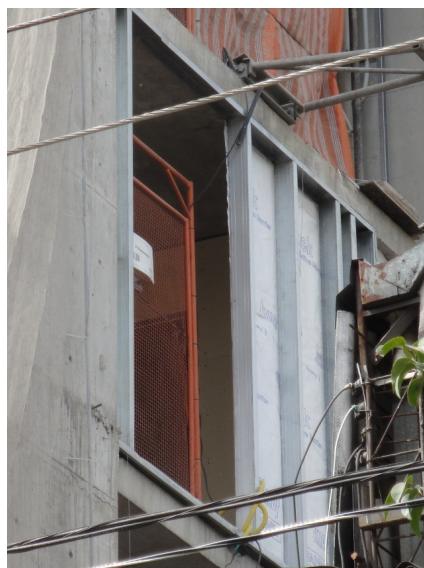
A Figura 4.11 dá um indicativo da configuração final do sistema após a fixação dos montantes, com as dimensões relevantes quanto a seu posicionamento. Após a fixação, deve-se verificar se houve peças danificadas durante a instalação, bem como, a confirmação do alinhamento, prumo e nivelamento da estrutura obtida, com auxílio de nível de bolha. A Figura 4.12 mostra a estrutura em *steel frame* instalada em um dos panos de fachada do empreendimento BKO BK30. Em ambas as figuras é possível verificar que a extremidade externa dos perfis guias e montantes não estão exatamente alinhados com a extremidade da laje da estrutura. Este fato permite que, ao se instalar as placas de fechamento externo, seja obtido um pano vertical contínuo de fachada.

Figura 4.11 - Vista em corte da configuração de guias e montantes.



Fonte: KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014.

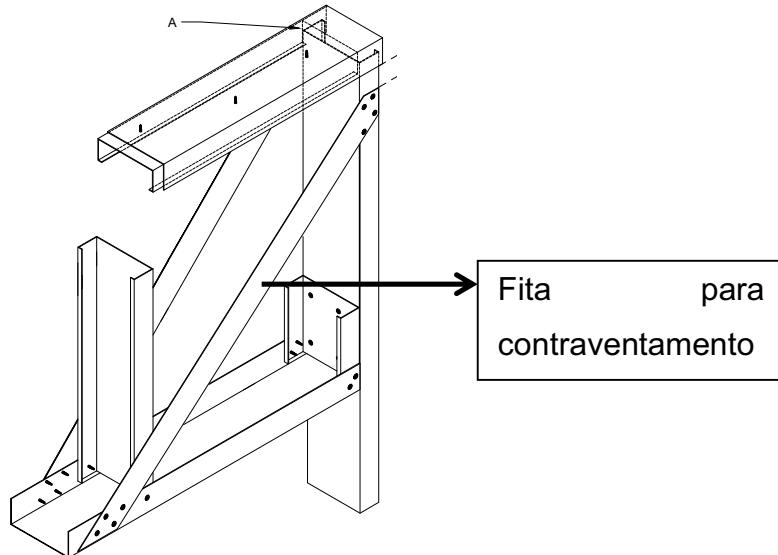
Figura 4.12 - Configuração da estrutura em *steel frame* instalada na obra BK30.



Crédito: Foto tirada por Arq. Silvia Scalzo, em 20/08/2015.

- d. Colocação dos contraventamentos: nos painéis de maior comprimento, é usualmente necessária a instalação de contraventamentos em X. Tal definição deve ser previamente definida em projeto. Para tanto, são fixadas fitas em aço galvanizado de maneira cruzada (Figura 4.13).

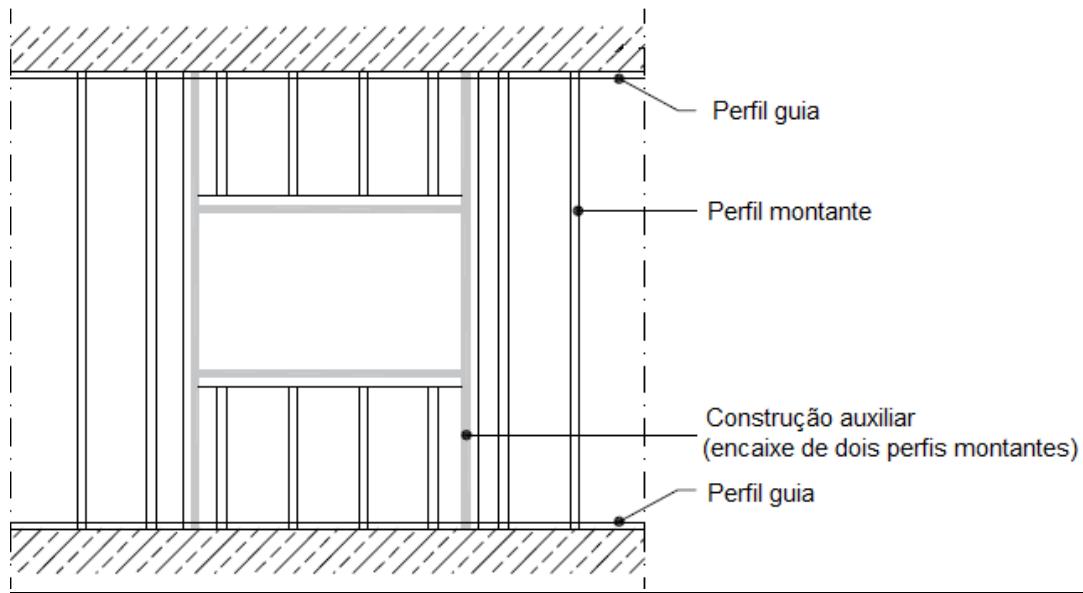
Figura 4.13 - Fita para contraventamento (adaptado).



Fonte: KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS, 2014.

Nos vãos que irão receber esquadrias, devem ser posicionados montantes de reforços e perfis guias auxiliares (Figura 4.14 e Figura 4.15) de modo que sejam absorvidos os acréscimos de tensões que normalmente ocorrem nas regiões de cantos de esquadrias. Usualmente são utilizados o encaixe de 2 perfis montantes, devendo o cálculo e o detalhe do local estarem contemplados no projeto do sistema. São elementos que funcionam como vergas e contravergas dos sistemas tradicionais de alvenaria.

Figura 4.14 - Abertura de vãos - esquema.



Fonte: TESIS, 2014.

Figura 4.15 - Verga composta por dois perfis montantes encaixados, na horizontal, em perfis guia.



Fonte: ZATT, 2010.

4.1.5. Fixação da barreira impermeável

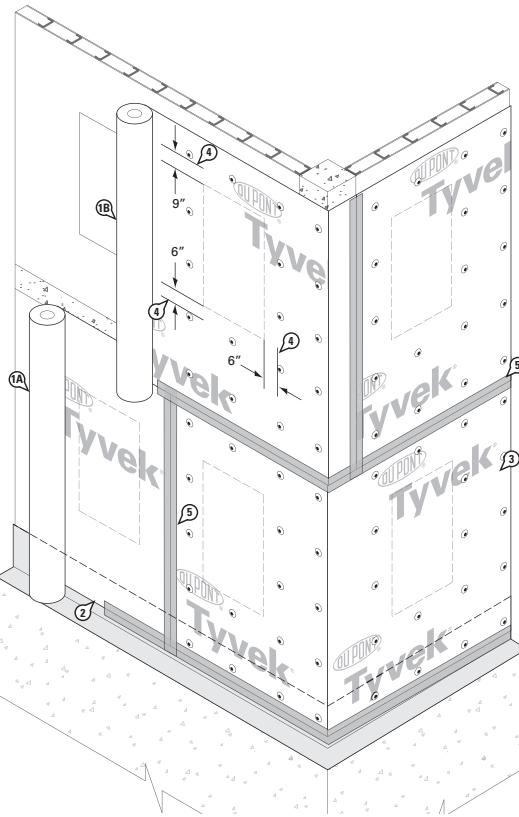
Antes de se proceder à fixação das placas de fechamento externo, deve ser instalada a barreira impermeável de polietileno de alta densidade, cuja função é limitar a passagem de ar pelas cavidades da vedação vertical, deter a entrada de água líquida para o interior da edificação, e permitir a passagem de vapor de água do interior para o exterior, evitando, com isto, a condensação (CAMPOS, 2014).

Para a instalação da barreira, os fabricantes recomendam que se comece pela extremidade inferior da estrutura, de modo que a sobreposição de folhas ocorra da maneira correta, isto é, a folha de cima sobrepõe-se cerca de 15 cm à de baixo, de modo a evitar infiltrações de água para o interior do ambiente (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011). Recomenda-se deixar uma sobra de cerca de 5 cm no rodapé da estrutura, de modo a minimizar a chance de infiltrações, devendo ser selada posteriormente com selante polimérico.

A barreira deve ser desenrolada perpendicularmente aos montantes. No manual técnico do fabricante Brasilit Saint-Gobain (2011) recomenda-se a fixação da barreira à estrutura por meio de parafusos ponta broca, cabeça lenticilha, com espaçamento máximo de 60 cm. O manual técnico da Knauf (2011), por sua vez, recomenda a fixação da barreira por meio de fita adesiva. Todas as sobreposições verticais e horizontais devem ser seladas com o auxílio de fita adesiva fornecida pelo fabricante.

A Figura 4.16 indica esquematicamente esses procedimentos de fixação da barreira impermeável à estrutura de *steel frame*.

Figura 4.16 - Instalação da Barreira Impermeável sobre a estrutura de *steel frame* pelo exterior do edifício.

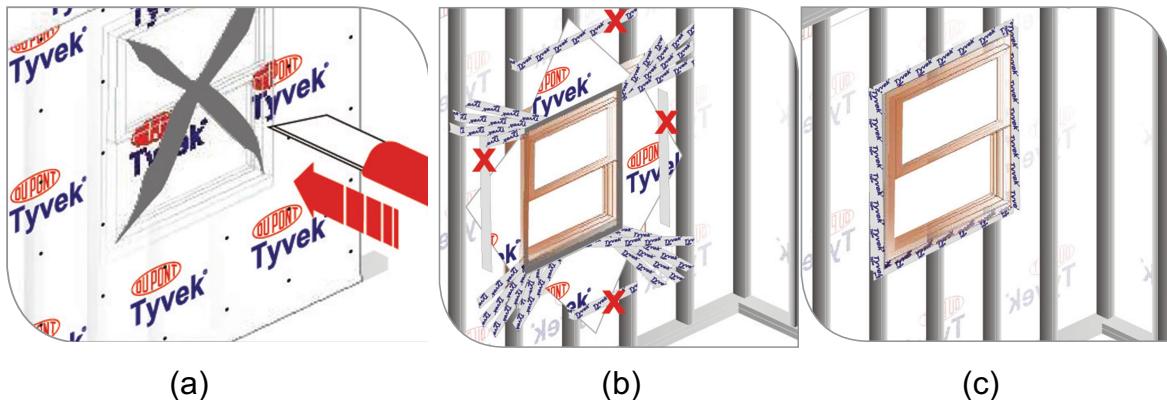


Fonte: DUPONT, 2014.

Nos locais onde estão previstas esquadrias, a barreira deve ser desenrolada sobre a abertura sem qualquer corte. Posteriormente, deve ser feito um corte em “X” nas aberturas com o auxílio de estilete (Figura 4.17(a)). As abas formadas pela barreira deverão ser fixadas à face interna com o auxílio da fita adesiva. Recomenda-se também a aplicação de fita sobre as partes não revestidas da abertura após a dobra.

Após o requadro do vão e instalação da esquadria, deve ser feito o selamento ao redor das janelas com silicone, e por fim, as abas deixadas na face interna após o corte da barreira devem ser desfeitas (Figura 4.17 (b) e (c)).

Figura 4.17 - Abertura para esquadria. a) Corte em "X". b) Dobra da barreira. c) Esquadria colocada.



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

4.1.6. Fixação das placas cimentícias na face externa

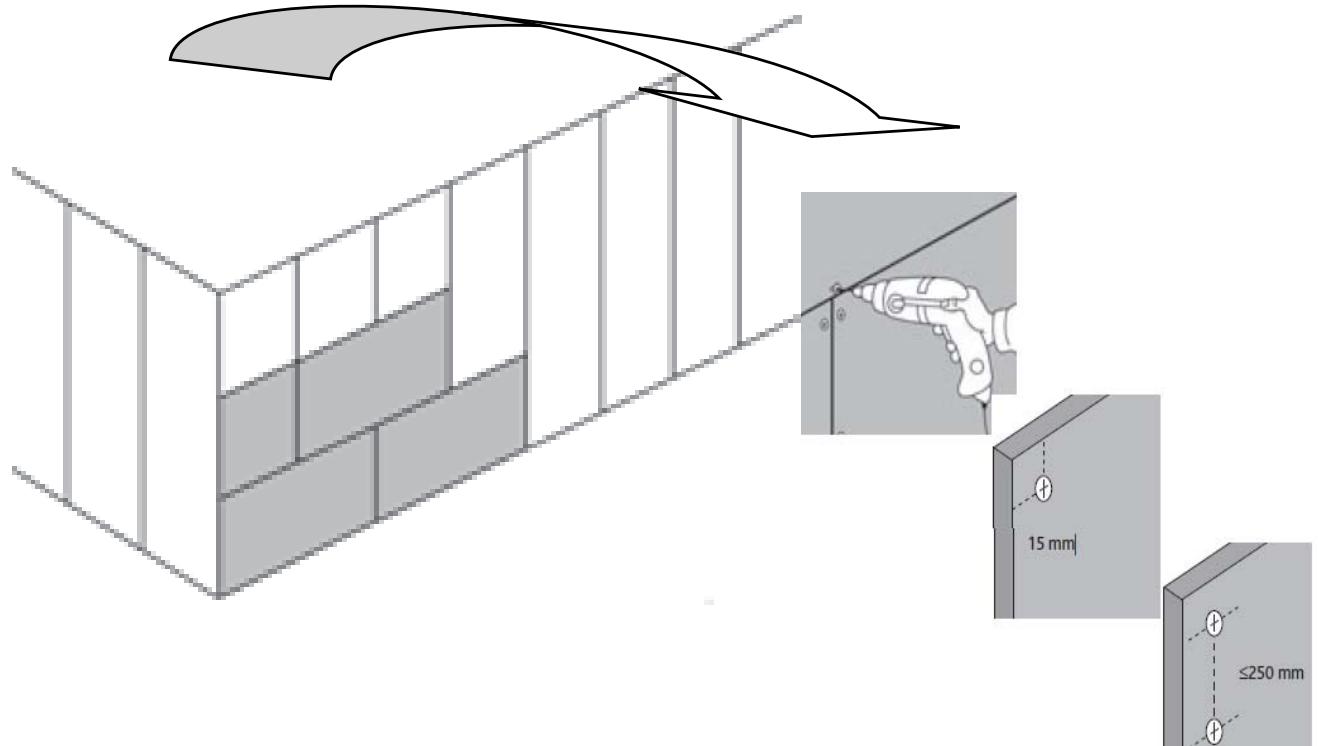
Para o procedimento de fixação das placas de fechamento externo na estrutura de *steel frame*, os fabricantes divergem com relação ao sentido de sua instalação. Enquanto a Knauf (TESIS, 2014) sugere a montagem dos painéis com a maior dimensão no sentido horizontal, a Brasilit Saint-Gobain (2011) recomenda a instalação com a maior dimensão paralela aos montantes.

Os painéis devem ser cortados previamente conforme detalhamento do projeto da vedação vertical. Logo, para que se tenha um sistema otimizado do ponto de vista de consumo de material e minimização de etapas de trabalho, é importante a elaboração de um projeto modular. Uma premissa importante para o projeto é evitar que ocorram juntas verticais alinhadas nos cantos de aberturas para esquadrias (MEDEIROS *et al.*, 2014). O manual do fabricante PlacLux (2015) recomenda o corte de placas cimentícias utilizando estiletes, com o auxílio de lápis e trena.

Os fabricantes sugerem que as placas sejam fixadas com o auxílio de parafusos com ponta broca, com auxílio de parafusadeira elétrica, com espaçamento máximo de 250 mm (Figura 4.18). A união entre duas placas adjacentes deve ser efetuada sobre a mesa de um montante, a qual é compartilhada meio a meio pelas placas. Nas juntas entre placas, recomenda-se que dois parafusos não estejam alinhados, de modo a não perfurar a mesa do perfil em dois pontos da mesma altura (Figura 4.19 – detalhe).

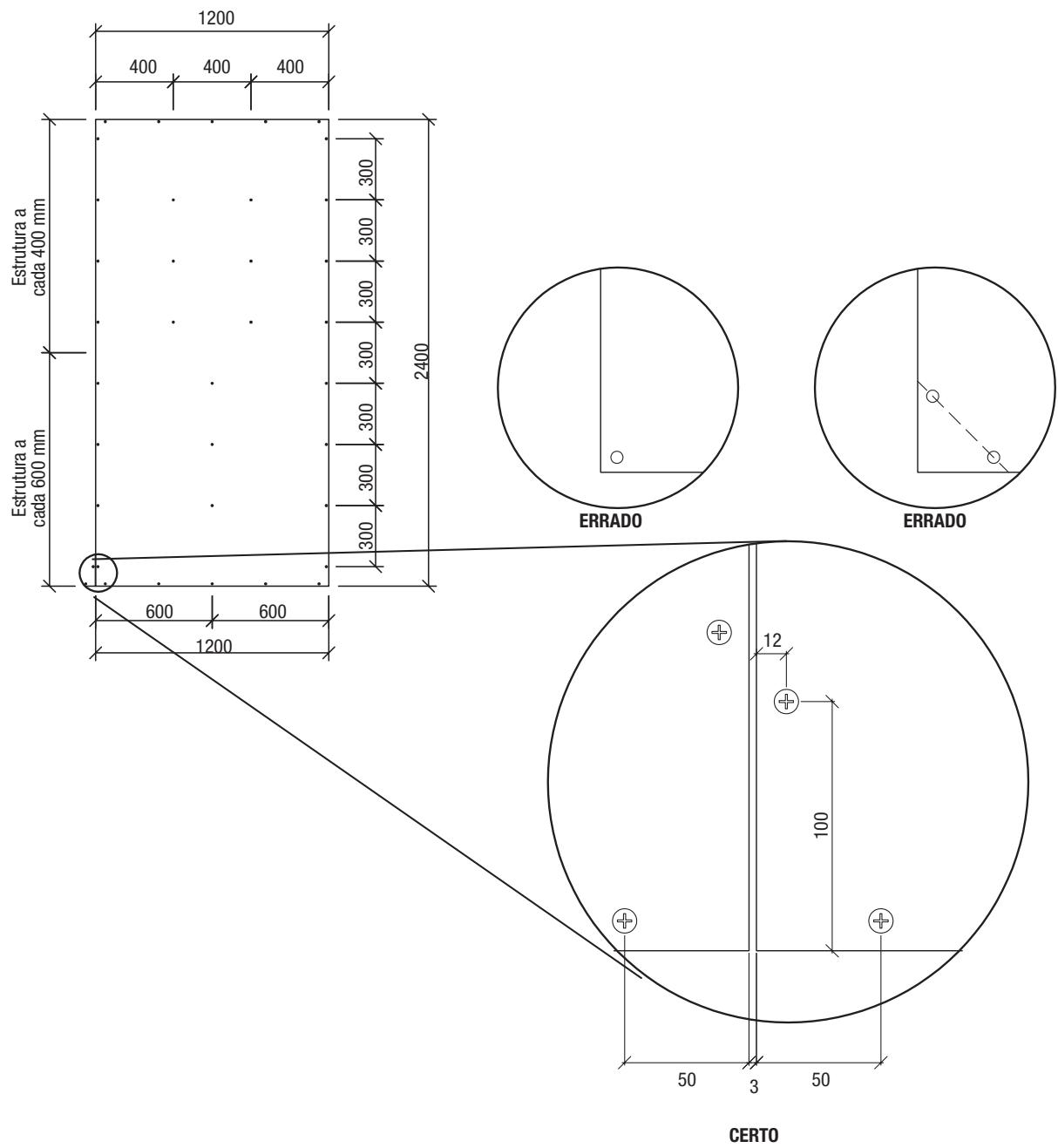
Os parafusos devem estar localizados a uma distância aproximada de 12 mm da extremidade da placa (Figura 4.19) A Figura 4.20 exemplifica a instalação das placas cimentícias sobrepondo-se à barreira impermeável instalada na fase anterior.

Figura 4.18 - Fixação das placas à estrutura de *steel frame*.



Fonte: TESIS, 2014.

Figura 4.19 - Detalhe da fixação de parafusos.



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

Figura 4.20 - Montagem das placas cimentícias exteriores sobre barreira impermeável.



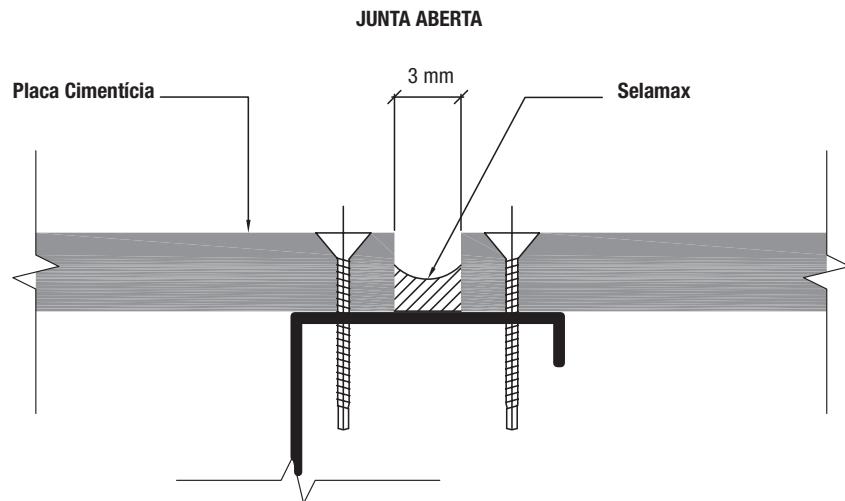
Fonte: ZATT, 2010.

4.1.7. Tratamento de juntas da face externa

Após a fixação das placas à estrutura em *steel frame* e sobrepondo-se à barreira impermeável, deve-se proceder ao tratamento das juntas entre elas. Antes de se iniciar o serviço, o montador deve se certificar da ausência de impurezas na região de aplicação das juntas, como sujeiras, oleosidades e umidade. Caso alguma dessas condições sejam verificadas, deve ser feita uma limpeza do local, de modo a não comprometer a qualidade do produto acabado. Depois de limpas, deve-se aplicar um primer na região das juntas, composto por uma mistura de resina acrílica e copolímeros, carga mineral e fibras de reforço a base de polipropileno (BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011).

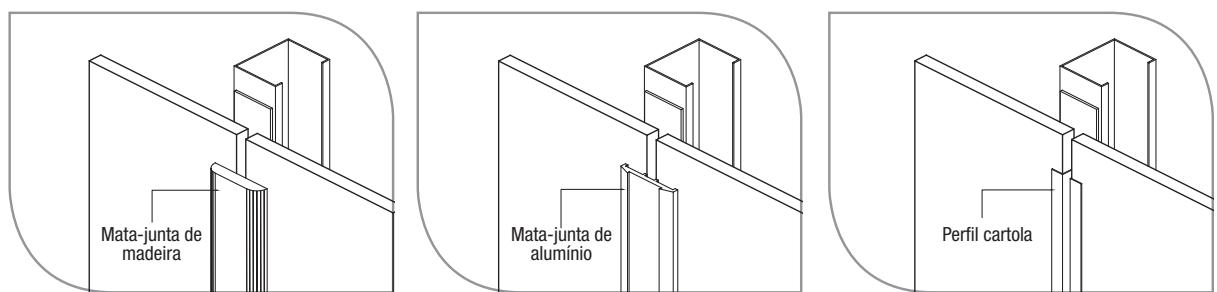
As juntas entre placas podem ser caracterizadas em aparentes ou invisíveis. No caso de se utilizar juntas aparentes, estas podem ser classificadas como abertas ou cobertas com mata-juntas. No caso de juntas abertas, o fabricante Brasilit Saint-Gobain (2011) recomenda espaçamento máximo de 3 mm entre placas, e a utilização de selante elastomérico (Figura 4.21). Já para a utilização de componentes “mata-junta”, pode-se optar por perfis de madeira, alumínio ou PVC (Figura 4.22).

Figura 4.21 - Junta aberta com selante.



Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

Figura 4.22 - Componentes Mata-Junta.



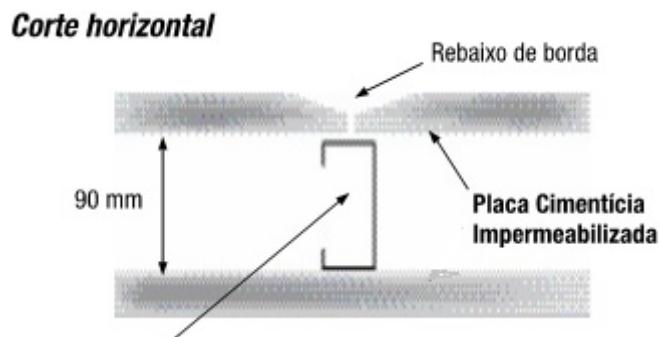
Fonte: Guia de Sistemas para Produtos Planos. Brasilit, 2011.

Foram identificadas duas maneiras de se realizar o tratamento de juntas não aparentes ou invisíveis: com a utilização de massa cimentícia com aditivos poliméricos, considerado o método mais utilizado, ou com a aplicação de selantes elastoméricos.

Após a limpeza, alguns fabricantes como a Brasilit Saint-Gobain (2011) e a Eternit (2014) recomendam a inserção de um cordão delimitador de profundidade, que atua no sentido de limitar o consumo excessivo de massa ou selante.

Para a utilização de massa cimentícia para tratamento de juntas, o fabricante Brasilit Saint-Gobain (2011) recomenda a utilização de placas cimentícias com bordas rebaixadas (Figura 4.23), de modo a permitir o aumento da superfície de contato entre o material de junta e a superfície da placa cimentícia.

Figura 4.23 - Bordas de placas rebaixadas - vista em corte.



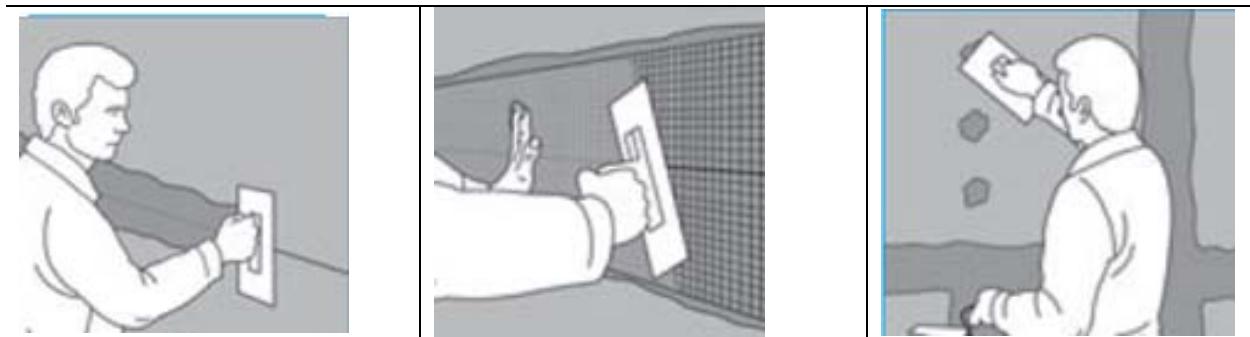
Fonte: Adaptado de BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

A sequência de atividades para o tratamento de juntas com massa cimentícia proposta pelos fabricantes é sintetizada a seguir (BRASILIT SAINT-GOBAIN; KNAUF, 2011):

- Preencher o vão entre as placas com massa cimentícia com o auxílio de espátula;
- Colocar tela de fibra de vidro sobre o vão, de modo a ficar esticada;
- Repetir o procedimento até a terceira camada de massa sobre uma segunda camada de fita.

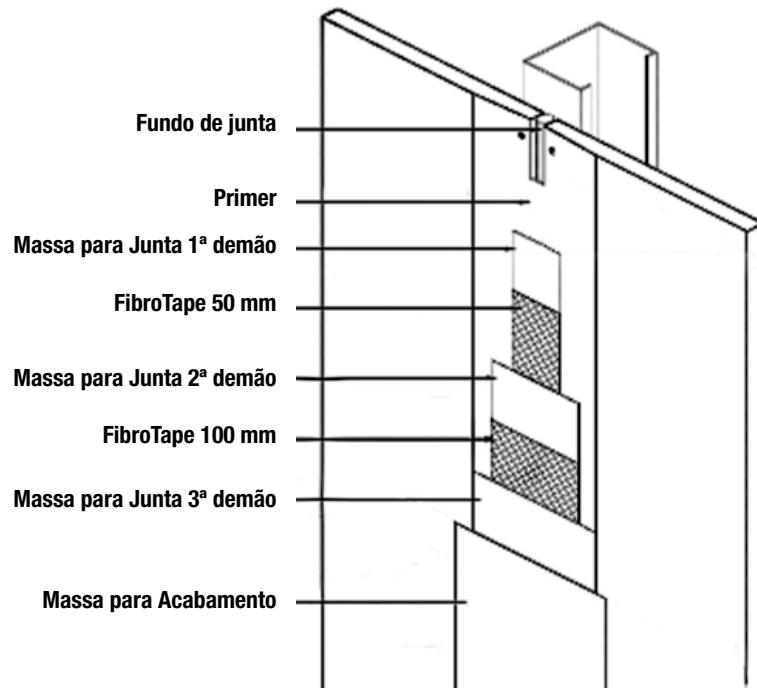
O processo está ilustrado na Figura 4.24. A Figura 4.25 ilustra a composição final do sistema de tratamento de juntas proposto pelo fabricante Brasilit Saint-Gobain (2011).

Figura 4.24 – Aplicação de massa e fita de fibra de vidro para composição de juntas entre placas cimentícias.



Fonte: TESIS, 2014.

Figura 4.25 - Sistema de tratamento de juntas entre placas cimentícias.

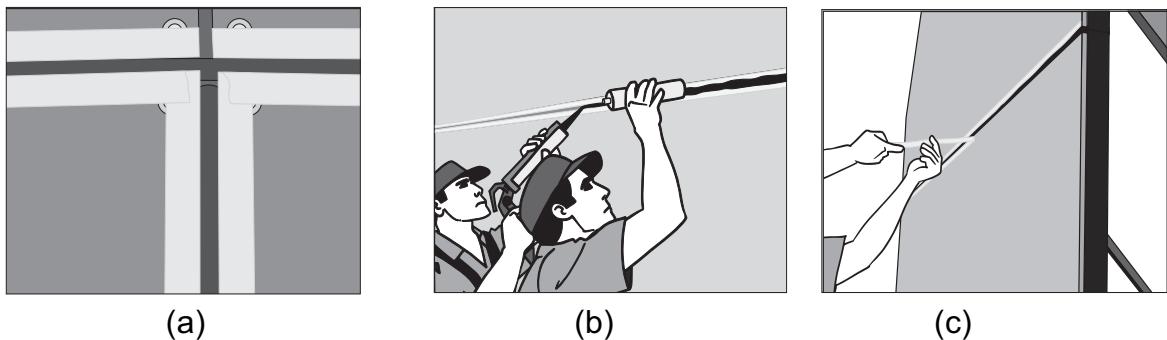


Fonte: BRASILIT SAINT-GOBAIN, 2011.

Fontenelle (2012) resume em seu trabalho o procedimento para tratamento de juntas entre placas cimentícias com selantes elastoméricos, proposto pelo fabricante Eternit, descrito na sequência.

- Limpeza do vão entre placas
- Proteção das bordas das placas cimentícias (Figura 4.26 (a))
- Aplicação do primer e espera para secagem
- Inserção do cordão delimitador
- Aplicação do selante elastomérico (Figura 4.26 (b))
- Acabamento da superfície do selante
- Remoção da fita de proteção das bordas (Figura 4.26 (c))

Figura 4.26 – Execução de juntas com selante elastomérico.



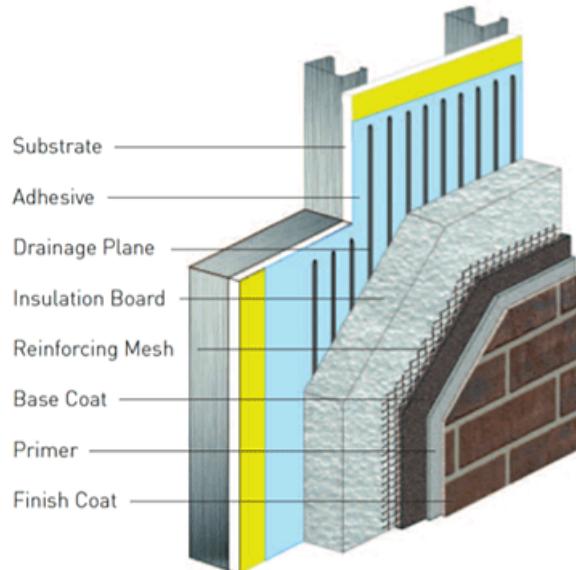
Fonte: Adaptado de FONTENELLE, 2012.

Uma crítica para o método que leva em conta a aplicação de selantes elastoméricos é a sua dificuldade de se implantar em edifícios grandes áreas de fachada. Pelo alto consumo de material, e o elevado custo deste, pode limitar a aplicação da solução a edifícios de pequeno porte, como casas e sobrados, fora do escopo deste trabalho.

Segundo Ribeiro⁵ (2015), há um consenso no meio técnico de que o tratamento de juntas é um gargalo do sistema de Fachada Leve, em termos de produtividade e qualidade do produto acabado. Trata-se de um processo artesanal, não havendo, no Brasil, uma forma mais industrializada de realizar o tratamento de juntas não aparentes, o que aumenta o tempo de execução do sistema como um todo. Em outros países, de clima frio, uma possível solução em estudo seria a utilização do sistema EIFS – *Exterior Insulated Finishing System* (Sistema de acabamento com isolamento externo), o qual pressupõe a fixação de placas rígidas de isolamento térmico (em poliestireno expandido ou extrudado, por exemplo) à superfície externa do *steel frame*. Nesse caso, os revestimentos são aplicados diretamente a placa de isolamento. A ilustra o conceito do EIFS. De acordo com Ribeiro, essa tecnologia tem sido introduzida no mercado nacional paulatinamente, ficando assim uma sugestão para trabalhos futuros o estudo da potencialidade do uso do EIFS no Brasil. Tal solução pode consistir em uma maneira mais rápida de se tratar as juntas.

⁵ Entrevista feita pelos autores com a M.Eng. Fabiana Ribeiro, projetista na empresa FCH Consultoria, em 27/05/2015.

Figura 4.27 - Sistema EIFS. Conceito.



Fonte: Adaptado de EIFS INDUSTRY MEMBERS ASSOCIATION, 2015.

Além disso, para sua execução, os instaladores devem receber constante treinamento a respeito da tecnologia de execução. Ribeiro⁶ (2015) recorda que em um dos projetos elaborados pela sua empresa, não houve plena satisfação do cliente com relação ao acabamento final dos painéis, principalmente por problemas na fase de execução das juntas. Segundo a Engenheira, algumas ondulações acabaram aparecendo no revestimento final do sistema, parte por ser característica inerente do método de tratamento de juntas adotado (três camadas de massa mais duas camadas de tela), e parte por falta de treinamento adequado da mão de obra, que pode não ter seguido à risca os procedimentos de execução baseados nas informações fornecidas pelo fabricante.

4.1.8. Aplicação do revestimento Basecoat

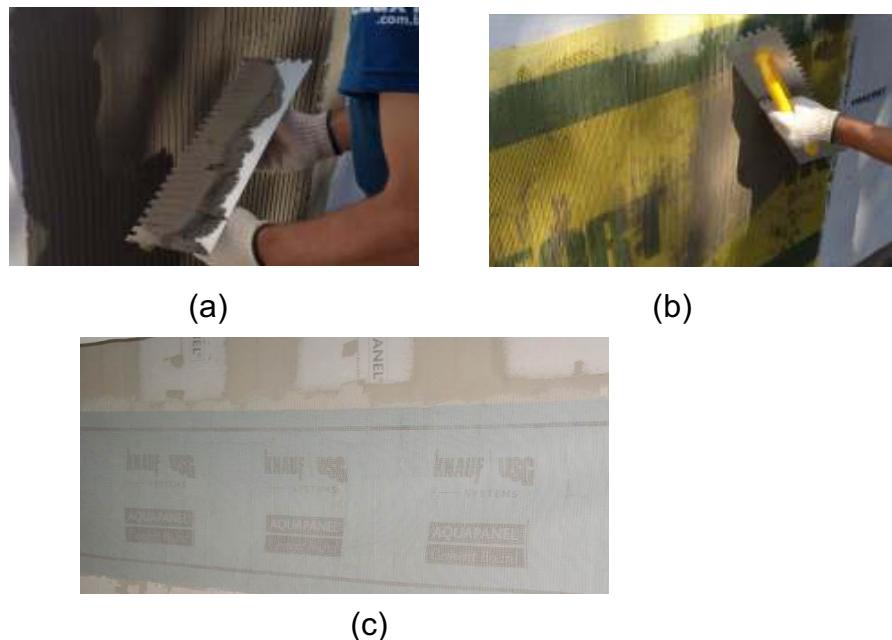
Alguns fabricantes, como é o caso da Placlux e da Knauf, recomendam que após o tratamento de juntas seja aplicada uma camada de revestimento com função de proteção do sistema, denominado *basecoat*. Essa camada é composta por uma

⁶ Entrevista feita pelos autores com a M.Eng. Fabiana Ribeiro, projetista na empresa FCH Consultoria, em 27/05/2015.

argamassa de base cimentícia com aditivos poliméricos, os quais são misturados em obra e acrescidos de água.

O *basecoat* é aplicado com auxílio de uma desempenadeira denteada, em toda a extensão da placa, obtendo-se uma camada com cerca de 5 mm de espessura. Em seguida, deve ser posicionada uma tela de fibra de vidro, sobre a superfície onde se aplicou a massa e, com o auxílio da desempenadeira, deve-se pressionar a tela para que não fique visível (Figura 4.28).

Figura 4.28 – Aplicação de revestimento *Basecoat*, após o tratamento de juntas. a) Aplicação da argamassa com desempenadeira denteada b) Aplicação da tela de fibra de vidro, c) Superfície acabada após a aplicação do *basecoat*.



Fonte: PLACLUX, 2015; TESIS, 2014.

Os fabricantes recomendam que a área de aplicação da massa deve ser limitada, de modo a evitar que seque antes da instalação da tela de fibra de vidro. Além disso, deve-se ficar atento à uniformização da superfície, evitando-se ondulações.

4.1.9. Colocação da camada de isolamento

Terminadas as etapas relacionadas à execução dos painéis externos, prossegue-se com a execução das atividades internas. Antes da instalação das placas de

fechamento interno, deve-se instalar a camada de isolamento termoacústico entre os perfis metálicos. Para isto, os materiais mais comumente utilizados são lã de rocha ou de fibra de vidro, que são fornecidos em rolos ou placas.

A instalação desses componentes usualmente não oferece dificuldades. Deve-se cortar o material de isolamento nas dimensões adequadas, com auxílio de serra ou estilete, de forma a preencher todo o espaço entre duas linhas de montantes, do piso ao teto (Figura 4.29). O uso de EPI's adequados, como luvas, óculos e máscara, deve ser observado uma vez que material fino pode se desprender do componente durante o manuseio, causando irritação aos olhos ou à pele (ISOVER SAINT-GOBAIN, 2012).

Figura 4.29 - Instalação de lã de vidro em *steel frame*.



Fonte: ISOVER SAINT-GOBAIN, 2012.

4.1.10. *Instalação das placas da face interior e seu tratamento de juntas*

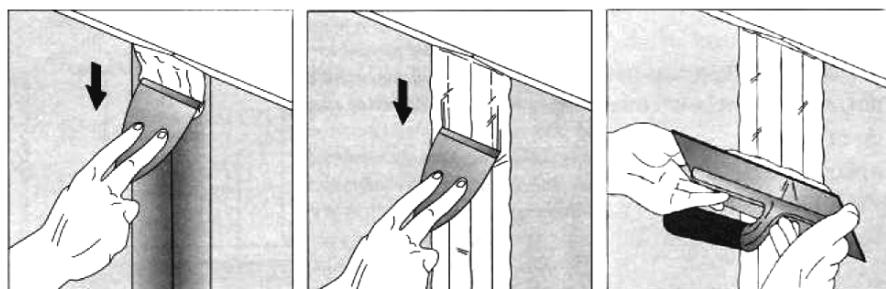
Logo após o posicionamento da camada de isolamento, prossegue-se à instalação das placas de fechamento interno, usualmente de gesso acartonado. A ABRADESSO (2004) recomenda o posicionamento das placas verticalmente, de encontro aos montantes, encostadas no teto e deixando-se folga de cerca de 1 cm na parte inferior. É importante que as juntas entre placas internas não estejam alinhadas com as da face externa, evitando-se, com isto, a formação de um caminho preferencial para a entrada de umidade.

As placas são parafusadas aos montantes, de modo a permitir que as juntas entre placas ocorram sempre sobre a estrutura metálica. Os parafusos devem estar localizados a cerca de 1 cm da extremidade das placas. Na ocorrência de aberturas de vãos de janelas, as juntas das placas devem ser preferencialmente desencontradas do alinhamento da esquadria. É importante que as bordas das placas sejam rebaixadas, de modo a facilitar a etapa de tratamento de juntas.

Segundo a Abragesso (2004), o tratamento das juntas entre chapas de gesso acartonado deve observar as atividades que seguem e ilustradas na Figura 4.30:

- Aplicar primeira camada de massa de rejunte sobre a junta;
- Marcar eixo da junta com espátula metálica;
- Colocar de fita de papel microperfurado sobre o eixo da junta;
- Pressionar firmemente a fita para eliminar excesso de massa, com auxílio de espátula;
- Cobrir a fita de papel microperfurado com uma fina camada de massa;
- Após a secagem, executar o acabamento da junta com auxílio de desempenadeira metálica.

Figura 4.30 - Tratamento de juntas internas.



Fonte: ABRAGESSO, 2004.

4.2. INTERFACES COM OUTROS SUBSISTEMAS

De acordo com Oliveira (2009), ao se optar pela utilização do sistema Fachada Leve, é necessário considerar as diversas interfaces do sistema com os demais subsistemas de um edifício, tanto no momento de seleção da tecnologia, no projeto, ou na execução.

- Entre elemento de fachada e estrutura principal;
- Entre elemento de fachada/vedação vertical interna;
- Entre os próprios elementos de fachada;
- Entre elemento de fachada e esquadrias;
- Entre elementos de fachada e cobertura;
- Entre elementos de fachada e vedação horizontal (piso e forro);
- Entre elementos de contraventamento e da estrutura principal;
- Entre elemento de fachada e instalações.

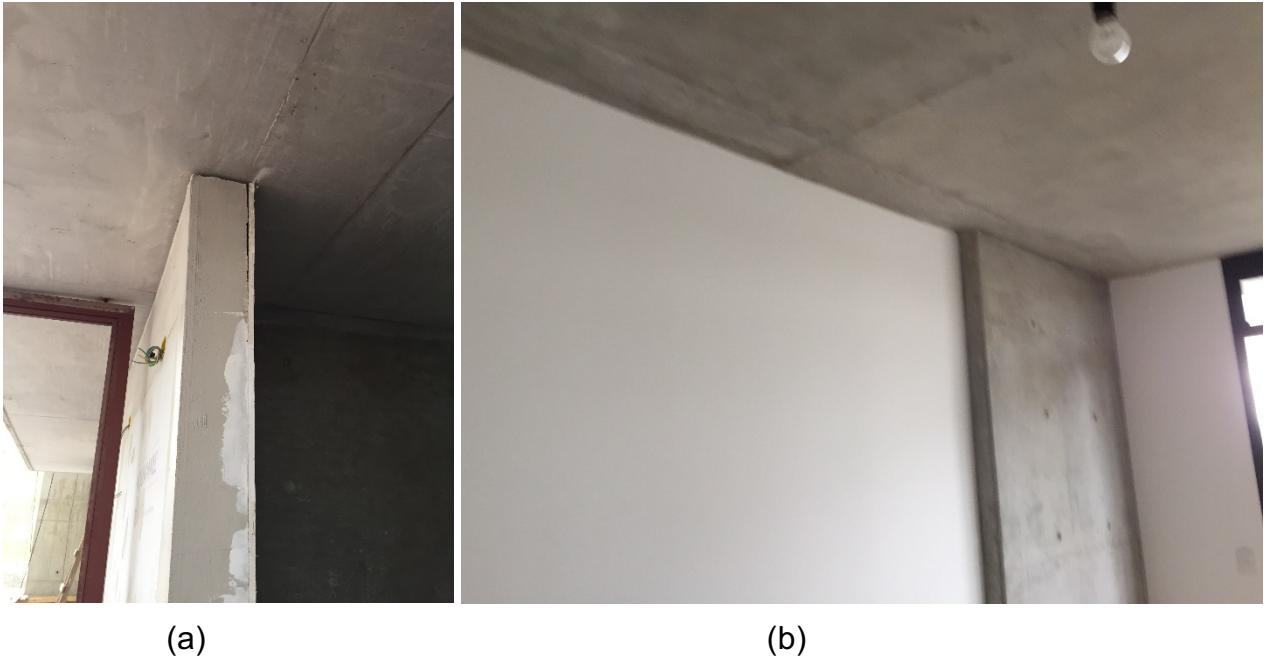
Algumas dessas interfaces serão discutidas a seguir.

4.2.1. Interface entre elementos de fachada e estrutura principal

Ao se optar pelo sistema Fachada Leve, deve-se levar em consideração, tanto no projeto quanto na execução, as deformações da estrutura principal, que implica na escolha do método de fixação da vedação à estrutura (SANTIAGO, 2008), e na qualidade da estrutura acabada, implicando na qualidade geométrica da instalação do vedo, por exemplo.

Além disso, para se ter um maior grau de racionalização e modularidade do sistema, é recomendável a utilização de estruturas que utilizem lajes planas, dispensando vigas de borda, conforme observado na Figura 4.31. Dessa maneira, evita-se a presença de dois elementos com espessuras diferentes na fachada do edifício, facilitando atividades de fixação dos elementos de vedação e execução de acabamentos internos. Sem a viga de extremidade também fica facilitada a execução de panos contínuos na fachada, facilitando o alinhamento de placas fixadas a montantes de dois pavimentos subsequentes.

Figura 4.31 - Ausência de vigas de extremidade. a) Trecho na varanda de unidade. b) Parede externa com ausência de viga. Empreendimento BK30 da empresa BKO.



Fonte: Os Autores, 2015.

Em entrevista com a Eng. Ivi Caliope⁷, responsável pela Área de Desenvolvimento Tecnológico na empresa construtora Tecnisa, foi relatado que um motivo importante para se adotar a estrutura de concreto com lajes planas em conjunto com o sistema de Fachada Leve está relacionado com a maior probabilidade de perda de prumo nas formas da vigas, levando a uma estrutura acabada de pior qualidade, sendo o reparo mais difícil de ser executado. Além disso, ao se optar pela Fachada Leve, busca-se a redução do ciclo de produção da estrutura, de forma a conciliar a maior velocidade de execução do sistema de vedação. Assim, utilizar lajes planas torna-se uma alternativa bastante interessante, principalmente durante a etapa de montagem de formas, que se torna mais facilitada pela ausência de formas de vigas.

Com relação aos pilares da estrutura, foram identificadas duas configurações possíveis de se utilizar esse elemento estrutural com o sistema Fachada Leve.

Uma primeira solução considera que os pilares de fachada estejam alinhados à extremidade das lajes, e que seu revestimento, tanto interno quanto externo, possa ser produzido independente da Fachada Leve. Nesse caso, o pilar, além de estrutura,

⁷ Entrevista feita pelos autores com a Eng. Ivi Caliope, atuante na área de Desenvolvimento Tecnológico na empresa TECNISA, em 02/09/2015.

também é um elemento de vedação da fachada, e a Fachada Leve “morre” no pilar. Tal configuração foi adotada no empreendimento BKO BK30, visitado pelos autores, observada também na Figura 4.31 (b).

No empreendimento, o partido arquitetônico considerava os pilares com acabamento aparente, no interior da unidade e no exterior do edifício, recebendo apenas pintura em verniz, facilitando de certo modo a sua produção.

Uma vantagem trazida por essa solução é a não obrigatoriedade de se utilizar as placas cimentícias como revestimento não aderido ao pilar. Assim, não há a necessidade de se fixar perfis e ancoragens ao lado externo do pilar para fixação desses elementos, o que pode ser construtivamente mais facilitado.

Por outro lado, a solução exige que se tenha uma maior precisão dimensional da estrutura, no que diz respeito ao desaprumo, para que a estrutura fique sempre alinhada aos elementos de fachada. Caso ocorra desaprumo, esse deverá ser corrigido, para que a Fachada Leve e o pilar fiquem alinhados e aprumados.

Um ponto importante é o elemento de junção entre a Fachada Leve e os pilares nesse caso. Como a estrutura principal tem rigidez diferente dos elementos de vedação, há a ocorrência de deslocamentos diferenciais entre esses sistemas, o que gera tensões nos elementos de vedação, podendo comprometer suas funções. Assim, há a necessidade de instalação de elementos flexíveis no encontro entre os dois sistemas que “absorvam” tais deslocamentos diferenciais.

Durante visita ao empreendimento BKO BK30 adotou-se uma solução de ligação flexível nos encontros entre os pilares de fachada e a Fachada Leve. Conforme observado na Figura 4.32, na ocorrência de tais encontros, foi utilizado um perfil em PVC. Utilizou-se também mástiques poliméricos para o preenchimento de pequenas imperfeições e cavidades.

Figura 4.32 – a) Elemento em PVC para tratamento de interface entre pilar e Fachada Leve – vista do interior da unidade. b) Encontro entre pilar e painel de fachada – vista externa. Empreendimento BK30, da empresa BKO



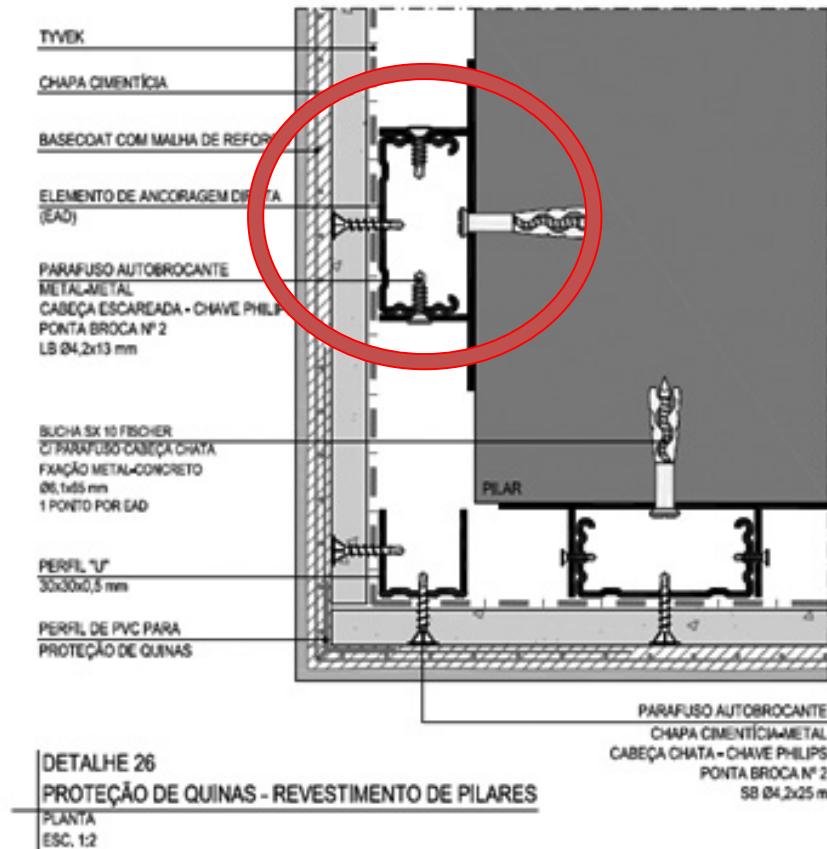
Fonte: Os Autores, 2015.

A utilização de elementos de juntas flexíveis deve trazer uma atenção a mais. Deve-se atentar para a vida útil desses elementos, bem como as eventuais necessidades de manutenção e substituição dos elementos ao longo da vida útil do edifício. Outra preocupação, mais subjetiva, se refere à estética da solução, que por se tratar de um elemento de junta aparente, pode gerar desconforto ou rejeição por parte dos usuários.

A segunda solução identificada considera o recuo dos pilares de fachada, de modo que possa se formar um pano contínuo de fachada na horizontal e na vertical (entre dois pavimentos subsequentes), ou seja, os pilares passam a ser revestidos pelas placas cimentícias. Ainda segundo Caliope (2015), para se utilizar essa solução, recomenda-se que os pilares sejam projetados com a sua menor dimensão paralela à extremidade da laje. Essa recomendação é justificada pelo fato de haver uma menor probabilidade de desaprumo da face de menor dimensão do pilar, sendo seu reparo também mais facilitado. Dessa maneira, os elementos da Fachada Leve estarão em contato com uma estrutura com melhor qualidade geométrica.

Ao se recuar o pilar, é possível fazer a instalação de perfis em contato com a estrutura, através de elementos chamados de ancoragem direta (MEDEIROS *et al.*, 2014), observado na Figura 4.33. Este elemento é particularmente importante pois, em função das suas dimensões, atua na definição do recuo do pilar da extremidade da laje.

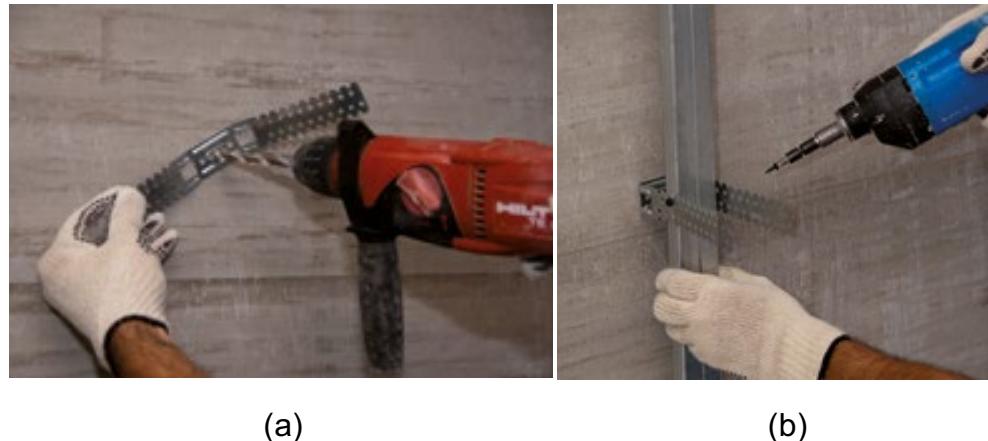
Figura 4.33 - Detalhe da Fixação de Placas a Pilares. Elementos de Ancoragem Direta.



Fonte: MEDEIROS *et al.*, 2014.

Para executar a ancoragem direta, o fabricante Knauf (2014) fornece perfis metálicos destinados a fixação de revestimentos não aderidos. Tais perfis, chamados de “perfis CD”, com seção transversal semelhante à mostrada no detalhe da Figura 4.33 são fixados aos pilares por meio de ancoragens metálicas (Figura 4.34(a)) que permitem o ajuste da distância do perfil ao pilar. Os perfis CD são fixados às ancoragens por meio de parafusos (Figura 4.34 (b)).

Figura 4.34 - (a) Elemento de ancoragem do perfil CD ao Pilar. (b) Fixação do Perfil CD.



Fonte: KNAUF, 2014.

Com isso, supondo-se que as guias sejam posicionadas de forma alinhada à extremidade da laje, o recuo mínimo do pilar seria de aproximadamente 3 cm para o caso de se utilizar o menor perfil disponível pelo fabricante.

A Figura 4.35 mostra a utilização do perfil CD fixado ao pilar, e a placa cimentícia fixada ao perfil, solução utilizada no empreendimento Wind Residencial.

Figura 4.35 - Ancoragem e Perfil CD fixados ao pilar e placa cimentícia. Wind Residencial



Créditos: Foto tirada por Eng. Reinaldo Kaizuka, 2015.

Assim, consegue-se ter uma maior flexibilidade para desaprumos verticais da estrutura. Na ocorrência de desaprumos grandes, pode-se fazer um mapeamento da

estrutura executada e definir um plano vertical contínuo que receberá os elementos de vedação.

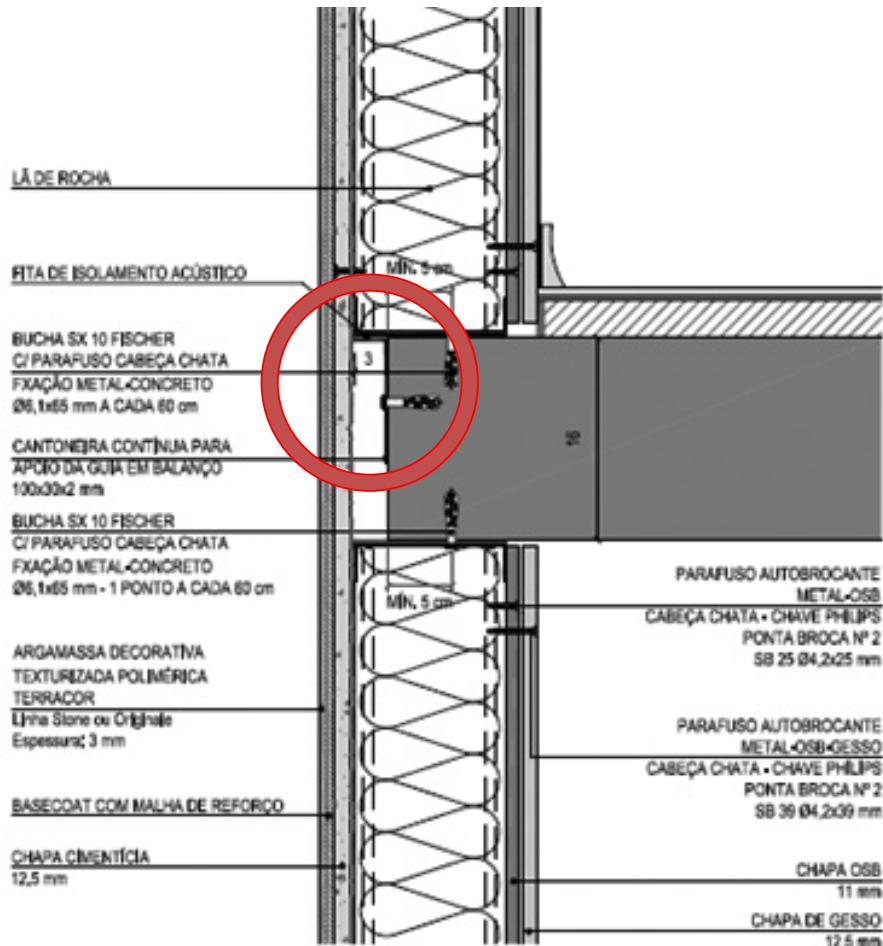
Uma maneira possível para tratar o desaprumo da estrutura nesse caso é tirar partido da possibilidade de se instalar as guias metálicas em balanço. Segundo Nunes (2015)⁸, as guias podem ser instaladas com um balanço de até 1/3 de sua largura.

Pode-se, portanto, compatibilizar tanto o alinhamento das guias e a distância entre os perfis CD à sua fixação na ancoragem. Por fim, Medeiros *et al.* (2014) alerta para a necessidade de uso de cantoneiras metálicas fixadas à laje em caso de guias instaladas com balanço maior que 3 cm.

Outra vantagem notada desse sistema é a não necessidade do uso de elementos flexíveis de interface que absorvam os deslocamentos diferenciais entre elementos de fachada e estrutura principal.

⁸ Entrevista realizada com a Arquiteta Fernanda Nunes, responsável técnica pelo sistema Aquapanel, em 20/08/2015

Figura 4.36 - Guia em balanço e cantoneira.



Fonte: MEDEIROS *et al.*, 2014.

4.2.2. Interface entre elementos de fachada e esquadrias

Em relação às interfaces com as esquadrias, destaca-se a importância de adequação modular entre os vãos das esquadrias e os montantes da estrutura em *steel frame*. Também a espessura dos perfis montantes é fundamental para que permitam o encaixe completo dos marcos das esquadrias. Os reforços de vergas e contravergas também devem ser observados.

Uma característica importante da interface esquadrias/fachada é que, na maioria dos casos, dispensa-se o contramarco para a fixação das esquadrias aos vãos. Como, em tese, a geometria do vão executado com o sistema Fachada Leve possui regularidade maior do que a dos vãos executados em alvenaria de blocos, não é necessária a pré-

definição do vão da esquadria com o contramarco. Assim, após o cobrimento do vão deixado pela estrutura em *steel frame* com a barreira impermeável e a placa cimentícia, a esquadria poderá ser fixada diretamente sobre as placas, com o auxílio de parafusos.

Uma maneira desenvolvida no empreendimento BKO BK30 para minimizar interfaces entre as esquadrias e os elementos do sistema Fachada Leve foi a adoção de esquadrias de PVC de duas folhas de correr, do tipo piso-teto em todas as unidades do empreendimento (Figura 4.37).

A interface entre as esquadrias e o sistema Fachada Leve ficam minimizadas pelas esquadrias serem suportadas pela laje inferior, sendo fixadas pelo uso de parafusos e buchas em soleiras de granito previamente assentadas na laje inferior (Figura 4.38 (a)). Sua fixação na laje superior se dá no concreto aparente e, nas extremidades laterais são fixadas por parafusos nos trechos de paredes de fachada, após a camada de revestimento (Figura 4.38 (b)).

Figura 4.37 - Esquadria do tipo piso-teto. Empreendimento BKO BK30.



Créditos: Foto tirada por Arq. Silvia Scalzo, em 20/08/2015.

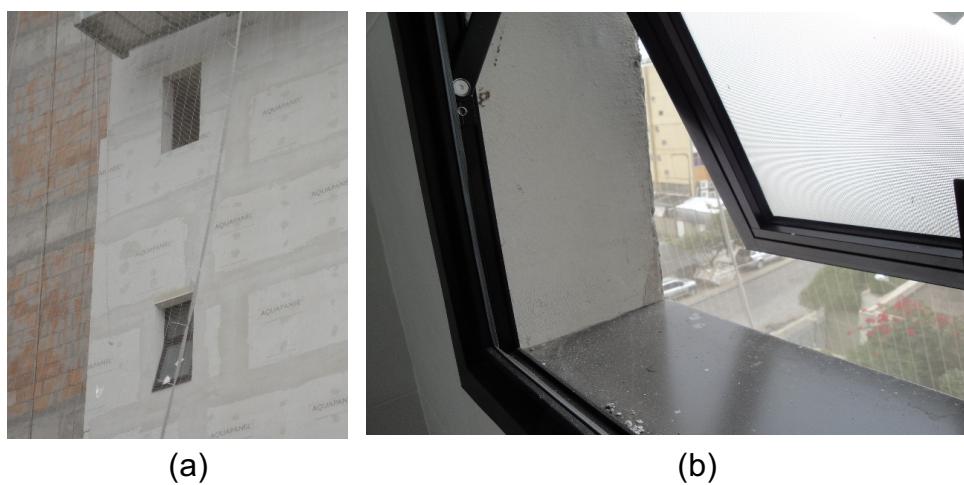
Figura 4.38 - Fixação de esquadrias. a) Fixação em soleira de granito na laje inferior. b) Fixação ao painel de fachada com parafuso e bucha. Empreendimento BKO BK30.



Créditos: Foto tirada por Arq. Silvia Scalzo, em 20/08/2015.

No banheiro das unidades deste empreendimento, foram utilizadas esquadrias de PVC do tipo maxim-ar alinhadas pelo interior. A parte inferior da esquadria foi projetada com elemento beiral com inclinação para fora do edifício, de modo a dificultar a entrada de água de chuva no interior, conforme observado na Figura 4.39.

Figura 4.39 - Esquadria no banheiro. a) Vista externa. b) Elemento de pingadeira sobre superfície horizontal. Empreendimento BKO BK30.



Créditos: Foto tirada por Arq. Silvia Scalzo, em 20/08/2015.

4.2.3. Interface entre elementos de fachada e instalações

Uma primeira observação a ser feita a respeito das interfaces entre a Fachada Leve e as instalações prediais tem a ver com a necessidade de suportes e montagens (Figura 4.40) para a fixação das instalações no vedo, pelo fato de não existir nenhum elemento no interior das paredes que permita a fixação (SANTIAGO *et al*, 2012).

Figura 4.40 - Instalações e reforço na estrutura em *steel frame*.



Fonte: SANTIAGO, 2012.

Uma das interfaces destacadas com as instalações prediais é a passagem horizontal de tubulações, o que exige que tanto tubos quanto as guias metálicas sejam locados corretamente, e que os perfis recebam furos para a passagem dos dutos em dimensão, quantidade e locais corretos. Para que seja facilitada as etapas de locação de armaduras e concretagem, durante a produção da estrutura, é recomendável que as instalações prediais não estejam embutidas nas lajes. Para tal, é possível a utilização de forro suspenso nos ambientes, com a passagem das instalações ocorrendo no entreforro, conforme solução adotada no empreendimento Odebrecht Wind Residencial, visto na Figura 4.41.

Figura 4.41 - Passagem horizontal de tubulações no entreforro. Wind Residencial.



Créditos: Eng. Reinaldo Kaizuka, 2015.

Ao se optar pela passagem de instalações pelo forro, as tubulações chegarão aos pontos finais (tomadas, torneiras, etc.) vindas pela parte superior das paredes, não exigindo que as guias sejam perfuradas para a passagem de dutos (Figura 4.42).

Figura 4.42 - Passagem vertical de instalações. Wind Residencial.

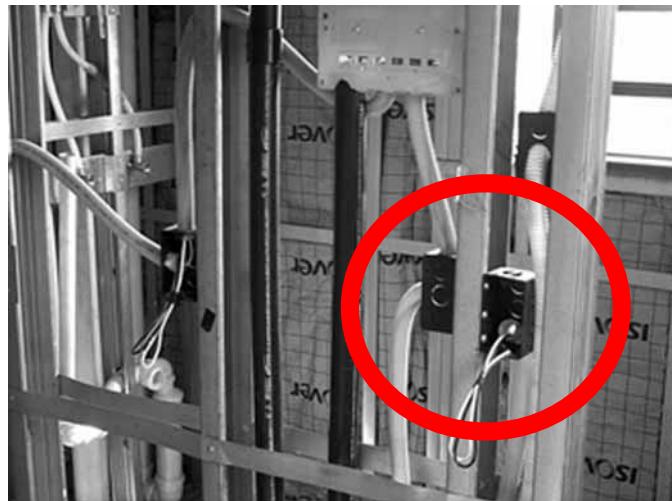


Créditos: Eng. Reinaldo Kaizuka, 2015.

Para as instalações elétricas, Santiago (2012) alega que é possível utilizar as caixas de saída para pontos elétricos disponíveis no mercado, havendo apenas a

necessidade de fixação das caixas aos montantes através de parafusos, devido aos vazios existentes na estrutura em *steel frame*, conforme visto na Figura 4.43.

Figura 4.43 - Caixas fixadas aos montantes.



Fonte: SANTIAGO, 2012.

Para instalações hidráulicas, o Manual de Projeto de Sistemas *Drywall* (ABRAGESSO, 2006) recomenda a utilização de protetores nos furos de montantes, quando estes possuírem furos para a passagem de tubos, além de destacar a necessidade de isolamento de torno de tubulações e conexões em cobre e bronze. Os pontos de saída poderão ser fixados na estrutura da parede, diretamente nos montantes ou em travessas horizontais metálicas, com auxílio de abraçadeiras.

4.3. PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO

As entrevistas realizadas com os profissionais envolvidos com a tecnologia de fachadas leves, bem como as referências de catálogos e outros materiais bibliográficos relacionados ao tema, possibilitam afirmar que a grande vantagem do sistema está na sua maior velocidade de execução quando comparada à da tecnologia tradicional de fachadas com blocos e revestimentos de argamassa. Assim, para que o sistema colabore efetivamente com uma redução de prazo global de obra, é necessário entender como as diversas atividades relacionadas à sua produção se

encaixam com a produção dos demais subsistemas do edifício, bem como, exige eventuais ações para minimizar as interfaces com os outros subsistemas.

A primeira atividade relacionada à produção do sistema Fachada Leve é a montagem da estrutura de sustentação em *steel frame*, que é executada pelo interior do edifício, sendo posicionada diretamente na estrutura, com as devidas correções e preparos destacados anteriormente.

Quando se utiliza estrutura de concreto armado tradicional, é recomendado que a aplicação de cargas permanentes, como os sistemas de vedações internas e externas, somente ocorra pelo menos 28 dias após o lançamento do concreto na forma.

Como prática comum, as construtoras utilizam as faixas de reescoramento para sustentação das lajes da estrutura até que essa situação seja atingida. Portanto, a retirada dos escoramentos permanentes ocorre quatro semanas após a concretagem da laje. Nos ciclos de produção de estruturas de uma semana, bastante comum entre as construtoras, retira-se então o reescoramento do andar localizado quatro pavimentos abaixo daquele onde a estrutura está sendo produzida.

Portanto, as atividades de fixação de guias e montantes na estrutura em concreto armado somente poderão começar quatro semanas após a execução da laje desse mesmo pavimento. Entretanto, a fixação dos perfis pode não ocorrer imediatamente após a liberação do pavimento da estrutura. Uma vez que sua montagem é bastante rápida, pode haver a necessidade de esperar um intervalo de tempo para a liberação dos trabalhos. Dessa forma, evita-se que as atividades de fixação dos perfis ultrapassem a produção da estrutura do edifício.

Para a execução da fixação da barreira impermeável e da fixação de placas externas ao sistema, é necessário que se tenha uma plataforma de trabalho adequada para a execução dos serviços. Essa plataforma de trabalho poderá ser inerente ao projeto do edifício, ao se utilizar as varandas e sacadas das unidades, ou pela utilização de equipamentos de sustentação como o andaime fachadeiro, a plataforma cremalheira ou o balancim leve.

Os dois primeiros equipamentos permitem que as placas de fechamento externo sejam fixadas conforme a estrutura dos pavimentos superiores ainda está sendo

executada, uma vez que os equipamentos estão apoiados no solo, e permitem o aumento de nível progressivo conforme a necessidade. A diferença entre eles é que na utilização do andaime fachadeiro, constrói-se progressivamente novos níveis de trabalho, enquanto que a plataforma cremalheira permite a movimentação vertical da plataforma fixada em um ou mais mastros, de forma semelhante a um elevador.

Além disso, estas duas soluções apresentam adequado grau de segurança aos operários durante a execução dos serviços, maior mobilidade tanto no transporte de materiais e componentes quanto na execução das atividades, possibilitando gerar um produto de adequada qualidade, com rapidez na execução (EDITORA PINI, 2007).

Como desvantagens desses equipamentos, são listados o maior custo comparado aos balancins, principalmente em obras de alto gabarito, o que compromete o período máximo em que o equipamento é viável economicamente. Além disso, há a necessidade de se ter um projeto arquitetônico com a ausência de reentrâncias ou protuberâncias na fachada do edifício, de modo a permitir o posicionamento dos equipamentos ao redor de toda a área de fachada, e a disponibilidade de espaço em canteiro de obras para sua instalação, sendo difícil o seu posicionamento em terrenos de pequenas dimensões.

O balancim, como seu próprio nome diz, é uma plataforma de trabalho estruturada em balanço a partir da instalação de ganchos na estrutura principal do edifício, e a plataforma se movimenta por cabos fixados aos ganchos. Geralmente, o balancim é uma opção mais viável economicamente para edifícios altos, além de poder se adaptar a edifícios com geometria irregular ou recortada, uma vez que no mercado há uma variedade de tamanhos e formatos de plataformas. Na maioria dos casos, o balancim é fixado na cobertura, portanto os serviços são executados em uma frente única. Porém há casos que, visando uma redução de prazo, os serviços podem ser executados em duas frentes – ou dois momentos – sendo o balancim fixado primeiramente a um andar intermediário.

Devido ao alto custo de locação das estruturas de trabalho, mesmo dos balancins que possuem o menor custo entre os avaliados, estes equipamentos são locados por pouco tempo durante a obra. Portanto, é necessário um planejamento bem feito e executado para se evitar ociosidade do equipamento em obra. A fim de se evitar possíveis gargalos de execução, pode-se instalar o balancim em andares

intermediários, reduzindo o prazo global da obra. Para isso, há necessidade de haver um planejamento para que as atividades da primeira fase coincidam com o término da segunda para a movimentação do balancim a andares superiores.

A movimentação e o acesso de operários são difíceis, devido às suas menores dimensões, além de ser uma estrutura que pode se movimentar devido a ação do vento, o que pode comprometer a ergonomia dos trabalhadores, e, portanto, comprometer a qualidade do produto acabado. Além disso, há necessidade de uma solução para a entrada e saída dos operários do equipamento. Tal movimentação é feita por aberturas na fachada, localizadas nas esquadrias. Para isso, algumas esquadrias serão finalizadas com antecedência, permitindo sua completa abertura.

No empreendimento Wind Residencial, construído pela empresa Odebrecht, adotou-se a solução de andaime fachadeiro (Figura 4.44), aproveitando-se da geometria retilínea do edifício e de seu baixo gabarito (7 pavimentos). No empreendimento Ibis Canoas, a solução adotada foi a plataforma cremalheira (Figura 4.45), que, associada à utilização de estruturas metálicas em perfis de aço e lajes em *steel deck*, permitiu a produção da estrutura e vedação externa em 67 dias (EDITORAR PINI, 2011).

Figura 4.44 - Andaime Fachadeiro. Wind Residencial.



Fonte: Odebrecht Realizações Imobiliárias, Acesso em 07/09/2015.

Figura 4.45 - Plataforma Cremalheira. Hotel Ibis Canoas.



Fonte: Medabil S.A, Acesso em 05/08/2015.

No empreendimento BK30, da construtora BKO, aproveitou-se do partido arquitetônico do edifício, que incluía varandas em todas as unidades, para a execução do sistema. Nos panos de fachada onde não existia varandas, a solução utilizada foi o balancim elétrico. As plataformas de trabalho utilizadas na obra são ilustradas na Figura 4.46.

Figura 4.46 - Balancim Elétrico e varandas como plataforma de trabalho. BKO BK30.



Fonte: Os Autores, 2015.

A escolha da plataforma impacta diretamente no planejamento das atividades do empreendimento, havendo duas possibilidades. Ao se utilizar uma plataforma de trabalho que acompanhe a execução da estrutura do edifício, como o caso do andaime fachadeiro, plataforma cremalheira, ou até das varandas, as atividades de fixação da barreira impermeável e das placas cimentícias na face externa poderão ser realizadas logo após a montagem da estrutura em *steel frame*.

Esta primeira escolha é bastante vantajosa, pois à medida que as placas vão sendo fixadas, e o vedo vertical é progressivamente constituído, as frentes de trabalhos internos ao edifício são liberadas. Ou seja, poderão ser iniciadas as atividades de produção de contrapiso, fechamento interno do sistema Fachada Leve, instalação de divisórias internas leves em chapas de gesso acartonado, execução das instalações prediais e fixação de esquadrias. Na face externa, após serem instaladas as placas, poderão ser executadas as atividades de tratamento de juntas e aplicação de *basecoat*. O acabamento final, como massa texturizada, revestimentos em placas cerâmicas ou pintura, geralmente é executado após a conclusão de todo o sistema de vedação vertical externa.

Há atividades internas que dependem do fechamento da vedação externa para sua respectiva execução. A vedação interna do pavimento somente será liberada após a fixação das placas cimentícias ao *steel frame*. Porém, há atividades internas que não possuem restrição, como a execução do contrapiso. Para se executar o contrapiso é necessário instalar um rodapé junto à base da estrutura em *steel frame* da fachada, de modo a evitar que materiais sejam derramados para fora do edifício. Este rodapé pode, inclusive, ser feito com faixas de placa cimentícia, com altura adequada à espessura do contrapiso a ser realizado.

No empreendimento BKO BK30, apesar de terem sido utilizados balancins, a área de fachada executada com este tipo de plataforma foi muito reduzida em comparação à área total de fachada do edifício, uma vez que existem varandas circundando a maior parte do empreendimento. Dessa maneira, os serviços que dependiam da execução da fachada não ficaram comprometidos.

Segundo o Engenheiro Rodrigo Sousa⁹, gerente da obra BKO BK30, e a Arquiteta Fernanda Nunes, representante técnica da Knauf no desenvolvimento da obra, em estudo previamente realizado à execução da obra, projetou-se o edifício com sistema de vedação vertical externa em alvenaria tradicional com prazo total de 22 meses. A projeção realizada utilizando o sistema Fachada Leve era de 17 meses. De acordo com a equipe técnica da obra, durante visita à obra em agosto de 2015, a execução dos serviços encontrava-se dentro do prazo.

A obra conta com cerca de 2000 m² de fachada, sendo o sistema Fachada Leve executado com equipes de 6 a 8 operários. O tempo de execução de cada uma das atividades relativas à produção do sistema Fachada Leve, para um pavimento, está representado no Quadro 4.1, de acordo com dados obtidos com a equipe técnica da obra. Importante dizer que a soma dos tempos de execução não reflete diretamente o tempo total levado para a produção de um pavimento, uma vez que algumas atividades podem ocorrer ao mesmo tempo que outras.

Quadro 4.1 - Prazos relativos a atividades do Sistema Fachada Leve. Obra BKO BK30.

Atividade	Tempo de execução (dias/pavimento)
Fixação de guias e montantes	5
Fixação de barreira impermeável	2,5
Fixação de placas cimentícias	2,5
Tratamento de juntas com massa cimentícia	5
Aplicação de malha de fibra de vidro + basecoat	5

Durante entrevista com Caliope (2015)¹⁰, a empresa Tecnisa planeja o lançamento de um empreendimento tipo *flat* na cidade de São Paulo, com edifício projetado com o sistema Fachada Leve como solução para vedação vertical externa. O

⁹ Entrevista feita pelos autores com o Eng. Rodrigo Sousa durante visita a obra BKO BK30, em 20/08/2015.

¹⁰ Entrevista feita pelos autores com a Eng. Ivi Caliope, atuante na área de Desenvolvimento Tecnológico na empresa TECNISA, em 02/09/2015.

empreendimento, que contará com torre de 24 pavimentos, adotará plataforma cremalheira.

O planejamento previsto para a obra considera as seguintes atividades:

- Logo após a retirada do reescoramento da estrutura de concreto armado, serão liberadas as frentes de trabalho para instalação dos perfis em *steel frame* que será feito pelo lado interno da laje;
- A plataforma cremalheira será instalada em apenas metade da periferia da torre, permitindo a fixação das placas cimentícias.
- Tão logo a fixação de placas atinja metade do gabarito final do edifício (em altura), a plataforma cremalheira será desmontada e instalada ao redor da metade de torre que ainda não havia recebido o plaqueamento. Nessa segunda metade do edifício, o plaqueamento será executado em toda a altura do edifício.
- Completamente terminada essa etapa, a plataforma será instalada novamente na primeira metade da periferia, para que sejam instaladas as placas do 12º pavimento em diante.

Segundo Caliope (2015), os estudos realizados pela empresa para elaboração do planejamento também levaram a uma redução de prazo de obra. Considerando-se a execução de fachada tradicional com alvenaria de blocos, o prazo inicial de obra totalizava 26 meses. Com o planejamento elaborado, utilizando o sistema Fachada Leve estima-se um prazo de 22 meses.

5. ESTUDO DE CASO – ELABORAÇÃO DE PROJETO COMPARATIVO

Para compreender os impactos decorrentes do uso do sistema Fachada Leve em um edifício de múltiplos pavimentos, neste capítulo é apresentado um estudo de caso envolvendo a aplicação do sistema em um empreendimento projetado originalmente com vedação vertical externa em alvenaria de blocos cerâmicos e revestimento de argamassa com pintura. O estudo envolveu a identificação das principais mudanças e alterações necessárias para que o mesmo projeto fosse concebido utilizando o sistema Fachada Leve. Para tanto, foram consideradas as em alguns subsistemas que têm interface com o vedo: estrutura e instalações prediais. Foram consideradas também as alterações no planejamento e cronograma da obra.

5.1. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento *Le Champ* (Figura 5.1), localizado à rua Toledo Barbosa, 476, em São Paulo, foi construído pela empresa Cyrela, no período entre dezembro de 2011 e fevereiro de 2014. Os projetos de arquitetura, estrutura e planejamento de obra foram fornecidos pelos técnicos da empresa aos autores do trabalho.

Figura 5.1 - Empreendimento *Le Champ*.



Fonte: OLX, Acesso em 20/11/2015.

O empreendimento é constituído por uma torre residencial de 24 pavimentos-tipo, pavimento térreo, dois sobressolos de garagem e pavimento de lazer na cobertura. Cada pavimento-tipo possui 8 unidades habitacionais de 68 m² cada, com dois dormitórios, dois banheiros, sala, cozinha, área de serviço e terraço com churrasqueira.

O projeto foi concebido com estrutura reticulada de concreto armado, com vedações externas em alvenaria de blocos cerâmicos, esquadrias das unidades habitacionais em alumínio, revestimentos de fachada em argamassa com textura sobre massa única. Internamente às unidades, os revestimentos verticais são de gesso liso em áreas secas e cerâmicos em áreas molháveis. A passagem de instalações hidrossanitárias na vertical é feita através de *shafts*, localizados nos banheiros e áreas de serviço e, na horizontal, através de sancas, ambos fechados por chapas de gesso

acartonado. Além disso, os banheiros contam com forro suspenso em gesso acartonado para embutimento de instalações de água e esgoto.

O projeto de arquitetura do empreendimento (planta do pavimento-tipo) e projeto de fôrmas da estrutura encontram-se no Anexo I e Anexo II, respectivamente. Exceto pelas áreas de corredores, caixa de escada e elevadores, o projeto apresenta simetria em dois eixos, isto é, existe apenas dois tipos de unidades. Essa simetria facilitou as análises necessárias ao trabalho, uma vez que, na maioria das vezes, foi possível trabalhar com metade ou um quarto da área do pavimento.

5.2. PRÉ DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FACHADA LEVE

5.2.1. Escolha dos perfis steel frame

Antes de se analisar quais mudanças são necessárias na concepção dos subsistemas do edifício para o emprego do sistema Fachada Leve que seria utilizada para a vedação externa do edifício, foi necessário determinar a composição desse sistema. E, para tal, considerou-se o emprego do sistema Knauf Aquapanel, que teve suas características de desempenho discutidas no Capítulo 3, e que foi utilizado nos empreendimentos identificados no Capítulo 2.

Em primeiro lugar, portanto, fez-se necessário determinar quais são os perfis de aço a serem utilizados como estrutura em *steel frame* para sustentação das placas cimentícias de fechamento externo e das chapas de gesso acartonado internas. O fornecedor Knauf apresenta para seu produto Aquapanel uma Tabela de Pré-Dimensionamento dos perfis de *steel frame* conforme a pressão de vento exercida na fachada, reproduzida na Figura 5.2 (TESIS, 2014).

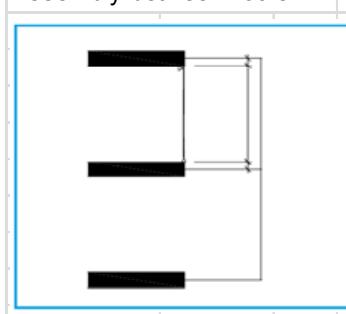
Como não faz parte do escopo deste trabalho realizar o dimensionamento dos elementos de fachada, entendeu-se o pré-dimensionamento fornecido pelo fabricante como satisfatório, uma vez que, no Capítulo 4 foi feita a análise quanto ao seu atendimento aos requisitos de Segurança Estrutural, a partir dos resultados dos ensaios elaborados pela Instituição Técnica Avaliadora responsável pelo estudo.

Figura 5.2 - Tabela de Pré-Dimensionamento do Sistema Aquapanel.

		Recommended solution (depending on heights between floors in cm) *														
Windload [kN/m ²]	Stud spacing [mm]	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	
0,50	300	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	C	
	400	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D	D	E	
	600	A	A	B	B	B	B	C	C	C	D	E	E	E	E	
0,60	300	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	C	C	D	D	
	400	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	
	600	A	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	F	
0,70	300	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	
	400	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	
	600	A	B	B	B	C	C	C	E	E	E	E	F	F	F	
0,80	300	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	
	400	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	
	600	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	F	G	
0,90	300	A	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	
	400	A	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	F	
	600	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	F	G	G	
1,00	300	A	A	B	B	B	B	C	C	C	D	E	E	E	E	
	400	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	F	
	600	B	B	B	C	D	E	E	E	E	E	F	G	G	G	
1,10	300	A	A	B	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	
	400	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	F	G	
	600	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	G	G	G	G	
1,20	300	A	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	F	
	400	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	F	G	
	600	B	B	C	C	E	E	E	E	F	F	G	G	G	H	
1,30	300	A	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	F	
	400	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	F	G	G	
	600	B	C	C	D	E	E	E	F	G	G	G	G	H	H	
1,40	300	A	B	B	B	C	C	C	E	E	E	E	E	F	F	
	400	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	F	G	G	G	
	600	B	C	C	D	E	E	E	F	G	G	G	H	H	H	
1,50	300	A	B	B	B	C	C	D	E	E	E	E	E	F	G	
	400	B	B	B	C	D	E	E	E	E	F	G	G	G	G	
	600	B	C	D	E	E	E	F	G	G	G	H	H	H	-	

* Brackets should be used for fixation of vertical profiles at top and foot points if wall height is > 3m or windload is > 0,70 kN/m².

Assembly between floors:



Profile types

A	CW 90/50/0,80
B	CW 120/50/0,80 or 2 x CW 90/50/0,80
C	CW 140/50/0,80 or 2 x CW 120/50/0,80
D	CW 140/50/0,95 or 2 x CW 120/50/0,80
E	CW 200/50/0,80 or 2 x CW 140/50/0,95
F	CW 200/50/0,95
G	2 x CW 200/50/0,80
H	2 x CW 200/50/0,95

Para se determinar a pressão de vento exercida na fachada do empreendimento, seguiu-se o procedimento definido pela norma ABNT NBR 6123:1988 explicita que a pressão dinâmica exercida pelo vento, q , em N/m^2 , é resultado da Equação 5.1:

Equação 5.1 - Cálculo da pressão dinâmica do vento – ABNT NBR 6123:1988

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

Onde V_k é a velocidade característica do vento em m/s, que é resultado da multiplicação de uma velocidade básica V_o , determinada para cada região do Brasil, por fatores S_1 , S_2 e S_3 , que representam a influência da topografia, da rugosidade do terreno e das dimensões da edificação, conforme a Equação 5.2.

Equação 5.2 - Velocidade característica do vento - ABNT NBR 6123:1988.

$$V_k = V_o \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

O Cálculo de pressão dinâmica obtido para a localização e dimensões do empreendimento *Le Champ* está summarizado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Cálculo da Pressão Dinâmica no Edifício *Le Champ*. ABNT NBR 6123:1988.

Fator	Valor	Observação
Velocidade Básica do Vento - V_o (m/s)	40,0	Extraído da Figura 1 – São Paulo
Fator Topográfico S_1	1,00	
Rugosidade - S_2	0,997	Extraído da Tabela 2 – Rugosidade Categoria V (Centro de Grande Cidade) e Fator de Forma Classe C
Fator Estatístico S_3	0,88	Extraído da Tabela 3 - Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)
Velocidade Característica do Vento V_k (m/s)	34.144	
Pressão Dinâmica q (N/m^2)	714.64	
Pressão Dinâmica q (kN/m^2)	0.71	

A outra informação necessária para se determinar os perfis de *steel frame* utilizados no projeto é o pé direito do pavimento que, para o edifício *Le Champ* é de 2,80 m para o pavimento tipo, segundo seu projeto de arquitetura.

Portanto, ao se consultar a Figura 5.2, definem-se os perfis recomendados e os respectivos espaçamentos, expressos no Quadro 5.1. As dimensões em milímetros dos perfis estão representadas no padrão largura da alma/largura da aba/espessura.

Quadro 5.1 - Perfis montantes resultantes do pré-dimensionamento.

Perfil Montante	Espaçamento
CW 90/50/0.80	300 mm
CW 90/50/0.80	400 mm
CW 120/50/0.80	600 mm

Existem, portanto, três configurações de perfis *steel frame* possíveis para serem utilizadas no projeto. Por simplificação, foi utilizado um mesmo perfil e um mesmo espaçamento máximo para todos os vãos do edifício. Para a decisão de qual perfil e espaçamento utilizados, utilizou-se o critério econômico, isto é, aquela composição que resultar num menor custo direto dos perfis *steel frame*. Para realizar essa estimativa, assumiu-se que o custo do aço seja diretamente proporcional à sua massa. Assumindo que nessa comparação entre duas opções de perfis não haja diferença significativa de altura, pode-se entender que a escolha que resultar numa menor área de seção transversal de aço, somando-se todos os perfis utilizados em um pavimento, resultará em uma condição mais econômica.

Portanto, apresenta-se a seguir uma estimativa dos quantitativos de área de seção transversal de perfis exigidos para um pavimento. Aproveitando-se da simetria em dois eixos ortogonais da arquitetura, foram medidos os vãos entre pilares que receberão a vedação vertical externa, identificados de 1 a 5 na Figura 5.3 e na Tabela 5.2. Para cada um desses trechos, calculou-se a quantidade de perfis montantes, respeitando-se o espaçamento máximo imposto pela tabela de pré-dimensionamento de perfis (Figura 5.2). Em seguida, multiplicou-se o resultado por 4, para ter a estimativa completa para o pavimento inteiro. Por fim, dadas às quantidades, calculou-se a área de seção transversal para cada tipo de perfil na Figura 5.3 que multiplicadas pela quantidade de montantes, resultou em uma área total de aço por pavimento.

Figura 5.3 - Trechos entre pilares no pavimento tipo.

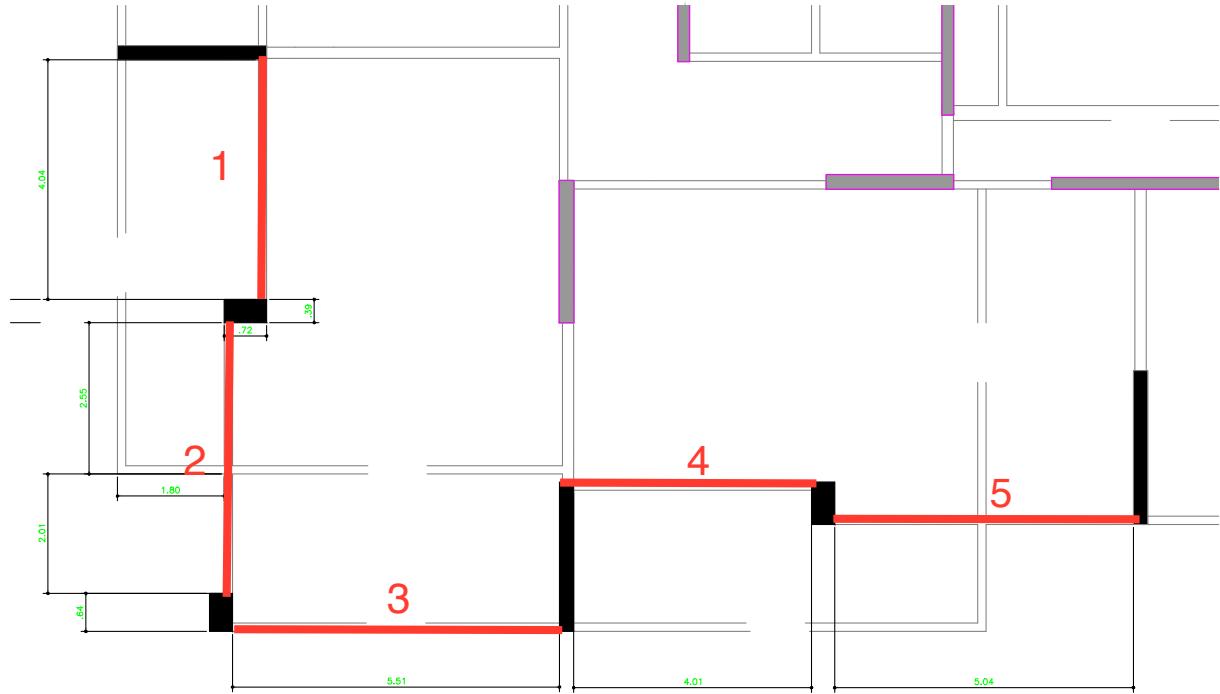


Tabela 5.2 - Estimativa da quantidade de montantes para um pavimento

Trecho	Distância entre pilares (m)	Quantidades para cada espaçamento		
		300 mm	400 mm	600 mm
1	4,04	15	12	8
2	4,56	17	13	9
3	5,51	20	15	11
4	4,01	15	12	8
5	5,04	18	14	10
Total em 1/4 de pavimento		85	66	46
Total no pavimento		340	264	184

Tabela 5.3 - Área total de aço em um pavimento

Espaçamento (mm)	Perfil Montante			Área seção (mm ²)	Total de Montantes	Área Total de aço (mm ²)
	L (mm)	C (mm)	E (mm)			
300	90	50	0.8	150,7	340	51.245
400	90	50	0.8	150,7	264	39.790
600	120	50	0.8	174,7	184	32.148

Conclui-se, portanto, que a combinação entre perfis CW 120/50/0,80, com espaçamentos de 600 mm, resultará em uma situação mais econômica, visto que consumirá uma menor quantidade de aço, além de requerer menor quantidade de mão de obra por ter menos perfis montantes a serem instalados.

5.2.2. Escolha de placas e determinação da espessura da parede

Definida a configuração de perfis montantes de *steel frame* a ser utilizada no pavimento, foi necessário fazer a escolha das placas utilizadas como fechamento interno e externo, além de considerar os revestimentos finais a serem aplicados em cada face, de modo a se determinar a espessura final da vedação vertical. Essa verificação é necessária para que se comprove o atendimento às exigências de desempenho do sistema, expressas no Capítulo 3, e determinação de tolerâncias máximas para eventuais desvios de prumo na construção.

As avaliações de segurança estrutural, estanqueidade e de desempenho térmico e acústico realizadas para o sistema Knauf Aquapanel foram realizadas considerando um sistema composto por perfis de aço de dimensões 90 mm x 80 mm x 0,80 mm, com fechamento interno com uma chapa de gesso acartonado de 12,5 mm e fechamento externo com uma placa cimentícia de 12,5 mm. Entre as placas, foi posicionada uma camada de lã de rocha de espessura de 100 mm e densidade de 49 kg/m³, bem como revestimento *basecoat* de 7 mm (TESIS, 2014).

Porém, o Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo (2011) exige para edifícios residenciais com altura de 30 a 120 m um valor de Tempo Requerido de Resistência ao Fogo do elemento de fachada de no mínimo 120 minutos (Quadro 3.6). De acordo com a avaliação elaborada pela TESIS (2014), para se obter esse valor, devem ser utilizadas duas chapas de gesso acartonado do tipo RF, que possibilita o atendimento ao tempo de resistência ao fogo de 120 minutos.

Portanto, para o edifício *Le Champ*, ao se utilizar o sistema Fachada Leve, utilizou-se no estudo uma composição de parede com duas chapas de gesso acartonado de 12,5 mm, perfis *steel frame* de 120 mm de largura, uma placa cimentícia de espessura 12,5 mm, revestimento *basecoat* de 7 mm, além de camada intermediária de isolamento

térmico de 120 mm (para preenchimento da cavidade entre placas internas e externas). Essa configuração resulta em um painel de espessura total de 16,5 cm aproximadamente.

Determinados os componentes a serem utilizados, pode-se fazer uma comparação em termos de densidade superficial, em kg/m², entre a vedação vertical com o sistema Fachada Leve e a vedação proposta originalmente no empreendimento.

De acordo com os projetos de arquitetura, o edifício *Le Champ* foi concebido com fachadas compostas por blocos cerâmicos de 14 cm de espessura, argamassa de revestimento de 3 cm na face externa e revestimento interno em gesso liso, com espessura aproximada de 1 cm. A Tabela 5.4 traz uma estimativa de densidade superficial para essa composição, com base em dados de massa específica aparente, obtidos da norma ABNT NBR 6120:1980.

Tabela 5.4 - Estimativa da densidade superficial da vedação em alvenaria de blocos cerâmicos.

Componente	e (m)	Massa Específica (kg/m³)	Densidade Superficial (kg/m²)
Argamassa	0,03	2100	63
Tijolos Cerâmicos	0,14	1300	182
Argamassa Gesso	0,02	1250	25
Total			270

Na Tabela 5.5 apresenta-se o cálculo realizado para o sistema Fachada Leve. Os dados de massa específica para os componentes utilizados foram obtidos do Relatório Técnico de Avaliação do sistema Knauf Aquapanel (TESIS, 2014), o qual foi baseado em ensaios de avaliação de conformidade dos componentes realizados pela mesma instituição avaliadora.

Tabela 5.5 – Estimativa da densidade superficial da Fachada Leve.

Componente	e (mm)	Massa Específica (kg/m³)	Densidade superficial (kg/m²)
<i>Basecoat</i>	7,0	1320	9,2
Placa Cimentícia	12,5	1130	14,1
Lã de Rocha	120,0	50	6,0
Montante	0,8	7850	1,4
Gesso Acartonado	25,0	960	24,0
Total			54,7

Fonte: TESIS, 2014.

A respeito do cálculo da densidade superficial para a Fachada Leve, observa-se que:

- Foi considerado o uso de isolamento termoacústico em lã de rocha, de densidade 50 kg/m^3 , mesmo sistema utilizado para aprovação nos ensaios de desempenho térmico e acústico;
- Para o cálculo da densidade superficial dos montantes, considerou-se a massa específica (kg/m^3) de chapas laminadas a frio, informada pela empresa ArcelorMittal (2010), e que possui mesmo valor fornecido pela ABNT NBR 6120:1980. Calculou-se a área transversal do perfil, e qual seria sua massa considerando 1 m de altura de perfil. Com o espaçamento de 1 montante a cada 600 mm, tem-se que “existem” 1,67 montantes a cada metro de comprimento de fachada;
- Contabilizou-se diretamente as duas chapas em gesso acartonado de 12,5 mm como uma única de 25 mm.

Verifica-se, portanto, que, ao se comparar diretamente os resultados de densidade superficial, o sistema Fachada Leve representa cerca de 20% da massa por m^2 de fachada em relação ao sistema tradicional. Porém, essa análise não considerou a influência da massa de elementos da estrutura na fachada, como vigas e lajes, nem as eventuais alterações na estrutura para melhor uso do sistema Fachada Leve, como será analisado adiante.

5.3. ALTERAÇÕES NA ESTRUTURA DO EDIFÍCIO

5.3.1. Descrição da Concepção Original

Antes de se propor as alterações na estrutura, necessárias para se utilizar o sistema Fachada Leve com maior eficiência, faz-se uma breve descrição da condição original. A Figura 5.4 traz uma reprodução do projeto de fôrmas original do pavimento tipo do edifício *Le Champ*.

A estrutura do edifício conta com 32 pilares, 44 vigas e 28 lajes. O esquema estrutural adotado contempla quatro pórticos na direção do eixo Y. Essa concepção age como contraventamento da estrutura principal nessa direção. O contraventamento da estrutura na direção X é dado pelos pilares centrais próximos à caixa de escada e pelos pilares dos terraços, além das vigas que os unem.

Na direção Y, são três diferentes concepções de pórticos (dois pórticos são simetricamente opostos). Paralelo à fachada do edifício, o pórtico 1 é composto pelos pilares P1 e P26 (39 x 64 cm), P8 e P19 (39 x 71,5 cm), e P17 (251,5 x 24 cm), além das vigas V24, V25 e V26, todas com largura de 14 cm e altura de 63 cm.

O pórtico 2 é formado pelos pilares P2 e P27 (24 x 251,5 cm) e P9 e P20 (24 x 239 cm) e pela viga V27, com largura de 19 cm e altura de 63 cm.

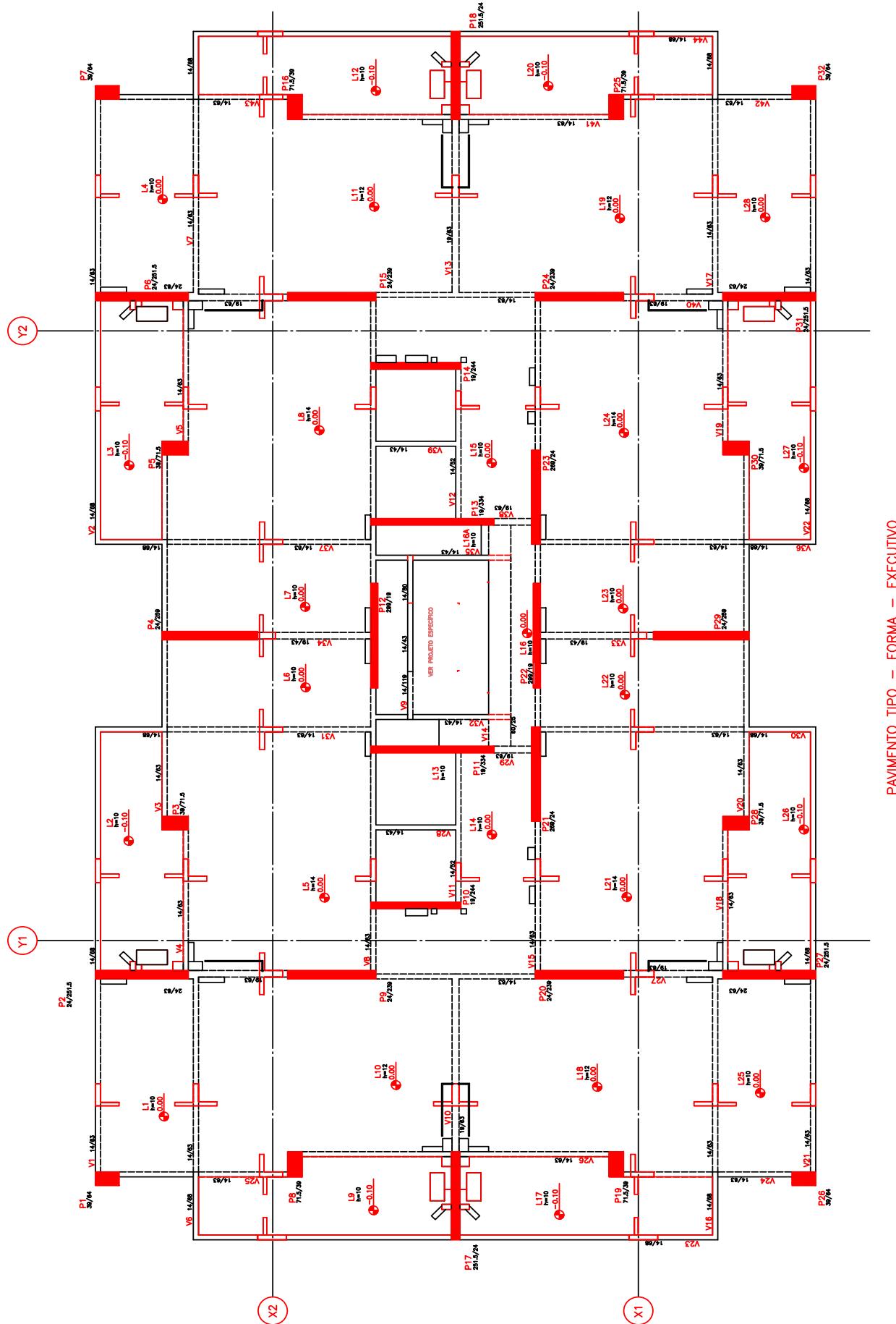
Na Tabela 5.6 sumarizam-se os quantitativos relativos aos pilares, lajes e vigas existentes na concepção estrutural original do edifício *Le Champ*. É feito também um cálculo da espessura média de concreto por pavimento, ao se somar os volumes de todos os elementos e dividir o resultado pela área de lajes.

Tabela 5.6 – Quantitativos da estrutura original e cálculo da espessura média.

Elementos	Quantidade	Volume de Concreto (m³)
Vigas	44	27,30
Lajes	28	62,00
Pilares	32	43,20
Volume Total (m³)		132,50
Área de Lajes (m²)		529,08
Espessura média (m)		0,25

Fonte: Cyrela, 2015.

Figura 5.4 - Estrutura do Pavimento Tipo. Projeto de Formas. Reprodução.



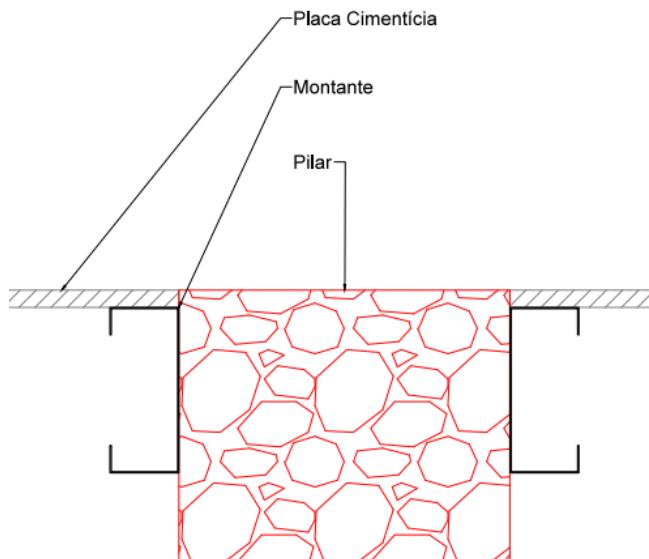
Como o projeto foi concebido originalmente para uso de vedações internas e externas em alvenaria de blocos, todas as vigas internas e externas possuem espessuras de 14 ou 19 cm, além de todas as vigas internas às unidades possuírem altura de 63 cm.

As lajes internas possuem espessuras de 10, 12 e 14 cm. Todas as lajes dos terraços possuem espessuras de 10 cm, estando rebaixadas em 10 cm com relação à laje da sala de estar.

5.3.2. Nova Concepção Estrutural

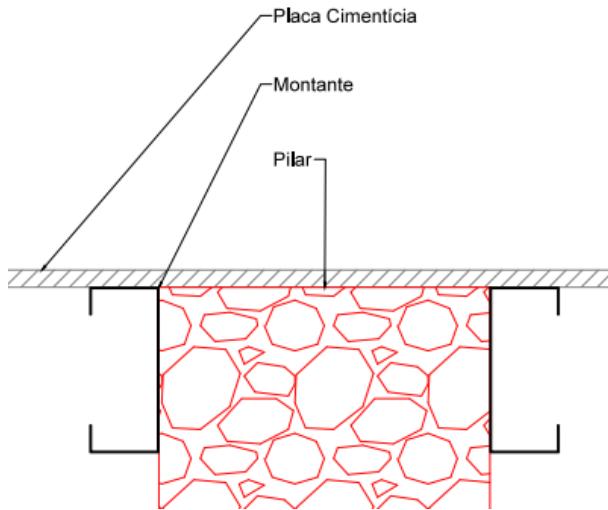
Conforme relatado no Capítulo 4, ao se optar pelo sistema Fachada Leve como solução de vedação vertical externa, as principais alterações a serem realizadas na estrutura de um edifício é a utilização de estrutura em lajes planas, com ausência de vigas de borda, e a opção do uso de uma das duas soluções de pilares apresentadas – ou considerando pilares alinhados à laje, ou o pilar recuado. No primeiro caso, há a junção da Fachada Leve com a face do pilar (Figura 5.5). No segundo caso, há a possibilidade de se ter a formação de um pano contínuo de fachada (Figura 5.6).

Figura 5.5 - Junção da Fachada Leve com Pilar - esquema.



Fonte: Os Autores, 2015

Figura 5.6 - Fachada Leve formando pano contínuo – esquema.



Fonte: Os Autores, 2015

Porém, não faz sentido utilizar um sistema de vedação vertical externa com componentes industrializados, que levam a uma maior velocidade de execução e ganhos em termos de sustentabilidade, se não for utilizada solução semelhante para as divisórias internas. Assim, sugere-se também neste estudo a substituição das divisórias internas em alvenaria de blocos por vedações em *drywall*: divisórias estruturadas em *steel frame* com fechamento em chapas de gesso acartonado.

Ao substituir o tipo de divisória interna, as vigas internas da estrutura principal também não deverão existir. Assim, propõe-se a utilização de estrutura horizontal em laje plana contínua, de mesma espessura, em todo o pavimento tipo.

Em contrapartida, ao se optar pela remoção das vigas da estrutura e pela substituição de todas as vedações por sistemas leves, há a descaracterização da estrutura em pórticos, originalmente pensada, o que pode levar à perda de estabilidade do edifício em relação à ação de cargas laterais.

Outra implicação importante que a remoção das vigas traz é que os pilares necessitarão receber maiores quantidades de aço para armadura, uma vez que recebem cargas diretamente das lajes, não havendo vigas para auxiliar na sustentação (EDITORAL PINI, 2013).

Para que se pudesse bem entender as principais alterações na concepção estrutural do edifício, foi realizada uma entrevista com o Engenheiro Reinaldo Kaizuka¹¹, projetista estrutural na empresa França & Associados. De acordo com Kaizuka (2015), a concepção proposta na Figura 5.7 é capaz de promover estabilidade lateral ao edifício. Essa estrutura proposta garante a segurança estrutural desde que seja dimensionada corretamente, em termos de definição de armaduras e de escolha de concreto. O dimensionamento da estrutura proposta, porém, não faz parte do escopo deste trabalho.

A primeira alteração importante no projeto estrutural é a substituição dos pilares que inicialmente compunham o segundo pótico na direção Y (P2, P9, P20 e P27; P6, P15, P24 e P31) por duas paredes estruturais, de comprimento de 7,60 m e largura igual à original de 24 cm. As duas paredes, com sua rigidez maior na direção do eixo Y, possibilitará a estabilidade estrutural da edificação nessa direção, suprindo a ausência das vigas. Ao serem projetadas, não houveram interferências com os rasgos nas lajes que receberão a passagem de prumadas nos *shafts* adjacentes.

Um possível entrave para essa solução das paredes (que de fato são pilares parede) é que elas farão a divisória entre os dois banheiros de uma unidade com a cozinha de outra unidade habitacional, em locais onde existem pias e vasos sanitários, indicado na Figura 5.7 e observado na

Figura 5.8. Dessa maneira, as instalações hidrossanitárias desses ambientes não poderão ser embutidas na parede, devendo ser passadas por fora e cobertas com chapas de gesso acartonado.

¹¹ Entrevista feita pelos autores com o Eng. Reinaldo Kaizuka, projetista estrutural na empresa França & Associados, em 02/10/2015.

Figura 5.7 - Nova Concepção Estrutural de acordo com Eng. Reinaldo Kaizuka.

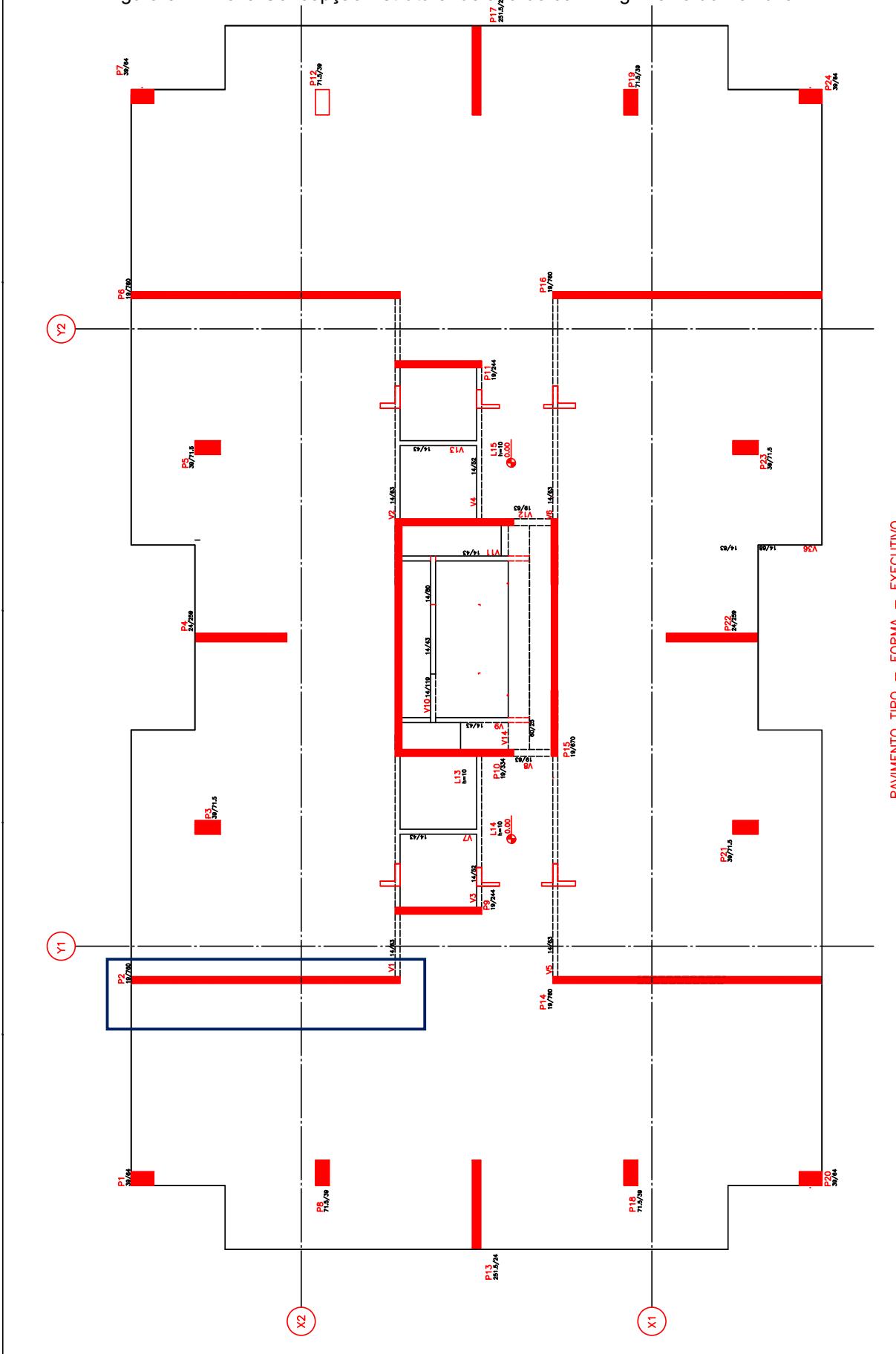
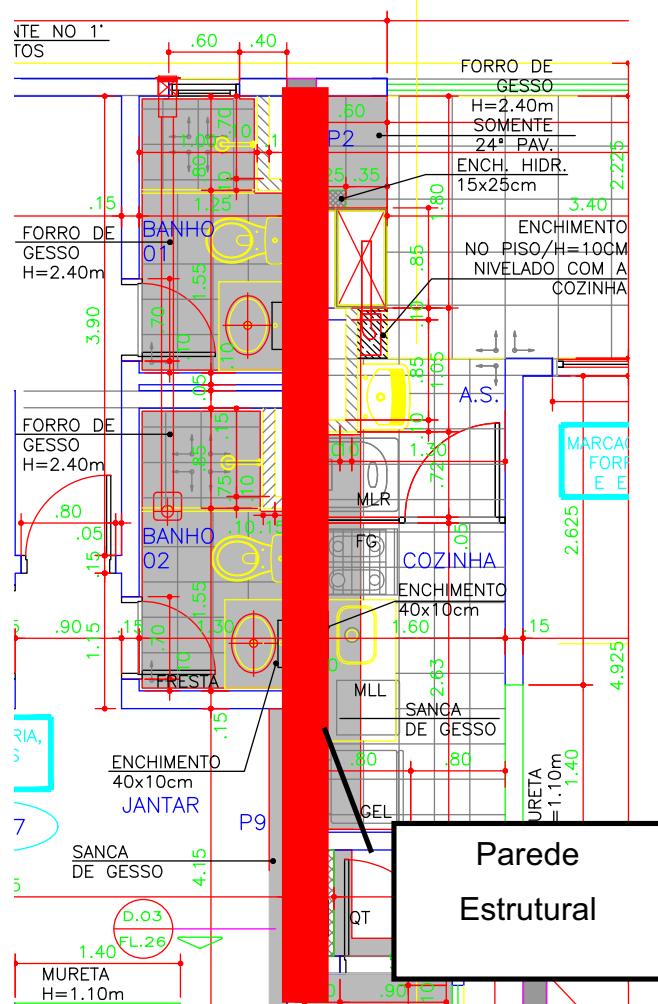


Figura 5.8 - Parede estrutural proposta e instalações de banheiros e cozinhas.



Para possibilitar a estabilidade na direção X, foi proposto o envolvimento da caixa da escada com paredes maciças de concreto também. Além disso, foram mantidas as vigas na área comum, nas caixas dos elevadores e na caixa da escada, todas com as mesmas larguras iniciais.

5.3.3. Lajes

Ao se remover as vigas da estrutura e optar pela utilização de lajes planas, houve a necessidade da alteração da espessura da laje a ser utilizada. A ABNT NBR 15.200:2004 impõe dimensões mínimas ao projeto de elementos estruturais em situação de incêndio, conforme o tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF). Para lajes lisas ou cogumelo e TRRF igual a 120 min, conforme imposto pelo Corpo de

Bombeiros de São Paulo (2011), a norma estabelece uma espessura mínima de 20 cm de laje.

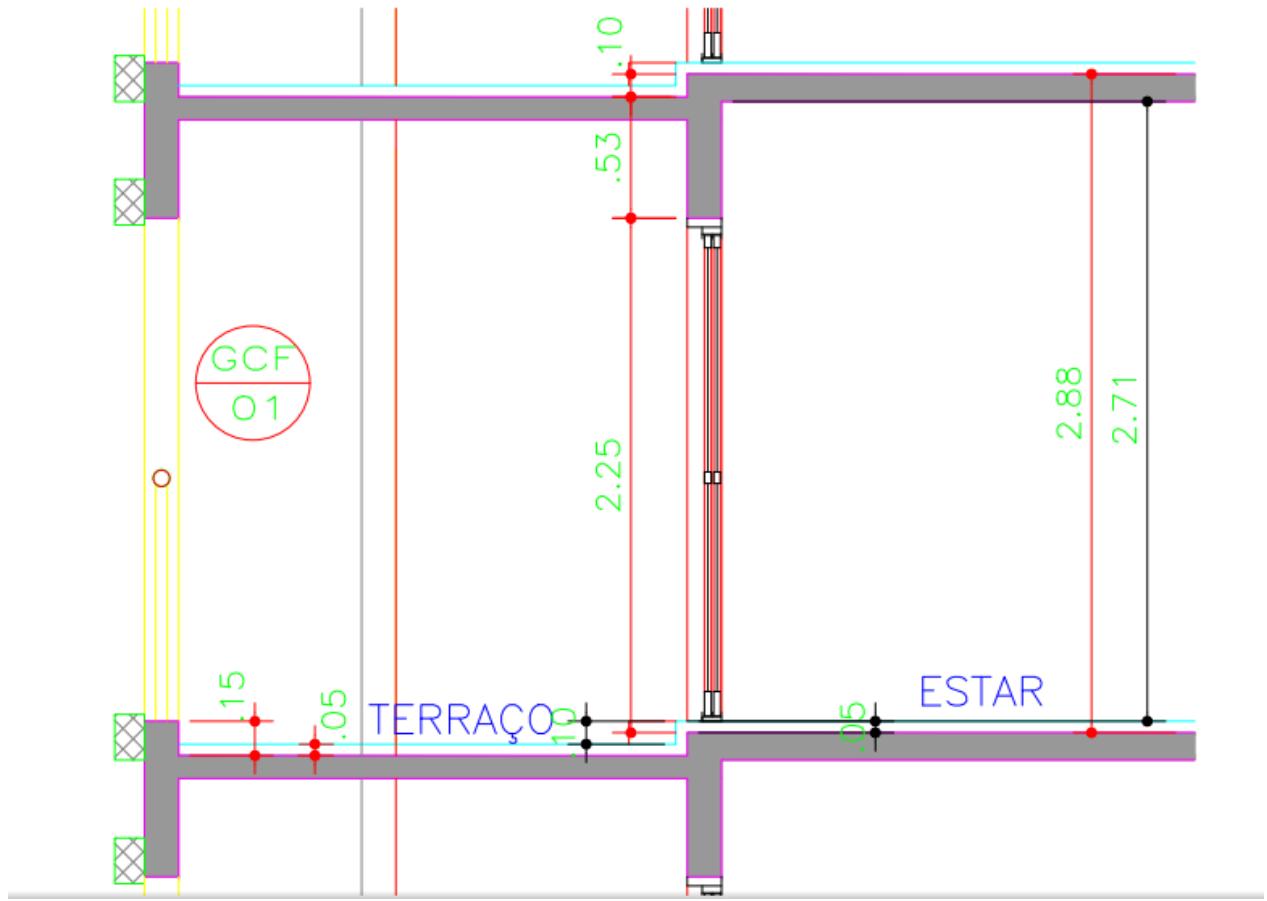
Ao se retirar as vigas e ao se utilizar lajes planas com maior espessura no edifício há duas implicações. A primeira delas é que as lajes dos terraços, inicialmente concebidas com um rebaixo de 10 cm com relação às lajes das salas de estar, estarão niveladas aos demais ambientes, por não haver uma viga entre esses dois ambientes que receba a carga do terraço desnivelada. Portanto, eventuais desníveis e separação de ambientes deverão ser concebidos pela alteração na espessura de contrapisos e pela utilização de elementos como baguetes e soleiras.

A segunda implicação afeta a redefinição da distância piso a piso do pavimento. A estrutura original do edifício contempla lajes de 10, 12 e 14 cm de espessura, enquanto que nesse estudo foram adotadas lajes planas de 20 cm. Para que fosse mantido o pé direito original dos ambientes de permanência prolongada, de 2,71 m, o piso a piso teve de ser aumentado para compensar a diferença de até 10 cm nas lajes.

Na definição do novo piso a piso obtido com a alteração da espessura da laje, também foram consideradas as espessuras de contrapiso e revestimentos de piso previstos no projeto.

No projeto original do edifício *Le Champ*, foi considerado o uso de contrapisos flutuantes com preparo acústico de espessura de 5 cm nas salas de estar. Utilizou-se a mesma espessura de contrapiso no terraço, para que se pudesse obter o desnível de 10 cm entre os ambientes conforme relatado anteriormente. Tal configuração de pisos é reproduzida no corte da Figura 5.9. O pé direito dos ambientes de ocupação permanente original também é observado na figura.

Figura 5.9 - Pé direito e espessuras de pisos, situação original. Vista em corte.



Fonte: Adaptado de Cyrela, 2015.

Assim, para manter a mesma configuração de pisos prevista inicialmente, ao menos nas áreas interiores, utilizou-se no novo projeto a mesma espessura de piso na sala de estar, de 5 cm. Considerou-se ainda no estudo mais 1 cm para suprir a camada de acabamento e sua técnica de fixação (por exemplo, placa cerâmica fixada sobre argamassa colante).

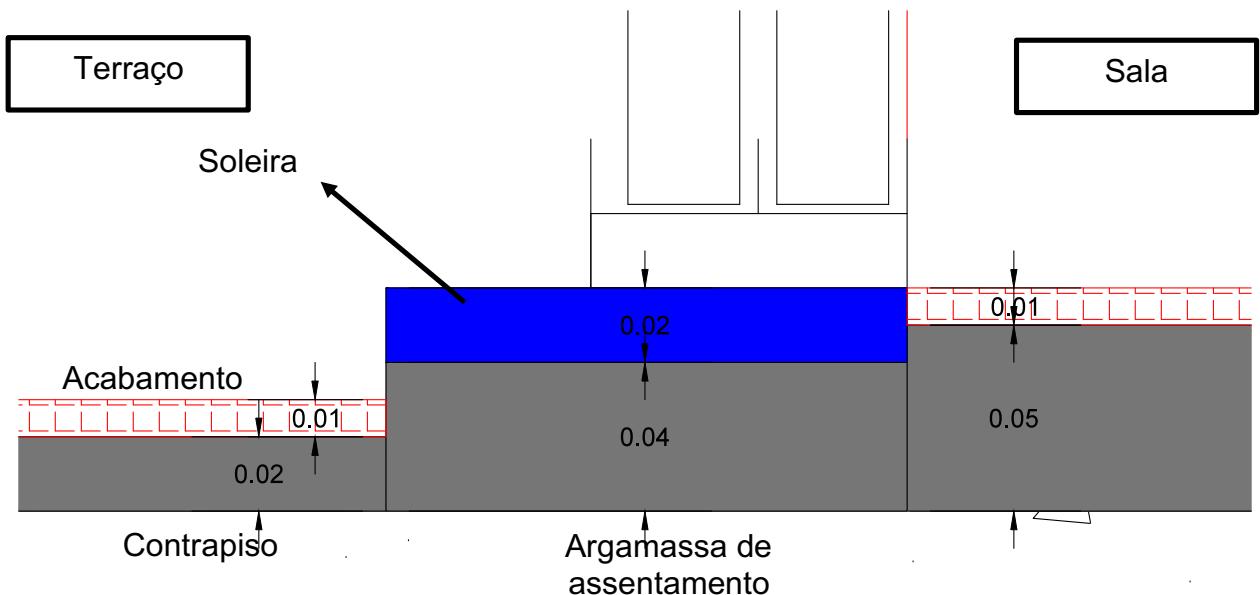
No terraço, por ser uma área aberta molhável pela água da chuva, existe a necessidade de impermeabilização da laje e sistema de piso. Optou-se pela utilização de argamassa com aditivos poliméricos acrílicos como solução para o contrapiso. Essa solução de contrapiso pode ser classificada como contrapiso aderido à laje, por não estar se utilizando nenhuma camada intermediária entre a base e a argamassa. Segundo Barros e Sabbatini (1991), a espessura mínima para utilização de contrapisos aderidos à base é de 2 cm. Dada a espessura de contrapiso do terraço, foi considerado também mais 1 cm para a camada de acabamento.

Existe agora um desnível mínimo de 3 cm entre a sala de estar e o terraço. Segundo a ABNT NBR 15.575-3:2013, “desníveis abruptos superiores a 5 mm devem ter sinalização que garanta a visibilidade do desnível, por exemplo, por mudanças de cor, testeiras, faixas de sinalização”.

Portanto, para esse desnível, sugeriu-se a utilização de elemento tipo soleira, comercializado em espessura de 2,0 cm e largura de 14 cm, que pode ser feito por materiais como mármore ou granito (LEROY MERLIN, 2015). A soleira é assentada sobre argamassa de assentamento, com polvilhamento de cimento e aspersão de água (EDITORAR PINI, 2012), e foi posicionada com sua superfície no mesmo nível da camada de acabamento interna, de forma a evitar dois desníveis entre ambientes.

Isso posto, a configuração de pisos proposta está representada esquematicamente na Figura 5.10.

Figura 5.10 - Configuração de pisos para projeto com Fachada Leve. Vista em corte.

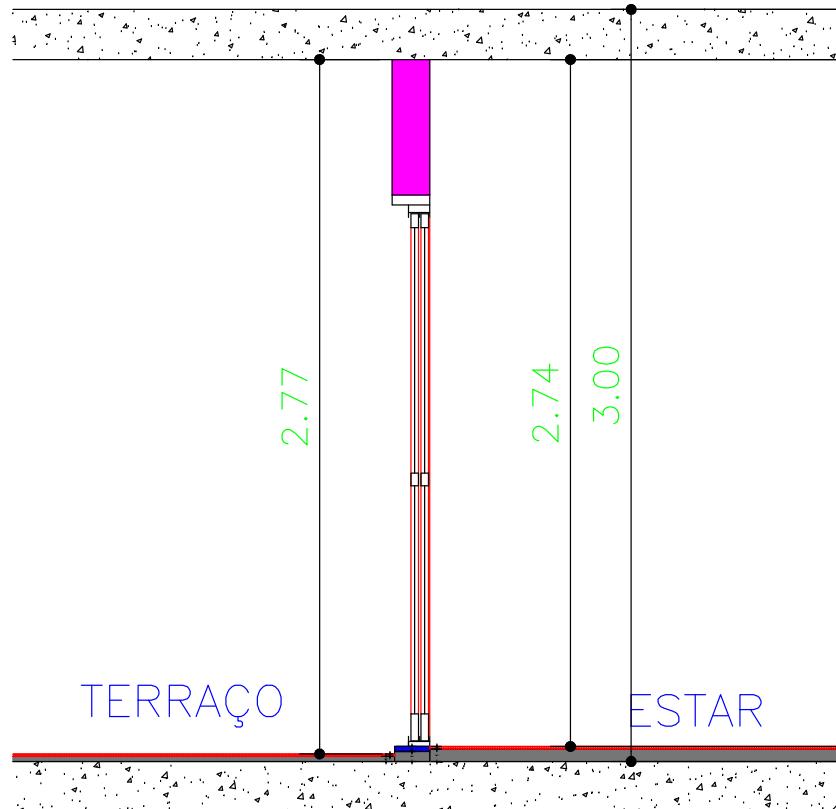


Fonte: Os Autores, 2015.

Considerando então o pé direito original de 2,71 m, mais a espessura de 6,0 cm para os revestimentos de piso internos, mais a espessura de lajes de 20 cm, chega-se a uma distância piso a piso de 2,98 m. Para maior facilidade construtiva, e também pelo fato de as placas cimentícias utilizadas serem fornecidas nas dimensões 1,20 x 2,40

m, adotou-se no estudo a distância piso a piso de 3,00 m para o projeto com Fachada Leve, exemplificado na Figura 5.11.

Figura 5.11 - Novas distâncias de pé direito e distância piso a piso.



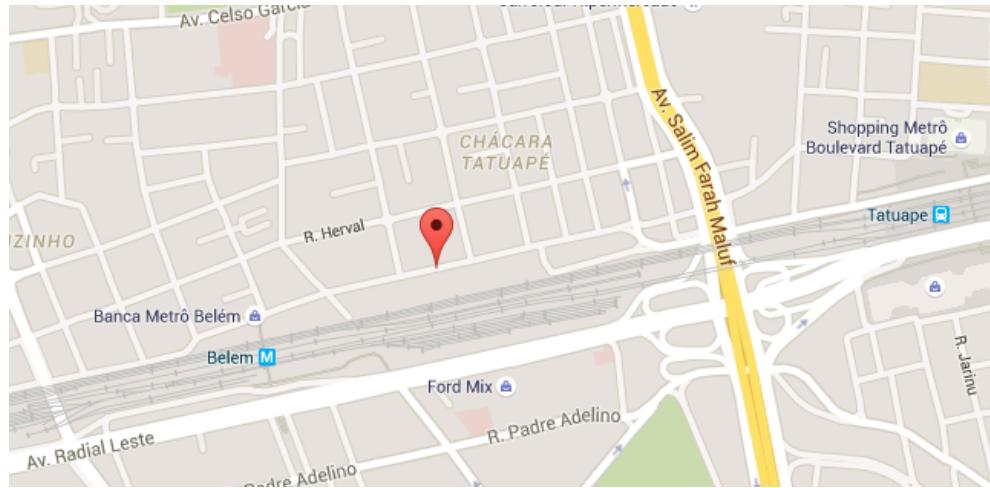
Fonte: Os Autores, 2015

Nota-se, portanto, que houve um aumento de 0,12 m na distância piso a piso do pavimento em relação à concepção original, que possuía piso a piso igual a 2,88 m. Essa alteração pode ser considerada significativa, já que, ao se multiplicar pelos 24 pavimentos da edificação, há um aumento de gabarito vertical de 2,88 m, considerando que não existam alterações nos pavimentos de garagem, térreo, lajes de lazer e barrilete.

De acordo com o Mapa 02 do novo Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, Lei Municipal No 16.050 de 31 de Julho de 2014, o empreendimento está localizado em região definida como “Macroárea de Estruturação Metropolitana”. A mesma lei institui os “Eixos de Estruturação da Transformação Urbana”, os quais são definidos pelas quadras inseridas a uma distância de 150 m de cada lado de corredores de ônibus ou a um raio de 400 m de estações de metrô e trem. De acordo

com essa definição, o empreendimento *Le Champ* se enquadra em região compreendida pelo eixos, conforme visto na Figura 5.12 e Figura 5.13.

Figura 5.12 - Localização do empreendimento *Le Champ*.



Fonte: Google Maps, Acesso em 20/10/2015.

Figura 5.13 - Eixos de Estruturação da Transformação Urbana na região do empreendimento.



Fonte: Adaptado de Mapa 3, Plano Diretor Estratégico de São Paulo, 2014.

De acordo com o Plano Diretor Estratégico (2014), nas regiões compreendidas pelos Eixos de Estruturação, impõe-se um coeficiente de aproveitamento CA máximo igual a 4,0, não havendo de gabarito de altura máximo para novas edificações. Como não está sendo proposta a alteração da área construída do edifício, o aumento do gabarito vertical da edificação não resultaria em implicações legais.

5.3.4. Pilares

O emprego da tecnologia de Fachada Leve exige uma solução que concilie a interface da Fachada Leve com os pilares da estrutura do edifício. Dentre os pilares de fachada, apenas os pilares P2, P5, P14 e P16 sofreram alterações nas suas dimensões, internamente, ao se formar as paredes estruturais internas para contraventamento.

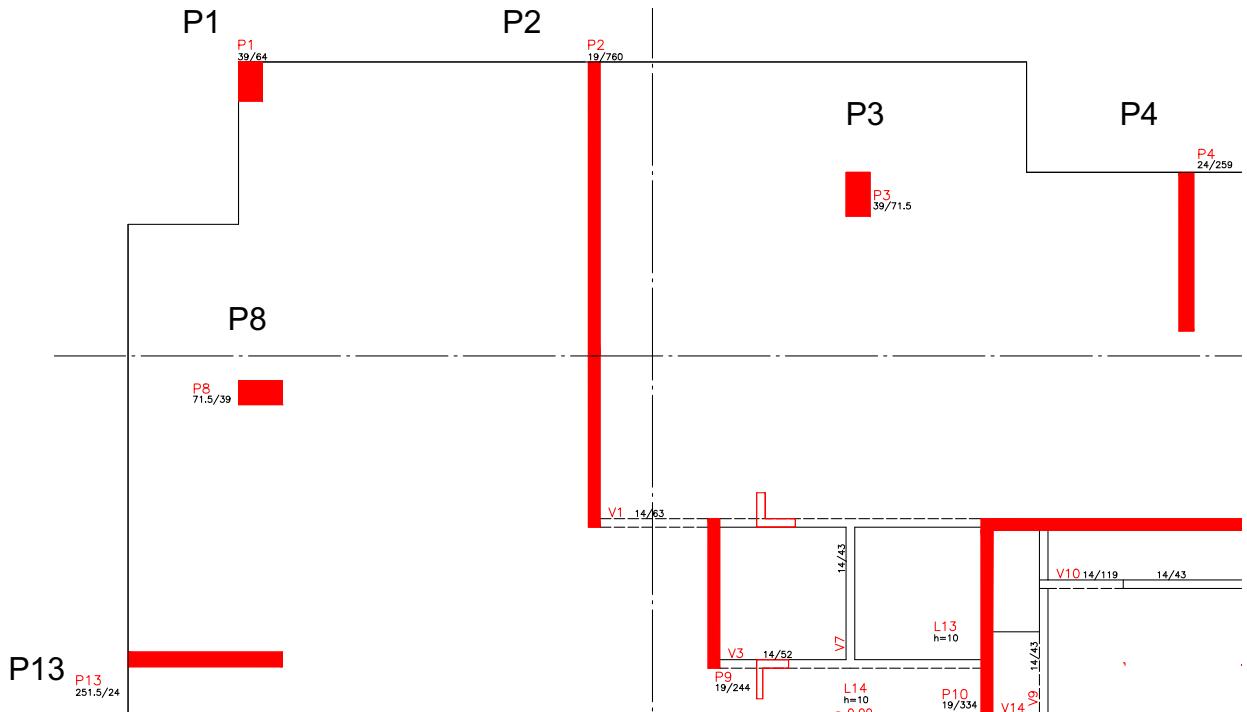
Dadas as dificuldades apresentadas no Capítulo 4, para a utilização de componentes que façam uma junta flexível entre o elemento de estrutura e a Fachada Leve (maior regularidade de prumo, manutenção da junta e aspectos visuais), adotou-se uma solução para essa interface que considere a execução de panos contínuo de fachadas. Assim, propôs-se a utilização de perfis metálicos fixados por ancoragens aos pilares para a execução da fachada.

Porém, como o edifício *Le Champ* não foi originalmente pensado para utilizar o sistema Fachada Leve como solução para a vedação vertical externa, o recuo de alguns centímetros nos pilares, para o interior da edificação, pode trazer grandes complicações, pois poderá haver a formação de desalinhamentos entre estrutura e divisórias (dentes), bem como alterações no posicionamento de esquadrias internas. Assim, propõe-se o uso dos perfis metálicos fixados aos pilares, que não serão recuados.

Essa seleção traz consigo uma implicação importante. A estrutura do edifício deverá ter uma regularidade de prumo muito grande, devendo ser tomados cuidados extras durante a etapa de produção. O desvio de prumo máximo aceitável para essa estrutura foi analisado e é apresentado na sequência.

Existem basicamente dois tipos de encontros críticos entre os pilares e a Fachada Leve. Tomando proveito da simetria do edifício em dois eixos, apresentam-se na Figura 5.14 os pilares analisados. Um deles é o encontro do pilar P1, que exige fixação de placas em duas direções (está localizado na quina da laje), e o encontro do pilar P2, cuja solução também pode ser repetida para o pilar P4. A solução para os pilares P3, P8 e P13 pode ser semelhante às duas soluções antes identificadas, pois estão localizados nos terraços, e terão sua construção facilitada.

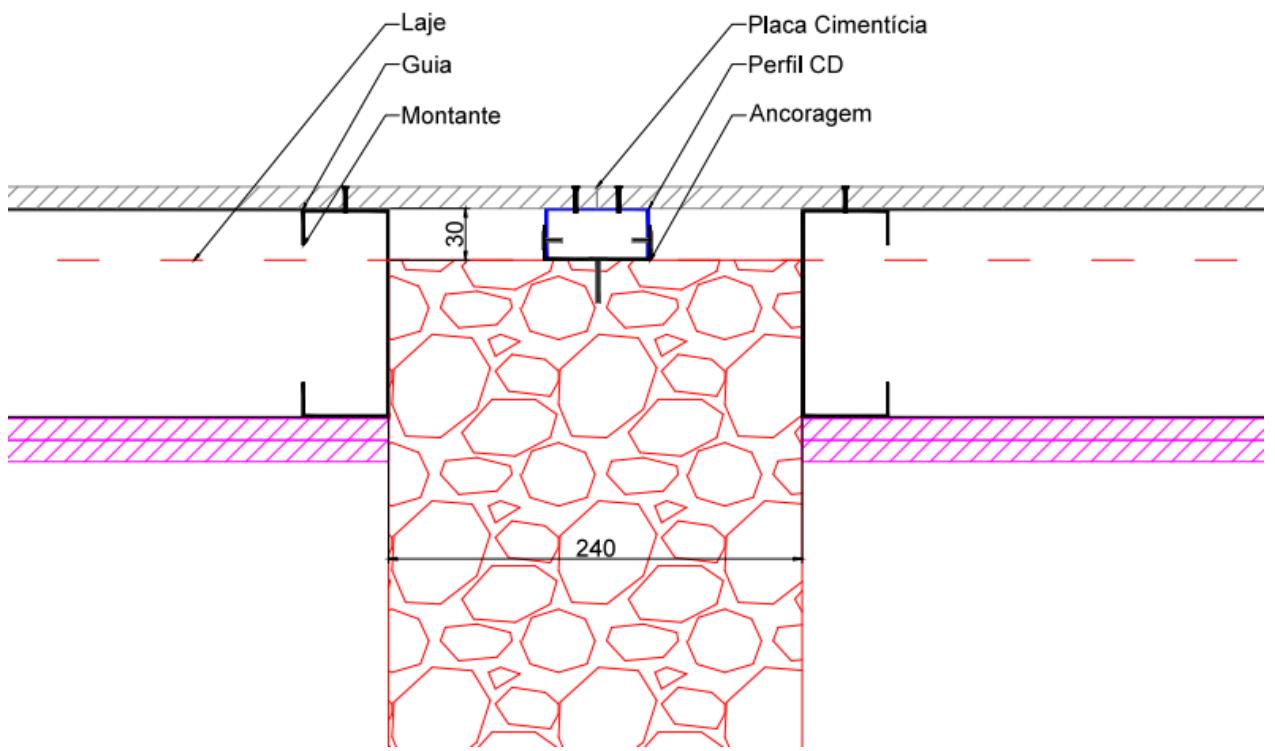
Figura 5.14 - Pilares Analisados.



Fonte: Os Autores, 2015.

A solução adotada para o pilar P4 pode ser observada na Figura 5.15. É possível observar o posicionamento das guias e montantes com relação à extremidade da laje. Como é utilizado um perfil CD com ancoragem metálica fixada ao pilar, resultando em uma composição de 30 mm de largura total, as guias devem ser instaladas com um balanço correspondente a 30 mm. Sabendo-se que é possível instalar as guias com um balanço máximo de até 1/3 de sua largura, existem ainda 10 mm de “folga”. Essa folga corresponde, portanto, ao desvio máximo de prumo que a estrutura do edifício pode ter após sua execução.

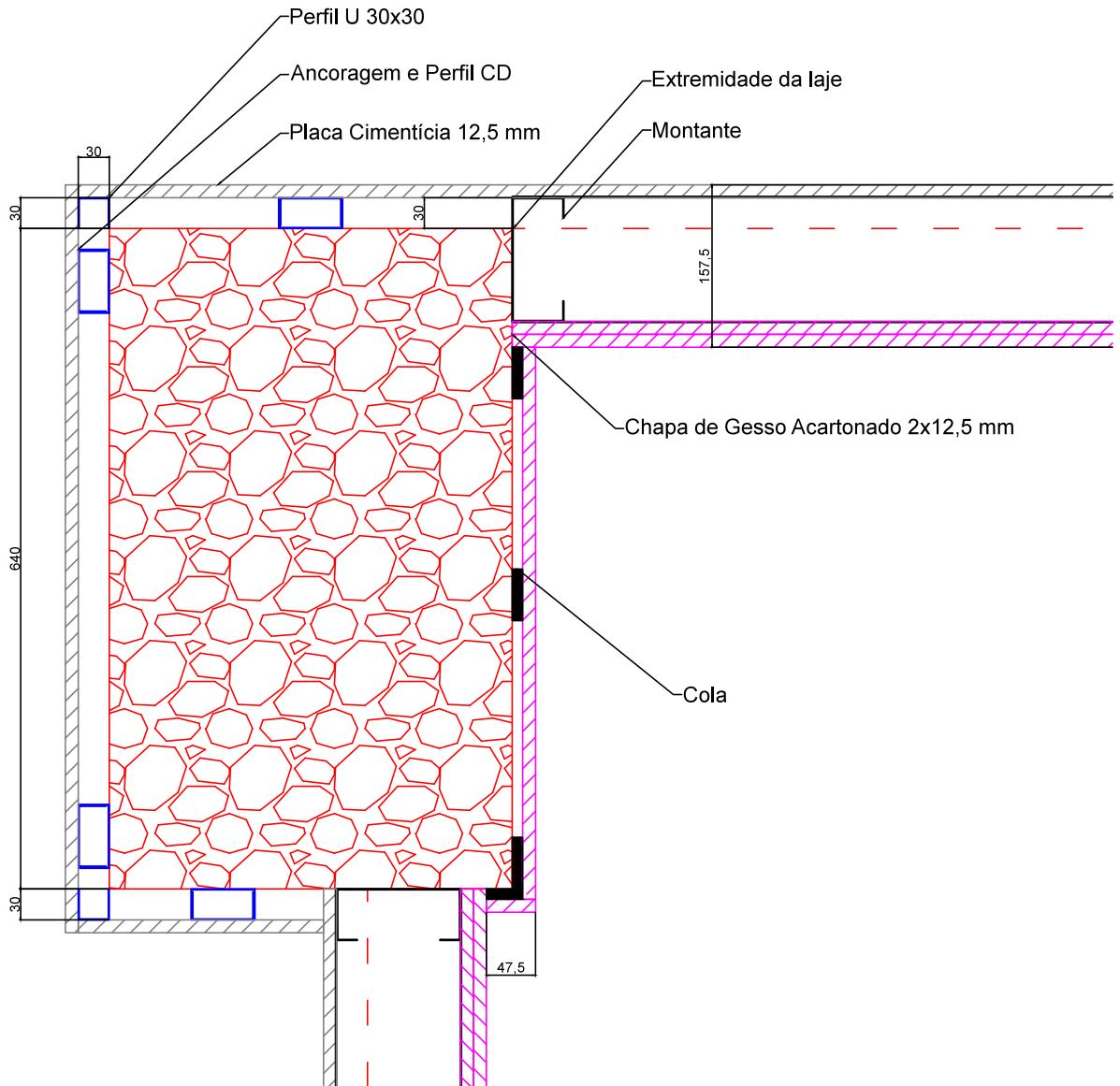
Figura 5.15 – Pilar P4 e solução de Fachada Leve. Vista em Planta. Dimensões em milímetros.



Fonte: Os Autores, 2015.

Para o pilar P1, chegou-se a duas possíveis soluções. A primeira solução, observada na Figura 5.16, considera a utilização de uma única linha de perfis montantes para a Fachada Leve no encontro com o pilar. Nessa solução, há a formação de um dente interno ao ambiente, de 42,5 mm de espessura aproximadamente. Para o revestimento interno do pilar, pode-se fixar uma chapa de gesso acartonado a cada face do pilar, com uso de massa para colagem à base de gesso, com espessura de 10 mm. Conforme determinação do fabricante Knauf (2014), a camada de massa para colagem não deve possuir espessura superior a 25 mm.

Figura 5.16 - Pilar P1, Solução 1. Vista em Planta. Dimensões em milímetros.

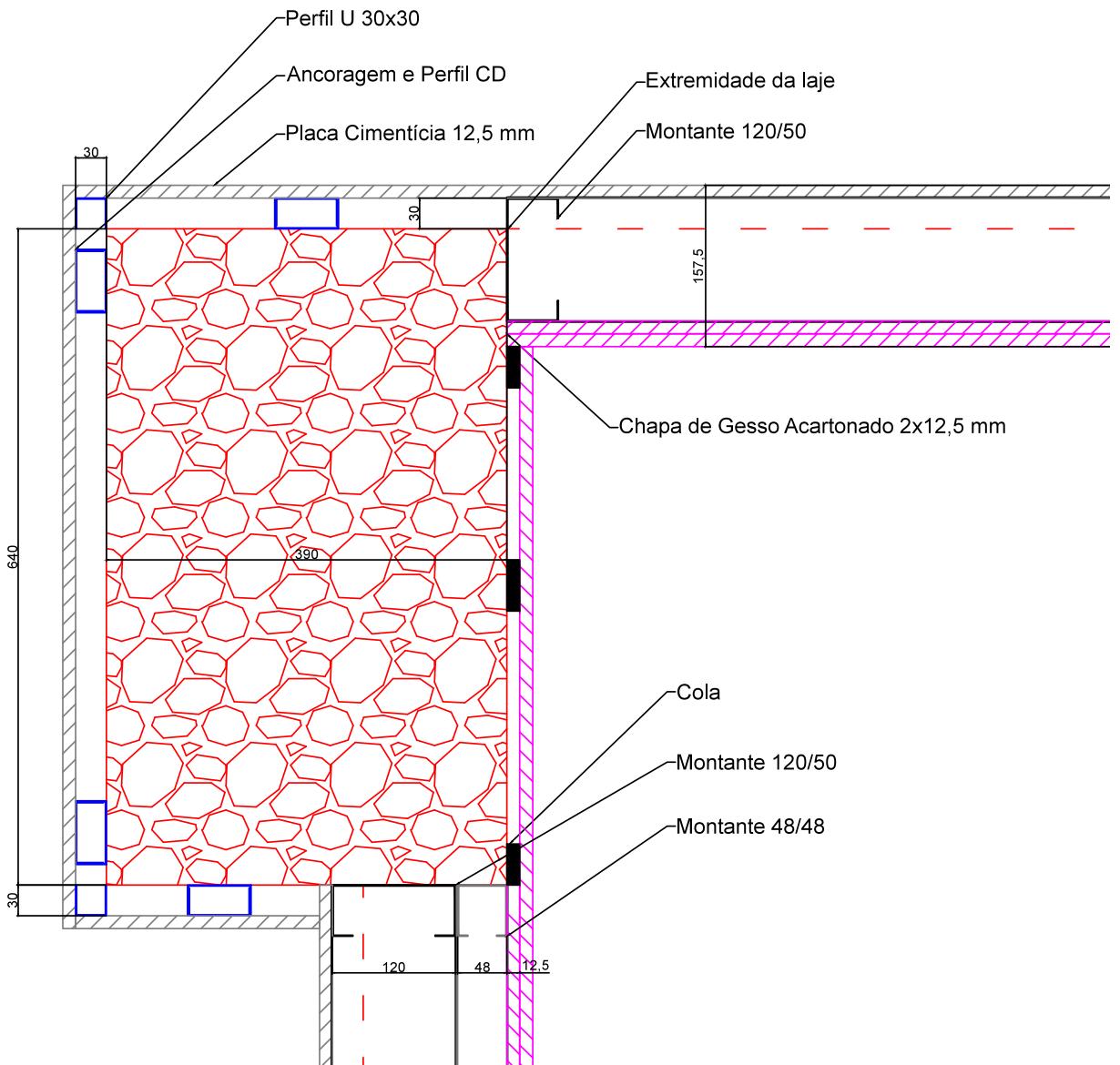


Fonte: Os Autores, 2015.

Na Solução 2, apresentada na Figura 5.17, utilizam-se duas linhas de perfis montantes apenas na direção paralela à maior dimensão do pilar. Utiliza-se o menor perfil disponível para instalações de divisórias em gesso acartonado, 48/48/0,50, associado ao perfil 120/50/0,80 utilizado nos demais locais da fachada. Essa composição pode ser utilizada apenas para o fechamento deste ambiente, até que o pano da Fachada Leve “encontre” a divisória interna que faz a separação da suíte com o dormitório adjacente. Nessa solução, evita-se a formação de dente interno ao ambiente. As duas chapas de gesso acartonado de 12,5 mm são fixadas sobre os montantes, até o encontro com o pilar. O pilar é revestido com a continuação da chapa de gesso

acartonado mais interna ao ambiente, fixada com o auxílio de uma camada de 12,5 mm de massa para colagem a base de gesso.

Figura 5.17 - Pilar P1, Solução 2. Vista em Planta. Dimensões em milímetros



Fonte: Os Autores, 2015.

Em ambas as soluções elaboradas para o encontro com o Pilar P1 existem encontros em 90° de placas cimentícias na face externa. Para tais encontros, Medeiros *et. al* (2014) recomendam a instalação de reforço, que pode ser um perfil metálico tipo “U”, de modo a permitir a inserção de parafusos das placas em direções perpendiculares. O fabricante Knauf (2014) fornece perfis U com dimensões 30 x 30 mm, permitindo o

encaixe das placas com o vão deixado pela instalação da ancoragem com os perfis CD.

Assim como na solução adotada para o pilar P4, são utilizadas as ancoragens metálicas fixadas aos pilares e perfis CD para fixação das placas cimentícias aos pilares. Do mesmo modo, as guias são instaladas com um balanço de 30 mm com relação à extremidade da laje.

5.3.5. Possível Redução/ganho em cargas nas fundações

Definida a nova concepção estrutural e nova distância piso a piso, é possível fazer uma comparação entre as massas dos sistemas de vedação vertical externa (tradicional e Fachada Leve) e da estrutura. Inicialmente, na Tabela 5.7, é feita uma estimativa dos quantitativos de concreto a serem utilizados na nova concepção da estrutura do pavimento tipo. Na Tabela 5.8 compara-se a estimativa obtida com os valores previstos no projeto original. Considerou-se como massa específica do concreto o valor de 2.400 kg/m³, encontrado na ABNT NBR 6120:2013.

Tabela 5.7 - Quantitativos de Volume de concreto para a estrutura e espessura média, com uso de Fachada Leve

Lajes	Área (m ²)	Espessura (m)	Volume (m ³)
	529,08	0,20	105,80
Vigas	Área Transversal (m ²)	Comprimento Total (m)	Volume (m ³)
	0,09	47,00	4,10
Pilares	Área (m ²)	Pé Direito (m)	Volume (m ³)
	16,12	2,80	45,10
Volume Total (m³)			155,10
Área de Lajes (m²)			529,08
Espessura Média (m)			0,29

Tabela 5.8 – Comparação de volumes de concreto e massas entre as duas concepções estruturais.

Elemento	Estrutura Original (m ³ /pav)	Estrutura Fachada Leve (m ³ /pav)	Variação (%)
Lajes	62,0	105,8	71%
Vigas	27,3	4,1	-85%
Pilares	43,2	45,1	5%
Total (m ³ /pav)	132,5	155,1	17%
Massa total/pavimento (tf/pav)	318,0	372,3	17%

Apesar de a maioria das vigas terem sido eliminadas, houve um ganho na massa da estrutura em um pavimento, uma vez que houve a necessidade de se dobrar a espessura das lajes.

Assim, foi feita uma estimativa da massa total presente em um pavimento, considerando tanto a influência das alterações na estrutura quanto das vedações externas. Essa estimativa, apresentada na Tabela 5.9, envolve a carga que é transmitida às fundações e eventuais ganhos ou reduções podem representar diferenças em seu dimensionamento.

Tabela 5.9 - Comparação da massa total (estrutura + vedação externa) em um pavimento.

	Projeto original	Projeto com Fachada Leve	Variação (%)
Perímetro de fachada (m)		114,85	-
Altura da vedação (m)	2,25	2,80	-
Densidade superficial vedação (kg/m ²)	270,00	54,73	-80%
Massa total Vedação (kg/pav)	69771,38	17598,68	-75%
Massa total Estrutura (kg/pav)	318000,00	372265,25	17%
Massa total Estrutura + Vedaçāo (tf/pav)	387,77	389,86	1%

Observa-se, portanto, que, apesar de o sistema Fachada Leve representar cerca de 20% do peso do sistema de vedação tradicional, se considerado no cálculo a alteração exigida na estrutura ocorre um aumento de cerca de 1% na massa total do edifício. Portanto, não há chances de alívio nas fundações.

Porém, para se ter uma estimativa ainda mais fiel à realidade, deve-se realizar o cálculo considerando a substituição das vedações internas, inicialmente pensadas com blocos cerâmicos e revestimentos de gesso, por divisórias internas do tipo *drywall*. Nessa hipótese, pode-se chegar a uma redução real de massa nas fundações.

Para se fazer essa estimativa, calculou-se a densidade superficial das divisórias internas, composta por blocos cerâmicos de 14 cm e revestimentos de gesso, de espessura aproximada de 1 cm em cada face, e das divisórias em *drywall*, com uma chapa de gesso acartonado em cada face, utilizando os mesmos montantes e isolamento termoacústico utilizados na fachada. Foram medidos os comprimentos total das divisórias internas às 8 unidades do pavimento do edifício. Os dados de massa específica dos materiais são os mesmos apresentados na Tabela 5.5. Os cálculos de densidade superficial das vedações internas são apresentados na Tabela 5.10, enquanto que a Tabela 5.11 traz uma estimativa do peso total em um pavimento, considerando-se as divisórias internas.

Tabela 5.10 - Estimativa de densidade superficial das divisórias internas – *Drywall* e Alvenaria de blocos.

Drywall	e (m)	Massa Específica (kg/m³)	Densidade Superficial (kg/m²)
Gesso	0,0125	960	12,0
Montante	-	-	1,4
Isolamento	0,120	50	6,0
Gesso	0,0125	960	12,0
Total			31,4
Alvenaria Interna	e (m)	Massa Específica (kg/m³)	Densidade Superficial (kg/m²)
Gesso	0,01	1250	12,5
Bloco	0,14	1300	182,0
Gesso	0,01	1250	12,5
Total			207,0

Tabela 5.11 - Comparaçāo da massa total (estrutura, vedação externa e divisória interna) em um pavimento.

	Projeto Original	Projeto com Fachada Leve	Variaçāo (%)
Altura da vedação (m)	2,25	2,80	-
Comprimento total das divisórias internas (m)		236,48	-
Densidade Divisória Interna (kg/m ²)	207,00	31,40	-85%
Massa total Vedação Externa (tf/pav)	66,54	17,60	-74%
Massa total divisória interna (tf/pav)	110,14	20,79	-81%
Massa total Estrutura (tf/pav)	318,00	372,27	17%
Massa total Estrutura + Vedação Interna e Externa (tf/pav)	494,68	410,66	-17%

Verifica-se, portanto, que apesar de se reduzir consideravelmente a massa de materiais e componentes instalados na vedação vertical externa, ela por si só acaba não representando uma redução efetiva da massa construída. Para que o sistema Fachada Leve seja concebido de forma mais eficiente, explorando-se seu potencial de minimização de massa construída, além de necessárias alterações na estrutura, é necessário que seja utilizada uma solução industrializada leve também para as divisórias internas, como o uso do *drywall*.

5.4. ALTERAÇĀOES NAS INSTALAÇĀOES PREDIAIS

Feita a análise da nova estrutura como proposta, é esperado um impacto nos outros sistemas. Possivelmente o que sofre maior alteração é o sistema hidrossanitário. Para entender melhor as alterações que podem ser encontradas, foi realizada uma entrevista com a Professora Lúcia Helena de Oliveira¹². Segundo Oliveira (2015), os problemas encontrados seriam principalmente devido à nova parede estrutural

¹² Entrevista feita pelos autores com a Prof. Dra. Lúcia Helena de Oliveira, professora da Escola Politécnica da USP, em 27/10/2015.

mostrada na Figura 5.8, em que devido ao espessamento desta parede o local reservado para as instalações hidrossanitárias deixa de existir, porém ainda é necessário que seja tomado cuidado para se respeitar o espaçamento mínimo para os shafts, sendo 15 cm para as instalações de esgoto, no banheiro, e de 10 cm para o da cozinha.

A solução proposta implicaria em uma redução de aproximadamente 10 cm na largura do banheiro e próximo de 5 cm na cozinha, o que causaria um leve impacto na arquitetura, a tubulação pode ser levada até os shafts por uma carenagem hidráulica, como mostra a Figura 5.18.

Figura 5.18 – Carenagem de plástico.



Fonte: EDITORA PINI, 2014.

Outra solução possível seria a de se fazer uma parede hidráulica em *drywall*, aproveitando o espaço do shaft existente na concepção original, como mostra a Figura 5.19. Esta proposta permite uma facilidade na manutenção, além de propiciar uma estética mais agradável.

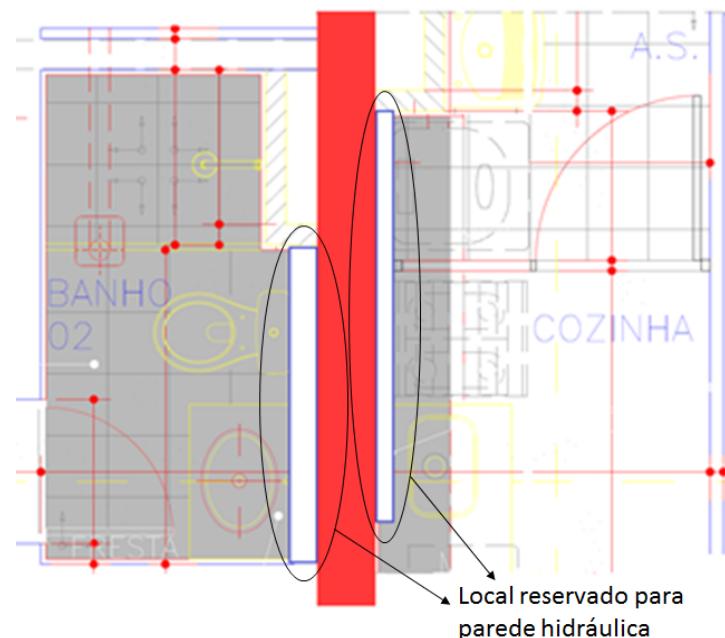
Figura 5.19 – Parede hidráulica



Fonte: EDITORA PINI, 2014.

Quaisquer impactos causados serão minimizados quando se opta pelo sistema de vedação interna em *drywall*, devido a flexibilidade deste. A pequena alteração arquitetônica imposta pelo uso da parede hidráulica é representado na Figura 5.20 (parede estrutural representada em vermelho, assim como na Figura 5.8).

Figura 5.20 – Impactos na estrutura



Fonte: Cyrela, 2015 (modificado).

Além dos cuidados a serem tomados na vedação vertical, é preciso manter a mesma cautela com a vedação horizontal, que já existia no sistema convencional adotado. A nova concepção com emprego de laje plana conta com um aumento de 0,12 m na distância piso a piso. A norma de desempenho ABNT NBR 15.575-1:2013 prevê pé direito mínimo de 2,30 m nos ambientes como sanitários e cozinhas. De acordo com Oliveira¹², o tamanho ideal do entreforro seria de 30 cm, porém seria possível utilizar 20 cm utilizando uma caixa sifonada de dimensões menores, conforme o exemplo obtido do catálogo da Tigre (Figura 5.21)

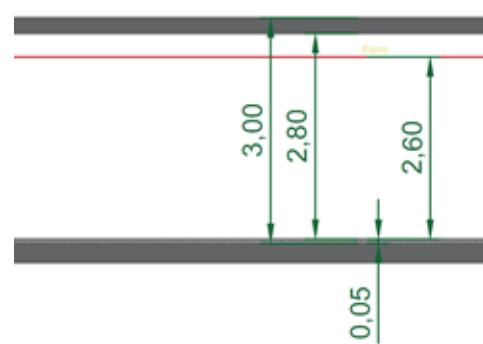
Figura 5.21 – Caixa sifonada 100x100x50



Fonte: TIGRE SA, 2015.

O ideal é manter a concepção original do forro suspenso nos banheiros, para a instalação horizontal de instalações, já que a mudança proposta por este trabalho tem por objetivo impactar o mínimo possível nos outros subsistemas do edifício. Com a redefinição da distância piso a piso para 3,00 m, ao se optar por uma distância entreforros de 20 cm, atende-se o requisito de pé direito mínimo para banheiros de 2,50 m expresso pela ABNT NBR 15.575-4:2013 (Figura 5.22).

Figura 5.22 – Corte da seção do banheiro



Fonte: Os autores, 2015.

As instalações elétricas do empreendimento são feitas no mesmo local que inicialmente foram pensadas, havendo apenas necessidade da fixação das caixas de saída aos montantes. No caso das instalações elétricas, o sistema construtivo a seco implica em muito mais facilidades do que obstáculos quando comparado ao sistema tradicional, apresenta maior flexibilidade e manutenibilidade, além de, potencialmente, gerar pouco desperdício.

Apesar dos impactos causados pela alteração da estrutura e do método construtivo, o sistema Fachada leve, assim como a estrutura em laje plana e a construção seca, oferecem diversas vantagens quando a arquitetura é pensada para a adoção destes.

5.5. PLANEJAMENTO DE EXECUÇÃO

A redução do prazo global de obra é considerada como uma das principais vantagens trazidas ao empreendimento quanto se opta pela utilização do sistema Fachada Leve, conforme relatado pelos profissionais entrevistados. Porém, para que essa vantagem seja evidenciada se faz necessário um adequado planejamento de execução que contemple as atividades de forma a buscar a redução de prazo desejada, a qual pode ser limitada tanto pelo custo a ser empregado em equipamentos como por interferências arquitetônicas e entre subsistemas.

O planejamento a ser desenvolvido para a obra deve considerar os fatores descritos no item 4.3, principalmente a definição da plataforma de trabalho externa ao edifício. Para tal, deve-se priorizar a redução do tempo de uso do equipamento de sustentação em obra, evitando-se ociosidades, e a redução do prazo global de execução da Fachada Leve.

Devido às características do edifício em análise, como o alto gabarito e a arquitetura com várias reentrâncias, o balancim se torna o melhor equipamento de sustentação que servirá de plataforma de trabalho para os operários. O alto custo e a arquitetura do edifício inviabilizariam a utilização de plataformas cremalheira ou andaimes fachadeiros na execução. A Figura 5.23 mostra a utilização de balancim em um empreendimento.

Figura 5.23 – Construção utilizando balancim na execução de revestimento de fachada tradicional



Fonte: SABATTINI, 2007.

Nesse estudo, foi adotado um ciclo de produção da estrutura de cinco dias, idêntico ao originalmente utilizado pela empresa Cyrela no empreendimento *Le Champ*. Apesar de se estar utilizando lajes planas e não existirem vigas no pavimento (fato que talvez facilite as atividades de montagem e desenformamento de fôrmas), assumiu-se que não haveria redução no número de dias necessários para a produção das lajes.

Portanto, apenas após 4 semanas da concretagem da laje, as atividades para a produção dos demais sistemas em um determinado pavimento poderão ser iniciadas. Tais atividades incluem execução das vedações verticais externas e internas e do contrapiso.

As atividades da vedação externa, utilizando o sistema proposto de Fachada Leve, são elencadas, em ordem de execução:

- Marcação e Fixação dos Perfis *Steel Frame* (guias e montantes);
- Colocação das Placas Cimentícias e Barreira Impermeável;
- Tratamento de Juntas; e
- Colocação da Malha de Reforço e *Basecoat*.

Segundo Nunes (2015), para liberação do pavimento para execução de atividades internas como a vedação interna, no caso em *drywall*, é essencial a conclusão das três primeiras atividades. Portanto, há um gargalo na execução da vedação interna caso essas atividades da vedação externa atrasem.

O planejamento do empreendimento *Le Champ*, empregando a Fachada Leve, será apresentado desde o início da execução das estruturas até a conclusão dos serviços correspondentes à execução da vedação externa. Com isso, será possível comparar os prazos de execução empregando-se vedação tradicional de alvenaria, com os prazos do sistema Fachada Leve. Essa comparação poderá evidenciar a redução de prazo global, atribuída ao sistema com maior grau de industrialização da Fachada Leve.

5.5.1. Cronograma de Execução do Sistema Tradicional

O cronograma de execução da estrutura e fachada foi obtido a partir do contato com o Gerente de Qualidade e Desenvolvimento Tecnológico da empresa Cyrela, Alexandre Britez. A partir deste projeto, pode-se desenvolver uma sequência executiva da fachada por pavimento para posterior análise em relação a Fachada Leve. Conforme relatado, o controle da execução pelos Engenheiros da Cyrela foi realizado por atividade e por pavimento, não fazendo distinção de trechos. A Figura 5.24 ilustra a fachada do edifício *Le Champ* após a execução.

Figura 5.24 - Fachada do edifício *Le Champ*



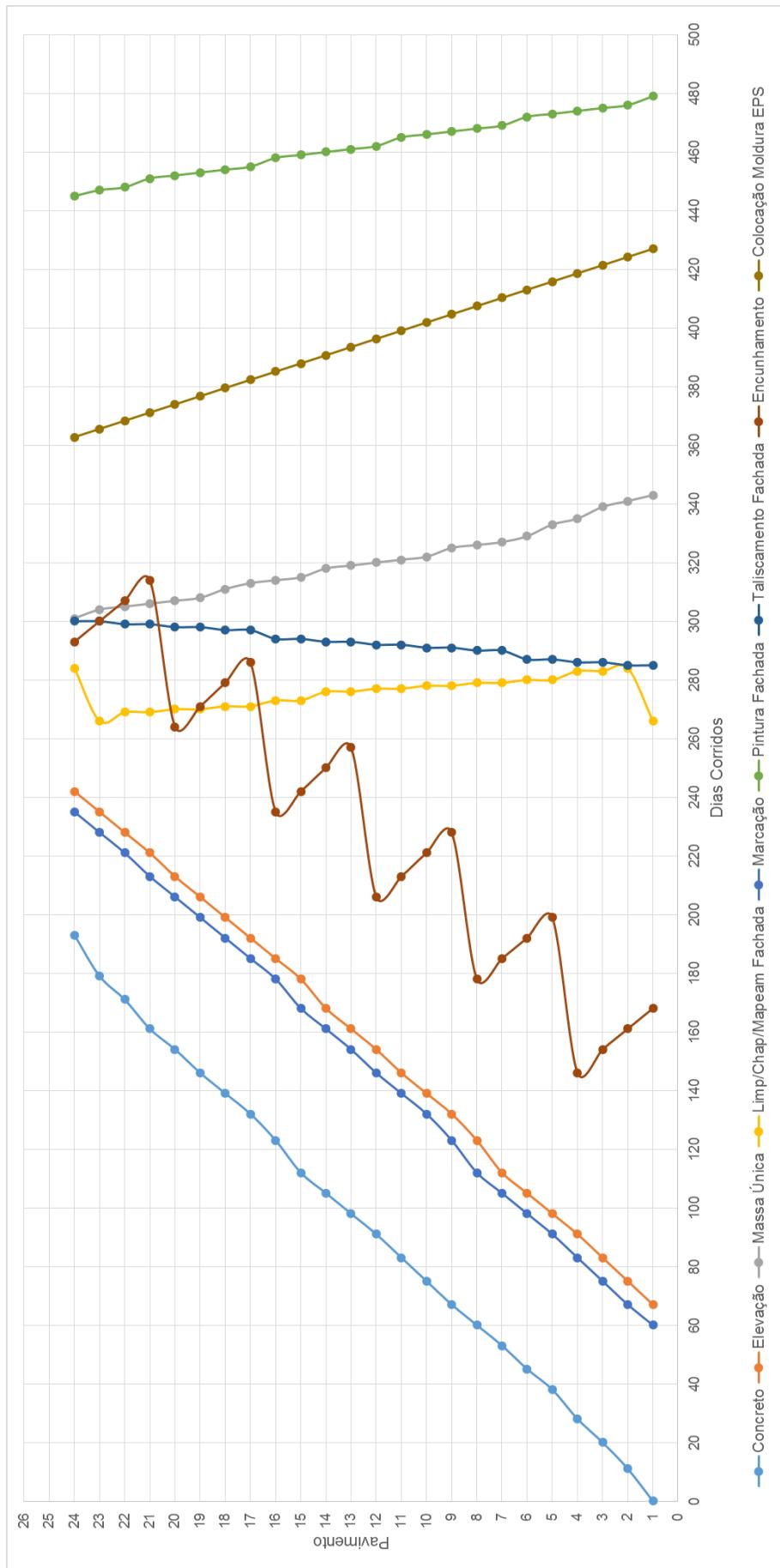
Fonte: Google Maps, 2015, Acesso em: 25/11/2015.

As atividades descritas no cronograma para a produção da fachada tradicional do edifício em estudo são:

- Execução da Estrutura
- Marcação da Alvenaria
- Elevação da Alvenaria
- Fixação da Alvenaria
- Limpeza/Chapisco/Mapeamento da Fachada
- Taliscamento e 1^a demão do revestimento de argamassa da fachada
- Execução de massa única e detalhes construtivos
- Colocação da Moldura EPS
- Pintura da fachada

A Figura 5.25 apresenta a sequência de atividades de execução da fachada do Cyrela *Le Champ*, desenvolvido a partir do cronograma fornecido pela empresa. Adotou-se como marco inicial de tempo a execução da estrutura do primeiro pavimento tipo.

Figura 5.25 – Cronograma de Execução da Fachada em Alvenaria do Edifício Le Champ, da Cyrela



Fonte: Cyrela, Dados Empreendimento Le Champ.

A execução da estrutura sofreu alguns atrasos em relação ao planejamento original do empreendimento. Parte dos atrasos ocorreu por fatores climáticos. Porém, outra parte ocorreu devido a erros e falhas durante a execução das fôrmas das vigas. Observa-se, também, que a elevação da alvenaria do pavimento tipo está no caminho crítico da obra, interferindo na execução dos subsistemas internos.

Após a conclusão da elevação da alvenaria, iniciam-se as atividades executadas com auxílio do balancim. Durante a primeira subida foram feitas a limpeza da base e a fixação da alvenaria. Na primeira descida realizam-se a lavagem da base, chapisco e mapeamento da fachada. Na segunda subida foram executados o taliscamento e a primeira demão de argamassa em locais em que a espessura é acima de 4,0cm. Ao final da primeira parte de execução do revestimento de fachada, na segunda descida, realizou-se a massa única e os detalhes construtivos como juntas e requadros de janelas.

O *Le Champ* possui moldura EPS na fachada, o que demanda uma maior utilização do balancim. A terceira subida do balancim representou a inspeção do revestimento produzido, e não constou no cronograma feito. Finalizando, durante a terceira descida foi executada a colocação de moldura e EPS na fachada. A atividade de pintura da fachada foi realizada posteriormente, utilizando-se outro tipo de balancim, a cadeira suspensa.

O tempo total de execução da fachada foi de 479 dias corridos e 342 dias úteis. Além disso, considerando dias de atividades, foram contabilizados 575 dias de atividades, tempo que é reduzido devido à execução de atividades em paralelo. Nos próximos itens é feita a comparação entre os dois sistemas propostos para o empreendimento.

5.5.2. Cronograma de Execução da Fachada Leve

Para o cálculo dos prazos de execução dos serviços de execução da Fachada Leve foram utilizados dados de produtividade consolidados do Sistema Aquapanel, fornecidos pela Arq. Fernanda Nunes. Os dados obtidos foram consolidados após controle de execução em diversas obras executadas com o sistema da Knauf

(NUNES, 2015). As informações de produtividade correspondem a RUP¹³ média de cada atividade e um número de operários correspondente à equipe ideal.

Nunes (2015) também forneceu a produtividade ideal, calculada em obras executadas em diversos países, porém não aplicável ao Brasil devido a restrições e gargalos encontrados nas obras daqui. Tais gargalos são a menor qualificação da mão de obra especializada e fatores climáticos, que contribuem para essa consideração mais conservadora da RUP Global. A Tabela 5.12 apresenta os dados de RUP para cada atividade e global para a Fachada Leve.

Tabela 5.12 – RUP para Atividades e Global do Sistema Fachada Leve

Atividade	RUP (Hh/m ²)
Execução do <i>Steel Frame</i>	0.30
Fixação do Tyvek e Placas	0.40
Tratamento de Juntas	0.15
<i>Basecoat</i> e Malha de Reforço	0.55
Sistema Fachada Leve (Global)	1.40
Ideal Proposta (Knauf)	1.16

Fonte: Nunes, 2015.

Para a mão de obra, propõe-se uma equipe polivalente, que possa executar atividades tanto internas quanto externas, caso seja necessário. Com isso, busca-se uma redução do prazo das atividades e da ociosidade dos montadores, o que pode levar a uma redução de custo com funcionários. Além disso, Nunes (2015) forneceu dados referentes às equipes consideradas para um empreendimento de arquitetura e dimensões similares ao *Le Champ*.

A Knauf, fornecedora do Sistema Aquapanel, oferece especialização na montagem do sistema. Portanto, os profissionais capacitados conseguem trabalhar em todas as atividades referentes à execução do sistema. Além disso, há a possibilidade de a construtora contratar a mão de obra com outros empreiteiros. Sendo assim, a mão de obra contratada seria especializada em uma atividade, podendo então possuir mais de uma frente de execução (NUNES, 2015).

¹³ Razão Unitária da Produção, indicador de produtividade que relaciona quantidade de homens hora disponíveis para o trabalho e quantidade de serviço executada.

Os dados de entrada para os cálculos foram considerados baseando-se nas características do mercado e da construtora Cyrela para execução do empreendimento. As dimensões foram obtidas a partir do material fornecido pelo Gerente Alexandre Britez, da Cyrela, e optou-se por se utilizar o pé direito de 3,0 m. Tais informações estão apresentadas na Tabela 5.13. A área total de fachada a ser executada no edifício é de 8.276 m².

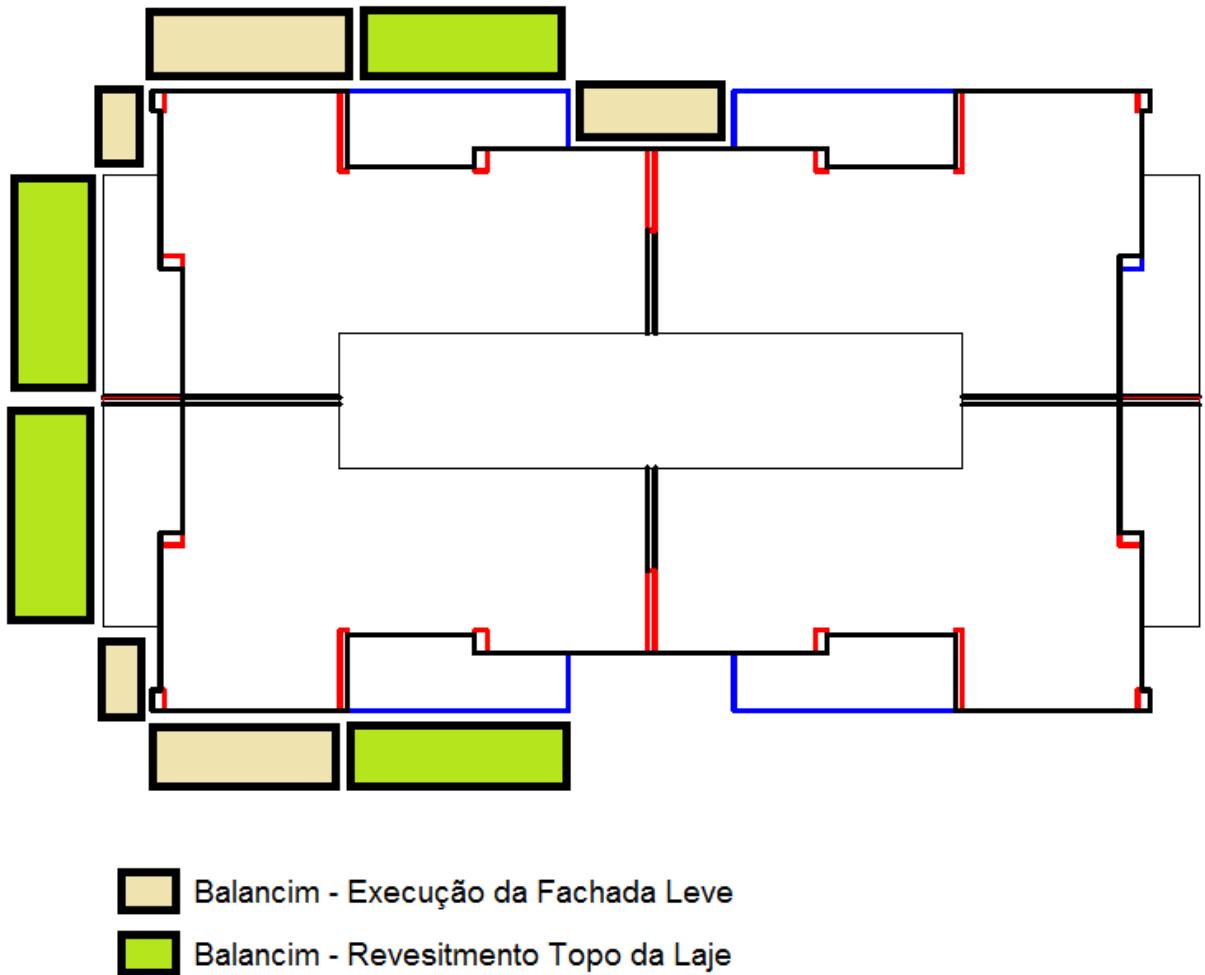
Tabela 5.13 – Dimensões do Edifício *Le Champ* e Dados Determinados pelos Autores para Execução da Fachada Leve

Extensão Parede Externa	114,85	m
Altura (Pé direito)	3,00	m
Área de Fachada (por pavimento)	344,55	m ²
Número de Pavimentos	24	pav.
Área de Fachada (edifício)	8.276,40	m ²
Ciclo da Estrutura	5	dias úteis
1 dia	8	h
1 semana	5	dias úteis

Fonte: Dados Internos Cyrela, 2015

Pensando numa otimização dos balancins utilizados na execução da Fachada Leve, foi desenvolvido um projeto da utilização dos suportes na obra. Devido ao número de varandas presentes no edifício, não será necessário utilizar balancim em todo o perímetro da torre. O projeto evidencia a necessidade de utilização de 5 balancins no *Le Champ*, para se executar a Fachada Leve. Porém, há necessidade de se revestir colocar e moldura EPS no topo da laje, e, portanto, se faz presente o uso de balancins para tal atividade. A Figura 5.26 mostra o projeto de balancins desenvolvido para o *Le Champ*.

Figura 5.26 - Projeto de Balancins para Execução da Fachada Leve no Edifício *Le Champ*



O projeto de balancins proposto considera a divisão do prédio em 2 metades para execução. Com isso, reduz-se o número de balancins locados, bem como o número de funcionários na execução. Esse fato tem relação com os custos relacionados a execução da Fachada Leve, que serão abordados no subcapítulo 4.3.

A locação dos balancins será feita em 2 etapas, uma para a execução da Fachada Leve, e outra para o revestimento do topo da laje. O revestimento do topo da laje será considerado no cronograma de execução da obra.

Os dados de produtividade desta atividade foram baseados no cronograma do edifício *Le Champ*, fornecido pela Cyrela, e também na área de execução. O detalhamento não foi proposto, uma vez que esta atividade não tem interferência com a execução da Fachada Leve, mas deve ser executada de forma racionalizada a fim de se evitar que estaja no caminho crítico.

Assim, considerando os dados de produtividade obtidos na Tabela 5.12 e as informações relativas à geometria da fachada (Tabela 5.13) apresenta-se na Tabela 5.14. o cálculo da duração em dias de cada atividade necessária para a produção da Fachada Leve para o empreendimento *Le Champ*.

Tabela 5.14 – Dados Calculados para Execução do Sistema Fachada Leve

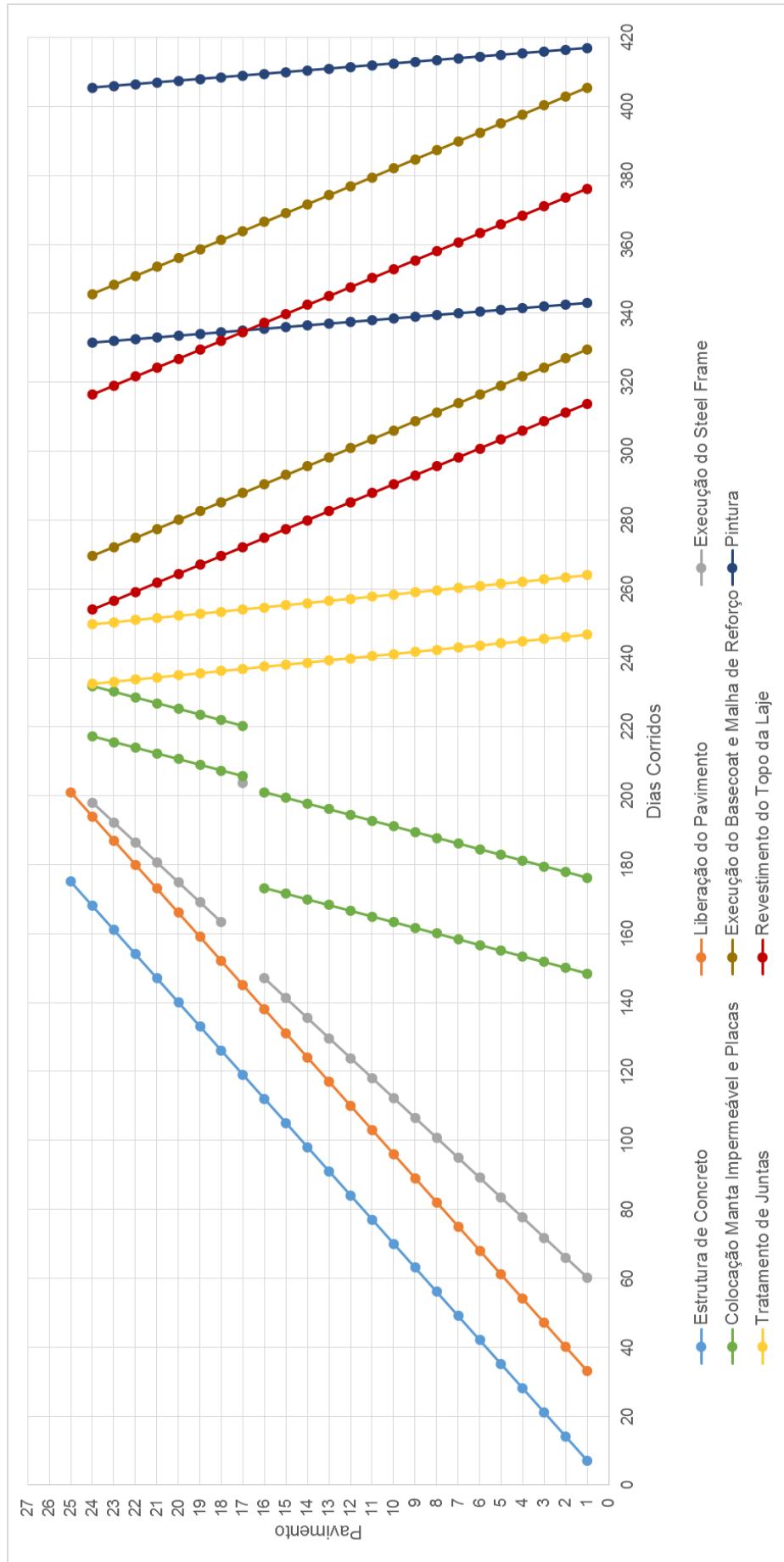
Atividade	RUP (Hh/m ²)	Equipe (H)	Homem- hora necessário (Hh)	Tempo (h)	Tempo (dias) – 1 pav.	Tempo (dias) – 1 pav. (com FdS ¹⁷)	Tempo (dias) – Edifício
Execução do Steel <i>Frame</i>	0.30	3	99.2	33.1	4.1	5.8	139
Fixação do Tyvek e Placas	0.40	7	66.2	9.5	1.2	1.7	40
Tratamento de Juntas	0.15	7	24.8	3.5	0.4	0.6	15
<i>Basecoat</i> e Malha de Reforço	0.55	7	91.0	13.0	1.6	2.3	55

Fonte: NUNES, 2015.

Buscou-se no dimensionamento da equipe a maior otimização do uso dos balancins, evitando ociosidade do suporte. Há 5 balancins destinados a Fachada Leve, portanto considera-se uma equipe de 7 pessoas, sendo 5 nos balancins e 2 nas varandas, executando as atividades. A equipe de colocação de placas e da barreira impermeável é a mesma que executará o tratamento de juntas. Além disso, a equipe de execução *steel frame* será alocada para atividades internas do edifício e voltará para a fachada na execução do *basecoat*.

A Figura 5.27 apresenta o cronograma projetado pelos autores, a partir das informações e dados coletados. O 25º pavimento, apresentado no cronograma, é definido como sendo a cobertura do edifício. As atividades em paralelo – no cronograma – representam a execução das 2 partes do edifício que serão executadas separadamente.

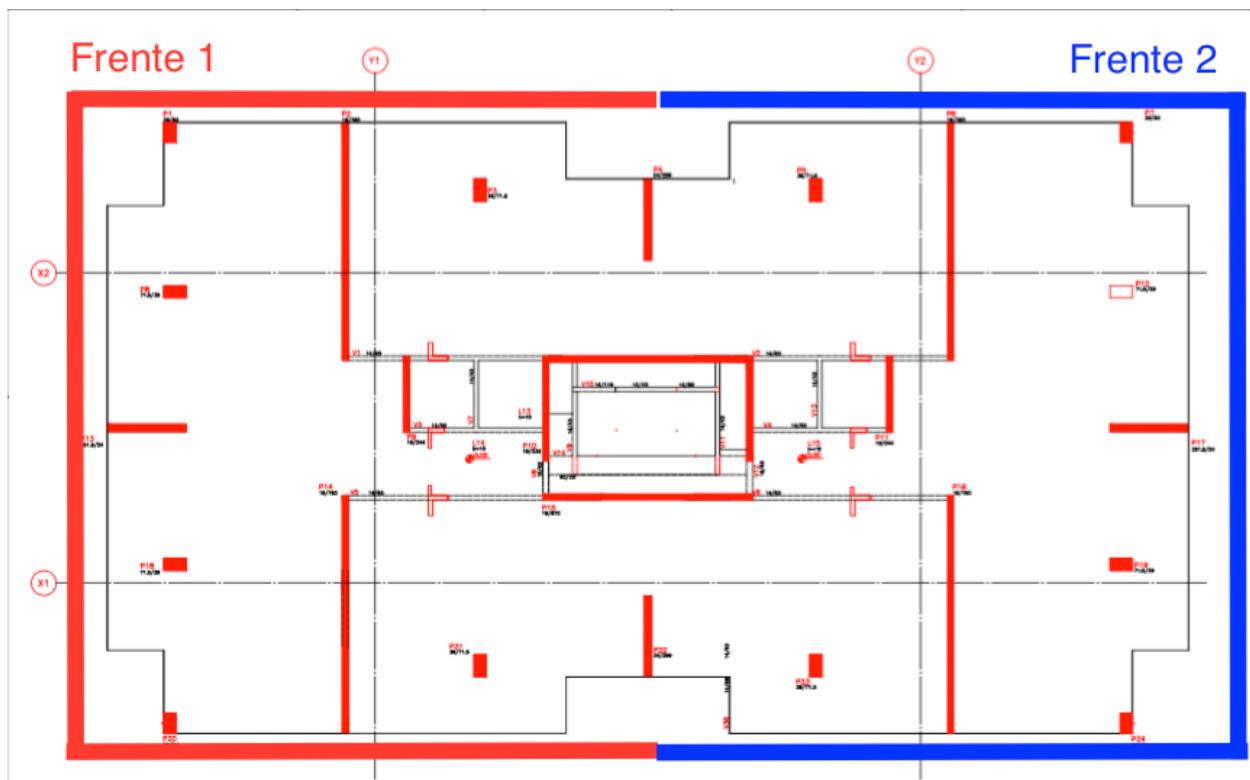
Figura 5.27 – Cronograma de Execução do Sistema Fachada Leve Desenvolvido para Edifício Le Champ, da Cyrela



Apesar de ser considerado o uso de estrutura em lajes planas, assumiu-se o mesmo tempo de execução da estrutura reticulada de concreto original, sendo o prazo de 5 dias por pavimento. Ao se optar pelo uso das lajes planas, pode-se conseguir uma redução no prazo de execução da estrutura de um pavimento, principalmente pela maior facilidade de montagem das fôrmas pela não existência de vigas. A liberação do pavimento ocorre 28 dias após a concretagem, sendo então permitido o início das atividades no local.

Porém, a fim de se otimizar o prazo de execução total das atividades, bem como a utilização dos balancins, optou-se por postergar o início da montagem do *steel frame*, com relação à liberação do primeiro pavimento, bem como pela divisão das atividades de execução da Fachada Leve em duas frentes de trabalho, conforme observado no esquema da Figura 5.28.

Figura 5.28 - Divisão das frentes de trabalho dos balancins. Vista em planta.



Fonte: Os Autores, 2015.

Como a execução do *steel frame* pode ser iniciada 28 dias após a liberação do pavimento em questão, optou-se por dimensionar o planejamento de modo que o término da montagem do *steel frame* no 16º pavimento coincida com a liberação do

17º pavimento. Com o 17º pavimento liberado, permite-se a instalação do balancim nesse andar, para a montagem das placas nos pavimentos inferiores. Devido a instalação do balancim no 17º andar, a execução do *steel frame* neste andar será postergada, sendo executada após a transferência do balancim para a cobertura. Portanto, a fachada até o 16º pavimento não faz parte do caminho crítico da obra, por ocorrer em paralelo com a execução da estrutura dos pavimentos superiores, e começará atrasada, a fim de se reduzir despesas com mão de obra e com o balancim.

Com o balancim inicialmente instalado em metade na laje 17º pavimento, realiza-se a instalação da barreira impermeável e das placas cimentícias, do 1º ao 16º pavimento. Terminada a primeira frente, o balancim é transferido para a outra metade do 17º pavimento, sendo executado então a metade restante das fachadas do 1º ao 16º pavimento.

O término do plaqueamento no 16º pavimento, na segunda frente de trabalho, coincide com a liberação da cobertura para instalação do balancim. Assim, o balancim é transferido para a laje da cobertura, para que sejam feitas as atividades de plaqueamento nos pavimentos superiores. Com isso, a fachada é finalizada novamente em duas frentes de trabalho, do 17º ao 24º pavimento.

Para a colocação das placas cimentícias e da barreira impermeável, dimensionou-se a equipe para que a conclusão da atividade ocorra 2 dias antes da liberação da cobertura, para posterior instalação do balancim. A colocação das placas e da barreira impermeável é executada de baixo para cima, ou seja, com o balancim subindo. Segundo Nunes (2015), há uma obrigatoriedade de a execução da barreira impermeável ser de baixo para cima, para que possa haver uma completa sobreposição das camadas e, então, uma total vedação do edifício.

Segundo o Técnico Comercial Diego Doria, da empresa Andmax Locação de Balancins, a instalação do balancim tem duração de 4 horas para o caso mais crítico, com utilização de 3 funcionários. Para o *Le Champ*, foi considerada uma equipe de 3 funcionários para transferência dos balancins. Com isso, obteve-se um prazo de 2,5 dias, e ao aplicar uma margem de segurança, foi proposto um prazo de 3 dias para a transferência de balancins, tanto no mesmo pavimento como entre o pavimento e a cobertura.

A fixação das placas começa 1 dia após a instalação do balancim e possui 7 funcionários. Isto só será possível caso haja uma interação entre os sistemas de vedação externa (Fachada Leve) e interna (*drywall*), e caso a vedação interna não esteja no caminho crítico da obra.

A utilização da Fachada Leve se faz coerente com utilização do sistema *drywall* no interior do edifício. Após a liberação do pavimento, tais atividades caminham em paralelo e se faz necessário que as atividades caminhem no mesmo ritmo. A não coordenação das atividades, interna e externa, converge para um gargalo, o que poderia tornar a execução do *drywall* uma atividade crítica ao edifício.

O tratamento de juntas será executado após o término da fixação das placas cimentícias e da barreira impermeável. A equipe dessa atividade será composta por 7 funcionários, sendo uma equipe relativamente grande, porém necessária pois apenas após a conclusão desta atividade o pavimento será liberado totalmente para as atividades internas.

Nota-se a existência de uma dificuldade nas atividades de fixação de placas e da barreira impermeável quanto à movimentação de entrada e saída dos funcionários do balancim. Essa movimentação ocorre através dos vazios presentes devido às esquadrias; porém, estes estarão cobertos pela barreira impermeável. Para isso, deve-se cortar e pregar a barreira impermeável presente nos vãos das esquadrias, da forma evidenciada no catálogo de instalação.

Ao final do tratamento de juntas, inicia-se a execução do *basecoat* e malha de reforço, que será feita em uma descida do balancim. Por conta de apresentar uma baixa produtividade, há necessidade de alocação de um grande número de funcionários. A equipe com 7 funcionários também é dimensionada para uma ótima utilização dos balancins.

O *basecoat* é aplicado em 2 etapas. Na primeira etapa, a camada possui 5 mm de espessura. Posteriormente é colocada a malha de reforço e uma segunda camada com 2mm. O tempo de secagem do *basecoat* é de 1 dias para cada mm de espessura, portanto neste caso serão 7 dias de espera para o início da pintura (KNAUF, 2014). A pintura é a última atividade a ser realizada, e será executada com os próprios balancins presentes na obra, não sendo necessário a locação de cadeirinhas.

A liberação para atividades internas ao pavimento, como execução da vedação vertical interna e contrapiso, depende apenas das três primeiras atividades: execução do *steel frame*, colocação das placas e barreira impermeável e do tratamento de juntas. Após tais atividades, o pavimento está liberado para a execução de tais atividades e também da conclusão da Fachada Leve com a instalação do isolamento termoacústico e das chapas de gesso acartonado na face interna.

Um gargalo apresentado no sistema é a execução do contrapiso na parte interna do pavimento. Segundo Caliope (2015), a execução do contrapiso pode ser feita ao utilizar uma espécie de rodapé, formado por tiras de placa cimentícia, colados junto à base da guia. Para tal execução, sugere-se a utilização de contrapiso auto-nivelante, de modo a permitir uma maior velocidade de execução.

Com isso, obteve-se um planejamento otimizado de execução do sistema Fachada Leve para o edifício *Le Champ*. Os prazos de execução totais são apresentados no próximo item, onde também é feita uma comparação entre as durações de execução dos dois sistemas propostos.

5.5.3. Comparação dos Cronogramas dos Sistemas Apresentados

A análise entre as durações de execução de cada sistema foi avaliada levando-se em conta o prazo global de execução da fachada, bem como o total de dias úteis trabalhados por atividades. Para isso, a Tabela 5.15 apresenta os dados consolidados para os 2 sistemas estudados.

Tabela 5.15 – Prazos de Execução para os Sistemas Fachada Leve e Tradicional

	Fachada Leve	Sistema Tradicional
Total de Dias Corridos	417	479
Total de Dias Corridos Úteis	298	342
Total de Duração de Atividades¹ (dias)	437	575

¹Soma das durações de todas as atividades executadas

Com isso, pode-se perceber que há redução não somente no prazo final, para o caso de sobreposição de atividades, mas também um número total de dias de atividades executadas. A diferença evidenciada está apresentada na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Diferença de Prazo entre os Sistemas Fachada Leve e Tradicional

Diferença	Dias	Meses
Período Corrido	62	2,0
Período Útil	44	1,5
Duração das Atividades	138	

Apesar da boa racionalização praticada pela Cyrela em seus empreendimentos, a Fachada Leve permite uma redução de cerca de 2,0 meses do prazo global do empreendimento, o que representa aproximadamente 13% da duração das atividades relativas à fachada tradicional.

Entretanto, cabe salientar que essa redução de prazo pode ser ainda maior dependendo de outras ações além de exclusiva utilização do sistema. Conforme mencionado, a execução de estrutura em lajes planas pode ter seu ciclo reduzido, quando comparado à estrutura com vigas, garantindo menor prazo de execução global da obra.

Ainda sobre a estrutura, outra maneira possível de se obter uma maior redução do prazo global da obra é a opção por não utilizar instalações hidráulicas e elétricas embutidas nas lajes. Caso decida-se pela passagem horizontal de instalações pelo entreforro, pode-se reduzir em até um dia o ciclo de produção da estrutura em um pavimento.

A arquitetura e dimensões do edifício também interferem no prazo de execução da Fachada Leve. A decisão sobre a utilização desse sistema como sistema de vedação vertical externa, deve ser tomada anteriormente ao projeto do edifício, fato mencionado por Ribeiro (2015). Assim consegue-se o melhor aproveitamento das vantagens na utilização do sistema com edifícios que não possua um grande número de reentrâncias, ou que possua grande área de varandas em seu perímetro, possibilitando uma plataforma de trabalho para a fixação de placas, como no caso do edifício BKO BK30.

Concluindo-se, a Fachada Leve possibilita uma redução direta no prazo global de execução da fachada. Isso ocorre principalmente devido às vantagens apresentadas por este método construtivo que consiste no acoplamento de materiais a seco, sem depender de grandes prazos de carência ou cura de materiais. Tais vantagens seriam

a menor probabilidade de erros na execução e a utilização de um sistema mais industrializado com profissionais qualificados. Além disso, há uma possível redução de prazo em outras atividades do edifício, por conta da diminuição de desperdício e consumo de materiais e a diminuição de retrabalhos, limpeza e reparos no empreendimento, que ocasiona redução do prazo da entrega final da obra.

5.6. CUSTOS ASSOCIADOS

O uso do sistema Fachada Leve e a disseminação da tecnologia no mercado dependem tanto de aspectos tecnológicos e do planejamento, abordados ao longo do presente trabalho, como também dos custos envolvidos, uma vez que a inovação se sustenta a partir de melhoria de desempenho, vantagens em prazo ou diminuição de custo global.

Medeiros *et al.* (2014) propõem uma tabela comparativa (Figura 5.29) que elenca os principais fatores relevantes à composição de custo de cada tecnologia de vedação vertical. Nesse trabalho, o impacto dos custos é analisado de forma qualitativa e relativa, em comparação com uma média de custos usualmente praticados no mercado para cada um dos fatores analisados. Assim, quando um quesito analisado recebe um ponto, seu impacto financeiro, em comparação com a média praticada no mercado, é muito baixo. Ao receber três pontos, o impacto do quesito é muito próximo a média de preços do mercado. Para cinco pontos, o impacto financeiro é tratado como muito acima da média.

Figura 5.29 - Comparativo do impacto no custo final dos sistemas de vedação vertical.

FATORES IMPACTANTES NO CUSTO FINAL DOS SISTEMAS DE VEDAÇÃO E REVESTIMENTO		ALVENARIA CONVENCIONAL REVESTIDA ^A	LIGHT STEEL FRAMING ^B
CONSTRUTIBILIDADE	Logística da obra ¹	*****	***
	Necessidade de equipamento ²	*	**
	Nível de pré-montagem ³	*****	****
	Velocidade de montagem ⁴	*****	****
	Ajustes durante a montagem ⁵	*	**
	Terminalidade ⁶	*****	****
	Necessidade de acabamento final ⁷	****	***
DESEMPENHO	Incremento de desempenho acústico ⁸	*	***
	Incremento de desempenho térmico ⁹	*	**
	Incremento de segurança contra incêndio ¹⁰	*	**
	Incremento em durabilidade ¹¹	**	***
	Manutenibilidade ¹²	***	***
MERCADO	Cadeia Produtiva ¹³	*	****
	Contrato e responsabilidade técnica ¹⁴	*****	****
	Estimativa de preço (R\$/m ²) ¹⁵	140,00-180,00	270,00-320,00

Legenda:
 •••: Impacto financeiro médio;
 •: Impacto financeiro muito abaixo da média; ••••: Impacto financeiro acima da média;
 ••: Impacto financeiro abaixo da média; •••••: Impacto financeiro muito acima da média.

Fonte: Adaptado de MEDEIROS *et al*, 2014.

Pela Figura 5.29 é possível ter uma primeira estimativa de preços para a vedação vertical externa tradicional em alvenaria de blocos e para o sistema Fachada Leve (identificado no estudo como *Light Steel Framing*). Enquanto que para a tecnologia tradicional estima-se um custo de R\$ 140,00 a R\$ 190,00 por metro quadrado, a estimativa para a Fachada Leve é de R\$ 270,00 a R\$ 320,00.

Isso posto, buscou-se levantar em primeiro lugar os custos do sistema de vedação originalmente adotado no empreendimento *Le Champ*. Em seguida, foi feito um levantamento dos custos relacionados ao sistema Fachada Leve proposto.

5.6.1. Vedaçāo no sistema tradicional

Para realizar a estimativa dos custos associados ao sistema de vedação vertical originalmente utilizados no empreendimento *Le Champ*, são recapitulados na Tabela 5.17 alguns cálculos de área de fachada do empreendimento, de modo a facilitar a compreensão do leitor.

Tabela 5.17 - Áreas de fachada.

	Vedaçāo Original	Fachada Leve
Área de fachada – vedação (m ²)	208,44	271,61
Área de fachada – laje, viga e pilar (m ²)	122,33	72,94
Área de fachada – total (m ²)	330,77	344,55
Área interna da fachada a ser revestida (m ²)	319,28	271,61

Os coeficientes dos insumos para a produção da fachada com o sistema tradicional foram obtidos dos cadernos técnicos fornecidos pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), de onde também foram obtidos os preços sem encargos (com exceção dos custos de serviço dos serventes e pedreiros). A gestão do SINAPI é compartilhada pelo IBGE, responsável pela pesquisa mensal de preço, e a Caixa Econômica Federal, responsável pela base técnica de engenharia (especificação de insumos, composições de serviços e projetos referenciais) e pelo processamento de dados.

Foram consultados para formação das composições os cadernos técnicos: do grupo de alvenaria de vedação (SINAPI, 2014); das composições de argamassas (SINAPI, 2014); das composições para revestimentos (SINAPI, 2014); dos preços de insumos (SINAPI, 2015).

Os dados referentes ao custo por hora da mão de obra de servente e pedreiro, assim como os encargos sociais e benefícios e despesas indiretas (BDI, valor de 28,3%) praticados na cidade de São Paulo são disponibilizados pela Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras (SIURB, 2015).

O custo de alvenaria pode ser composto pela soma dos materiais - blocos, argamassa, tela, pino de aço e aluguel de equipamentos - e mão de obra de servente e pedreiro, como mostrado na Tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Custos referentes à alvenaria.

	Insumos/ Composições	UN	Quantidade por pavimento (composição referente)	Preço unitário sem encargos	Preço unitário com encargos	TOTAL POR PAVIMENTO (com encargos)	Fonte
Composição Referente	Alvenaria de Blocos cerâmicos 14 x 19 x 39 cm	m²	208,44	R\$ 33,36	R\$ 53,31		SINAPI - Caderno técnico do grupo de alvenaria de vedação (Coeficientes)
Insumos	Servente	H	0,4950	R\$ 5,68	R\$ 13,10	R\$ 11.112,71	SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos)
	Pedreiro	H	0,9900	R\$ 7,17	R\$ 16,52		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Pino de aço com furo, haste=27mm (ação direta)	cento	0,0189	R\$ 47,54	R\$ 60,99		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Tela de aço soldada galvanizada para alvenaria	m	0,7850	R\$ 1,73	R\$ 2,22		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical, 14x19x39 cm - 4,5 mpa (NBR 15270)	un	13,3500	R\$ 1,37	R\$ 1,76		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15 SIURB -Julho 2015 (BDI)
Composição	Argamassa traço 1:2:8 (Cimento, cal, areia media)	m3	0,0103	R\$ 282,17	R\$ 399,40		SINAPI - Caderno técnico das Composições de argamassas - Lote 1 (Coeficientes)
Insumos	Servente	h	6,4300	R\$ 5,68	R\$ 13,10	R\$ 11.112,71	SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos)
	Areia media - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m3	1,2600	R\$ 57,00	R\$ 73,13		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15
	Cimento portland composto CPII - 32	kg	181,3800	R\$ 0,47	R\$ 0,60		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15

	Cal hidratada	kg	189,2700	R\$ 0,45	R\$ 0,58	SIURB -Julho 2015 (BDI) SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/15 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Betoneira 250 l - CHP	h	1,5000	R\$ 0,53	R\$ 0,68	
	Betoneira 250 l - CHI	h	4,9300	R\$ 0,53	R\$ 0,68	

As composições dos equipamentos de betoneira usados são marcadas como "a ser cadastrada" no caderno técnico de argamassas (SINAPI, 2014). Para efeito de cálculo foi utilizado o insumo "betoneira 250 l elétrica (locação)" e "betoneira 400 l elétrica (locação)", que estão em processo de desativação.

Referentes aos custos de fachada, foi considerado o revestimento feito em espessura de 3 cm, com a camada de chapisco de 5 mm seguida de uma camada de massa única com 25 mm. Os custos são especificados na Tabela 5.19.

Os custos relacionados a pintura serão os mesmos no sistema Fachada Leve, por isso não serão considerados.

Tabela 5.19 – Custos referentes ao revestimento externo.

	Insumos/ Composições	UN	Quantidade por pavimento (composição referente)	Preço unitário sem encargos	Preço unitário com encargos	TOTAL POR PAVIMENTO (com encargos)	Fonte
Composição referente	Chapisco com argamassa de cim:areia 1:4, Esp= 5 mm	m²	330,7680	R\$ 0,74	R\$ 1,28		SINAPI - Caderno técnico do grupo chapisco - Lote 1 (Coeficientes) - última atualização 12/2014
Insumos	Servente	H	0,0042	R\$ 5,68	R\$ 13,10		SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos)
	Pedreiro	H	0,0420	R\$ 7,17	R\$ 16,52		
Composição	Argamassa traço 1:4 (Cimento, areia grossa)	m3	0,0015	R\$ 277,42	R\$ 419,69	R\$ 454,54	SINAPI - Caderno técnico das Composições de argamassas - Lote 1 (Coeficientes)
Insumos	Servente	H	10,9700	R\$ 5,68	R\$ 13,10		SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos)
	Cimento portland composto CPII - 32	kg	321,8500	R\$ 0,47	R\$ 0,60		
	Areia grossa - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m3	1,1200	R\$ 57,00	R\$ 73,13		
Composição referente	Emboço ou massa única em argamassa mista de cim:cal:areia traço 1:2:8, Esp = 25 mm	m²	330,7680	R\$ 18,83	R\$ 35,27	R\$ 11.666,64	SINAPI - Caderno técnico do grupo emboço/massa única externa - Lote 1 (Coeficientes) - última atualização 12/2014

	Insumos/ Composições	UN	Quantidade por pavimento (composição referente)	Preço unitário sem encargos	Preço unitário com encargos	TOTAL POR PAVIMENTO (com encargos)	Fonte
Insumos	Servente	H	0,7800	R\$ 5,68	R\$ 13,10		SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos) SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Pedreiro	H	0,7800	R\$ 7,17	R\$ 16,52		
	Tela metálica eletrossoldada, galvanizada e semirrígida, malha 25x25 mm e fio diâmetro 1,24 mm (BWG 18)	m2	0,1388	R\$ 0,47	R\$ 0,60		
Composição	Argamassa traço 1:2:8 (Cimento, cal e areia média), preparo mecânico	m3	0,0314	R\$ 278,44	R\$ 384,84		SINAPI - Caderno técnico das Composições de argamassas - Lote 1 (Coeficientes)
Insumos	Servente	h	4,7500	R\$ 5,68	R\$ 13,10		SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos)
	Areia media - posto jazida/fornecedor (sem frete)	m3	1,2900	R\$ 57,00	R\$ 73,13		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Cimento portland composto CPII - 32	kg	185,6300	R\$ 0,47	R\$ 0,60		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Cal hidratada	kg	193,7000	R\$ 0,45	R\$ 0,58		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Betoneira 400 I - CHP	h	1,1100	R\$ 0,74	R\$ 0,95		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Betoneira 400 I - CHI	h	3,6400	R\$ 0,74	R\$ 0,95		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)

O sistema vedação externa original é ainda caracterizado por um revestimento da face interna feita em gesso. A composição está explicitada na Tabela 5.20

Tabela 5.20 – Custos referentes ao revestimento interno

	Insumos/ Composições	UN	Quantidade por pavimento (composição referente)	Preço unitário sem encargos	Preço unitário com encargos	TOTAL POR PAVIMENTO (com encargos)	Fonte
Composição referente	Aplicação manual de gesso sarrafecado, paredes 10m²	m²	319,283	R\$ 17,96	R\$ 30,84		SINAPI - Caderno técnico do grupo revestimento de gesso - Lote 1 (Coeficientes) - última atualização 08/2015
Insumos	Servente	H	0,16	R\$ 5,68	R\$ 13,10	R\$ 9.845,77	SIURB - Julho 2015 (custos mão de obra com e sem encargos)
	Gesseiro	H	0,81	R\$ 8,31	R\$ 19,14		SINAPI - Preços de insumos. 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)
	Gesso	kg	22,43	R\$ 0,46	R\$ 0,59		SINAPI - Preços de insumos (Custos sem os encargos). 09/2015 SIURB -Julho 2015 (BDI)

A partir do custo total dos materiais e componentes, dividido pela área total de fachada, chega-se no custo aproximado de R\$ 100,01/m². Lembrando que os custos considerados são representativos apenas dos materiais e da mão de obra, outros fatores impactantes no preço não estão sendo apontados, como por exemplo, a logística de canteiro facilitada que o sistema de Fachada Leve apresenta.

Ainda tentando dar mais credibilidade a este levantamento de custos, foi feita uma busca com os custos praticados no mercado por diferentes empresas. Estas informações estão summarizadas na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 – Custos praticados no mercado.

Alvenaria (Total por pavimento)	Revestimentos de fachada (Total por pavimento)	Revestimento interno (Total por pavimento)	Custo do sistema por m²	Fonte
R\$ 8.546,04	R\$ 20.209,92	R\$ 7.938,43	R\$ 110,94	R. Yazbek - Ulisses
R\$ 6.253,20	R\$ 26.461,44	R\$ 6.946,13	R\$ 119,91	Tecnisa - Joelson
R\$ 8.129,16	R\$ 19.846,08	Dados não fornecidos	R\$ 84,58	Julio&Kalil - Rodrigo Kalil

Os valores obtidos por meio dos cálculos e dados dos SINAPI e SIURB se mostraram um bom instrumento balizador dos custos, uma vez que resultaram em preços semelhantes aos praticados no mercado. Para efeito de comparação será adotado um valor médio de todos obtidos, sendo R\$ 110/m².

5.6.2. Vedaçāo no sistema Fachada Leve

O levantamento de custos do sistema de Fachada leve foi feito com o auxílio de Nunes (2015) da empresa Knauf. Conforme relatado, os preços praticados para o sistema Aquapanel para o empreendimento em estudo são de R\$ 214,00 por m² de fachada, já englobando todos os componentes a serem utilizados (perfis metálicos, placas cimentícias, duas chapas de gesso acartonado, isolamento termoacústico, barreira impermeável e basecoat). Ainda de acordo com Nunes (2015), são estimados R\$ 100,00 por m² de fachada relacionados ao custo da mão de obra necessária para a produção do sistema.

Deve ainda ser considerado o custo relacionado aos equipamentos necessários para produção. Nesse estudo, foi proposta a utilização do balancim elétrico como plataforma de trabalho externa para a produção da fachada. Para o balancim, foram utilizadas informações levantadas com o tecnólogo Ulisses del Giudici, atuante no Departamento de Orçamentos da empresa construtora R. Yazbek. Segundo Giudici (2015), o custo praticado para o balancim é da ordem de R\$ 955,00 por metro de

fachada por mês, estando inclusos os custos de locação, montagem, desmontagem e fretes.

Para este custo total ser estipulado devem ser levadas em consideração algumas informações fornecidas no subcapítulo 5.5, já que os custos do balancim dependem do prazo e do comprimento de fachada em que será instalado, respectivamente sendo 7 meses e 57,43 metros.

Com esses dados, pode-se ter uma estimativa dos custos diretos associados à produção da Fachada Leve por metro quadrado de fachada, sintetizados na Tabela 5.22.

Tabela 5.22 – Custos relativos à Fachada Leve

	Custos (R\$/m²)
Componentes	R\$ 214,00
Mão de obra	R\$ 100,00
Equipamento	R\$ 48,36
Total	R\$ 362,36

Com o aumento da altura de piso a piso houve também um aumento total da área da fachada, anteriormente era de 330,77 m² e passa a ser 344,55 m².

Apesar de ter sido feita uma estimativa do custo associado à produção da Fachada Leve, houve uma alteração de grande importância no estudo de caso. Para se utilizar a tecnologia proposta, foi necessário realizar alterações na estrutura do edifício, principalmente pela adoção da estrutura em lajes planas, que levou a um volume de concreto praticamente superior em relação à condição original. De acordo com os dados obtidos no subcapítulo 5.3, a estrutura nova proposta tem um aumento aproximado de 17% do volume total de concreto. Considerando uma forma contratual por volume de concreto, pela qual normalmente é feito o custeio da estrutura, esse fato poderia implicar automaticamente em um aumento da mesma proporção no preço.

Porém, esse aumento teórico nos custos relativos à estrutura pode não ser necessariamente verdadeiro. Ao se utilizar uma estrutura com lajes planas, existe uma

maior facilidade na execução e montagem das fôrmas da estrutura, trazendo benefícios inclusive do ponto de vista da redução de prazos das atividades.

Para o empreendimento BK30 da BKO, José Roberto Leite cita em matéria da (EDITORAR PINI, 2013) que o custo com laje plana havia ficado 0,5% mais caro, mas a melhora no aproveitamento do layout e diminuição no prazo da estrutura em até 20% viabilizariam o empreendimento. Segundo Leite, ao se optar pelo uso das lajes planas, o custo do metro cúbico das empreiteiras, é mais barato do que no sistema convencional.

Assim, ao se optar pela utilização do sistema Fachada Leve, devem ser incorporados também a variação de custos relativos às alterações exigidas nos demais subsistemas. Nesse trabalho, assume-se o aumento nos custos da estrutura de 0,5%, conforme obtido para o empreendimento BKO BK30. Em uma estimativa mais detalhada, deve ser feita uma composição dos custos totais relativos à produção da estrutura, levando em consideração a produção de fôrmas, armaduras, concreto e mão de obra envolvida. A comparação detalhada entre custos de produção de estrutura convencional x estrutura em lajes planas foge do escopo deste estudo, e fica como sugestão para um trabalho futuro.

5.6.3. Comparativo Fachada Tradicional x Fachada Leve

Sumarizam-se na Tabela 5.23 os custos associados às duas tecnologias por pavimento, para o sistema original utilizado no empreendimento e para Fachada Leve. Nota-se que, na comparação direta entre os dois sistemas, há um aumento da ordem de 210% nos custos associados quando se opta pela utilização do sistema Fachada Leve. Nota-se que a variação percentual obtida nesse estudo é comparável aos resultados obtidos nos estudos de Medeiros *et al.* (2014).

Tabela 5.23 - Comparativo entre vedação original e Fachada Leve.

Sistema Original (R\$/pavimento)	Fachada Leve (R\$/pavimento)	Variação
R\$ 36.348,70	R\$ 112.960,72	210%

Conforme relatado pelos profissionais entrevistados durante a realização deste trabalho, o aumento nos custos relativos a produção da fachada já era esperado, sendo este ainda um dos principais motivos pela baixa difusão da tecnologia no cenário nacional. Um principal motivo encontrado se refere ao fato de que os principais componentes utilizados na produção do sistema Fachada Leve utilizado nesse estudo são produzidos no exterior, pesando em seu custo encargos sobre produtos importados, custos relativos a transporte, e taxas de conversão de moedas.

Apesar de o custo por metro quadrado associado ao sistema Fachada Leve ser maior do que o sistema de vedação em alvenaria tradicional, seu uso ainda pode trazer ganhos em termos de custos para um empreendimento. Principalmente pelo fato do sistema trazer uma redução de prazo global de obra, poderão existir economias em termos de custos de mobilização de canteiro, como custos com água e energia elétrica, salários de funcionários permanentes, aluguel de equipamentos (não relativos à produção da fachada), dentre outros.

Outra fonte de economia importante se refere aos gastos relativos à disposição dos resíduos gerados. Como também relatado ao longo das entrevistas, o sistema Fachada Leve leva a uma menor geração de resíduos produzidos em canteiro. Assim, espera-se que haja uma diminuição nos gastos relativos a triagem dos resíduos, aluguel de caçambas e transporte até o local de disposição final.

Por fim, também associado à redução de prazo global de obra, o uso do sistema Fachada Leve pode trazer benefícios em termos de taxa interna de retorno do empreendimento (TIR), conforme relatado por Caliope (2015). Ao realizar a distribuição dos custos e investimentos relativos ao empreendimento ao longo do tempo de produção, formando um fluxo de caixa, pode-se chegar à redução da TIR, principalmente pela economia nos custos indiretos relatados acima durante os meses de produção reduzidos. A redução da TIR é vantajosa principalmente do ponto de vista do investidor.

Assim, buscou-se mostrar nesse subcapítulo uma estimativa dos custos associados à produção da Fachada Leve e comparar com os custos relativos à produção do sistema tradicional, utilizado no empreendimento em estudo.

6. ANÁLISE CRÍTICA

Neste capítulo, são sintetizadas as principais vantagens observadas, os potenciais de desenvolvimento e os principais desafios a serem superados pela tecnologia de Fachada Leve. Além disso, é feita uma análise quanto aos objetivos e metodologia propostos no início do trabalho.

No sistema Fachada Leve empregam-se componentes industrializados, como é o caso das chapas internas e externas, estrutura em *steel frame*, barreira impermeável, parafusos, massas e materiais de isolamento térmico e acústico. Ao levar parte da produção para o ambiente da fábrica, espera-se que a qualidade final dos produtos seja obtida com menor esforço do que quando a produção ocorre integralmente em canteiro, sobretudo pelas condições de trabalho mais adequadas no ambiente fabril (meteorologia, ergonomia, equipamentos disponíveis, etc.) do que no canteiro de obras.

Com a elaboração do estudo de caso, foi possível confirmar que o sistema Fachada Leve, quando comparado diretamente com o sistema tradicional de alvenaria de blocos, incorpora menor massa de materiais e componentes ao edifício, o que tem sido privilegiado em abordagens sobre sustentabilidade que visam à diminuição do consumo de materiais na construção.

Entretanto, ao se fazer a análise de insumos incorporados ao edifício, deve-se levar em conta também as alterações exigidas pela Fachada Leve nos demais subsistemas. Observou-se que, caso seja substituída apenas a vedação de fachada por componentes leves, com a utilização de estrutura em lajes planas, houve um aumento na massa incorporada. A redução de massa total se deu ao se substituir também as divisórias internas; entretanto, estas poderiam existir no edifício, mesmo com as fachadas tradicionais.

Para se construir um ambiente mais sustentável, seria necessário analisar todo o ciclo de produção dos componentes, considerando a emissão de carbono, consumo de água e energia durante sua produção, dentre outras variáveis, em comparação com sistemas de vedação tradicionais. Essa análise não fez parte do escopo do trabalho, mas fica como sugestão para um trabalho futuro.

Outra característica observada é a praticidade na montagem e desmontagem dos componentes, o que pode minimizar a geração de resíduos durante a construção e facilitar a desconstrução do sistema. Uma vez que grande parte dos componentes é montada por acoplamento a seco, por meio de parafusos, acredita-se que, potencialmente, haja menor desperdício de materiais, quando se compara com soluções que utilizam argamassas para conformação de componentes.

Apesar de haver poucos relatórios e referenciais técnicos disponibilizados por fabricantes, que assegurem ao construtor qualidade e credibilidade, a análise de um dos sistemas disponíveis no mercado mostra que o sistema Fachada Leve tem potencial de atender às exigências de desempenho propostas pela Norma de Desempenho NBR 15.575:2013. Assim, o sistema atua no sentido de se buscar um ambiente construído de melhor qualidade, que atenda às necessidades dos usuários. Porém, alguns dos critérios analisados, como o conforto acústico, por exemplo, dependem da correta execução do sistema em obra, bem como da seleção de demais componentes adequados à solução de vedação vertical proposta, como é o caso das esquadrias. Também as condições externas, de solicitação do edifício, são fundamentais para a análise.

Durante o desenvolvimento do trabalho, chegou-se a uma crítica quanto a um dos critérios expressos na Norma de Desempenho ABNT NBR 15.575-4:2013. O critério de Capacidade Térmica apresenta um valor muito restritivo, incapaz de ser atendido por qualquer sistema de vedação vertical leve. Tal fato, de acordo com depoimentos dos profissionais entrevistados, resulta de que esse trecho da Norma foi concebido pensando nos requisitos que os sistemas de vedação tradicionais deveriam atender. Assim, sugere-se uma revisão do critério, de modo a expressar as reais necessidades dos usuários.

Ainda a respeito do desempenho do sistema, uma oportunidade de melhoria detectada seria a formação de associações entre fabricantes e fornecedores da tecnologia. Mesmo que ainda sejam poucas as empresas que disponibilizam material técnico relativo ao desempenho do sistema Fachada Leve, verificou-se certa movimentação no mercado no sentido de obtenção de laudos e documentos, conforme relatado em entrevista com um dos fabricantes. Esta ação, certamente, permitiria maior difusão do conhecimento da tecnologia às empresas construtoras,

disponibilização de relatórios e laudos técnicos, e a atuação no sentido de se criar uma norma focada no sistema Fachada Leve.

Sobre os métodos construtivos empregados atualmente para a Fachada Leve, um dos principais desafios encontrados a respeito do sistema é a existência de diversas juntas entre componentes, seja entre placas externas, placas internas, entre camadas de barreira impermeável, entre paredes e aberturas de esquadrias, dentre outras. Todas essas juntas precisam receber tratamentos adequados, usualmente propostos pelos fabricantes da tecnologia, conforme retratado nos Capítulos 2 e 4, e qualquer erro na execução poderá comprometer a qualidade, durabilidade e estética de todo o sistema.

Também foi identificado que as maneiras empregadas para o tratamento de juntas e a aplicação do revestimento *basecoat* sobre placas externas consistem em gargalos do sistema Fachada Leve. Os métodos propostos pelos fabricantes ainda são bastante artesanais, dependendo da aplicação de várias camadas de massa, usualmente à base de cimento e resinas, a cada junção entre placas. As duas atividades são as que mais consomem tempo na execução do sistema. Além disso, se mal executadas, com consumo excessivo de massa, por exemplo, o tratamento de juntas poderá comprometer a qualidade estética do acabamento final da fachada, o que é indesejável para a maioria dos empreendimentos de edifícios.

A respeito da inserção da tecnologia Fachada Leve no contexto do edifício, foi visto que algumas modificações em outros subsistemas se fazem necessárias. Algumas mudanças na estrutura, instalações e esquadrias foram discutidas. De acordo com os profissionais entrevistados, tais mudanças permitem o maior proveito das vantagens que a Fachada Leve traz como, por exemplo, rapidez na execução e baixa geração de resíduos. Assim, destaca-se a importância da concepção de um edifício, desde a definição de sua arquitetura, que considere o uso da Fachada Leve, analisando-se em todos os projetos as interfaces existentes entre a tecnologia e os demais sistemas.

Verificou-se também que o planejamento do edifício como um todo, quando se opta pela Fachada Leve, é diretamente afetado pela decisão do tipo de plataforma de trabalho empregada para a produção da camada exterior. Essa escolha está atrelada, entre outras variáveis, às características físicas do empreendimento, como as dimensões do terreno e arquitetura do edifício. De acordo com a plataforma escolhida, a produção da Fachada Leve poderá ocorrer de maneira mais ou menos rápida com

relação ao cronograma global do empreendimento. Tal fato implica principalmente na liberação de serviços internos ao pavimento, assim como na mobilização de equipes, disponibilidade de materiais e estoques e movimentação de recursos financeiros. Assim, destaca-se a importância do planejamento e cronograma de atividades conciliando a escolha da plataforma, de forma a evitar “gargalos” durante a produção do edifício.

Com a elaboração do estudo de caso, foi possível verificar a importância da inserção da Fachada Leve no edifício desde a sua concepção. Tal fato foi observado pelas dificuldades encontradas ao se adaptar um edifício já existente, pensado para uma solução de fachada em alvenaria de blocos tradicional.

Observou-se que para o sistema Fachada Leve propiciar menor desperdício de materiais durante a construção, é imprescindível a concepção de um projeto que leve em conta a modularidade dos painéis e perfis metálicos. A modularidade pode ser levada em conta principalmente na definição de vãos entre pilares externos e pé direito. Dessa forma, evita-se o corte excessivo de placas, bem como, otimiza-se a quantidade de perfis instalados em um pavimento.

Outro impacto bastante significativo encontrado é a estrutura do edifício. Para que não se alterasse a arquitetura, com a remoção das vigas houve a necessidade de se criar paredes maciças estruturais no pavimento, o que gerou problemas nas interfaces com instalações hidráulicas e sanitárias. Pelo mesmo motivo, utilizou-se uma solução de interface entre Fachada Leve e pilares que exige uma regularidade de prumo bastante grande durante sua execução. Caso pensada desde o início com a tecnologia, a estrutura do edifício poderia ter sua estabilidade garantida com uma configuração mais eficiente, bem como, poderia ter sido utilizada uma solução de interface com a Fachada Leve que permitisse maior flexibilidade em termos de regularidade geométrica.

Também com o estudo de caso, foi possível verificar que o sistema apresenta um potencial de redução do prazo de execução de obra. Conforme discutido anteriormente, caso bem escolhida a plataforma de trabalho, com as equipes corretamente dimensionadas e a sequência de atividades devidamente planejada, chega-se à redução de prazo global de obras da ordem de 2 a 3 meses, estimativa em acordo com informações obtidas junto aos profissionais entrevistados.

Em contrapartida, verifica-se também o fato de que a Fachada Leve apresenta custos diretos maiores quando comparados com os custos envolvidos para a produção de fachadas em alvenaria de blocos com revestimentos de argamassa. Tal fato pode ser um impedimento para a adoção da tecnologia no ambiente nacional, principalmente por ser um sistema ainda não muito difundido no mercado e comercializado por poucas empresas. Soma-se a isso o fato de que parte dos produtos e componentes são importados, o que dificulta ainda mais a implantação do sistema em um cenário de taxas de conversão de moedas desfavorável.

Apesar de apresentar maiores custos, fica como sugestão para um trabalho futuro a análise mais profunda do ponto de vista econômico-financeiro do sistema Fachada Leve, analisando possíveis benefícios obtidos pela redução de prazo em termos de taxa interna de retorno dos investimentos, ganhos obtidos pela redução da mobilização de equipes no tempo, redução de encargos e despesas de canteiro, como contas de água, luz, aluguel de equipamentos, dentre outros aspectos.

Em suma, o presente trabalho buscou de forma sucinta analisar as informações disponíveis a respeito dos Sistemas de Fachada em *Steel Frame* com Fechamentos em Chapas Delgadas Leves, chamados aqui de Fachada Leve. O trabalho buscou em um primeiro momento trazer os principais componentes disponíveis no mercado para a produção da tecnologia, demonstrar que a tecnologia é capaz de atender às necessidades dos usuários de um edifício e quais as atividades necessárias para produzi-lo. Na sequência, discutiu-se sobre a sua inserção no contexto de um edifício, entendendo as suas interações com outros subsistemas e impactos no planejamento, exemplificados com o auxílio de um estudo de caso.

Com relação à metodologia adotada, buscou-se dar bastante valor aos depoimentos de profissionais acadêmicos e de mercado envolvidos com a tecnologia. Como grande dificuldade para a execução do trabalho, destaca-se a carência de algumas informações, estudos disponíveis e obras de edifícios de múltiplos pavimentos executadas com a tecnologia.

Concluindo, espera-se que este trabalho possa ser utilizado como fonte de informações sobre o sistema Fachada Leve, ainda considerado como solução inovadora no Brasil. Conforme descrito em sua tese, Sabbatini (1989) afirma que “um novo sistema construtivo constitui-se em Inovação Tencnológica quando incorporar

uma nova ideia e representar um avanço sensível na tecnologia existente em termos de desempenho, qualidade ou custo de um edifício". Assim, apesar dos desafios encontrados, conclui-se que o sistema Fachada Leve apresenta avanços com relação às tecnologias usadas atualmente, destacando-se principalmente os quesitos de auxílio na redução de prazo de obras do edifício, questões de sustentabilidade e facilidade na sua montagem, confirmando ser uma Inovação Tecnológica com grande potencial de ser implantada no ambiente construído.

REFERÊNCIAS

- ABRAGESSO. **Manual de Montagem de Sistemas Drywall.** Associação Brasileira dos Fabricantes de Blocos e Chapas de Gesso. São Paulo, p. 51. 2004.
- ABRAGESSO. **Manual de Projeto de Sistemas Drywall.** São Paulo: [s.n.], 2006.
- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O Desafio da Sustentabilidade na Construção Civil.** São Paulo: Editora Blucher, v. 5, 2011.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM E662. Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials.** West Conshohocken. 2009.
- ARCELLORMITTAL S.A. Chapas/Tiras/Blanks/Rolos. Catálogo, mar. 2010. Disponível em: <http://longos.arcelormittal.com/produtos/planos_e_derivados/chapas_tiras_blanks_rolos/pdf/chapas_tiras_blanks_rolos.pdf>. Acesso em: 25 Outubro 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações.** Associação Brasileiras de Normas Técnicas. Rio de Janeiro. 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123. Forças devidas ao vento em edificações.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 66. 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442. Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de ensaio.** Rio de Janeiro, p. 15. 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15200. Projeto de Estruturas de Concreto em Situação de Incêndio - Procedimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 17. 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 23. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14715-1. Chapa de Gesso para Drywall - Requisitos.** Rio de Janeiro, p. 7. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762. Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 87. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14432. Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 14. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5674. Manutenção de edificações — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 25. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355. Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização.** Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7008. Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente Parte 1: Requisitos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 10. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575. Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos.** Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575. Edificações Habitacionais - Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 57. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253. Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações — Requisitos gerais.** [S.I.], p. 24. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498. Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaios.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, p. 23. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO DRYWALL. Resistência Mecânica e Fixação de Objetos em Drywall. São Paulo, p. 51. 2014.

BARROS, M. M. B. Metodologia de Implantação de Tecnologias de Construtivas Racionalizadas na Produção de Edifícios. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 442. 1996.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H. Tecnologia de Produção de Contrapisos para Edifícios Habitacionais e Comerciais. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 21. 1991.

BARROS, M. M. S. B.; SABBATINI, F. H.; FRANCO, L. S. Tecnologia de Vedações Verticais. PCC 2435 - Tecnologia da Construção de Edifícios I. Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, p. 70.

BARTH, F.; VEFAGO, L. H. M. Tecnologia de fachadas pré-fabricadas. Florianópolis. 2007.

BRASILIT SAINT-GOBAIN. Guia de Sistemas para Produtos Planos. [S.I.], p. 168. 2011.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. Caderno de Casos de Inovação na Construção Civil. Câmara Brasileira de Inovação Tecnológica. Salvador, p. 44. 2011.

CAMPOS, P. F. Light Steel Framing - Uso em construções habitacionais empregando a modelagem virtual como processo de projeto e planejamento. Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, p. 196. 2014.

CARDOSO, S. S. Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em light steel framing. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 245. 2015.

CARVALHO, K. Impermeabilização em light steel frame - construção leve, mais deformável, exige impermeabilizantes flexíveis e com desempenho elevado. Construção Mercado, p. 2, nov. 2014. Disponível em:

<<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/160/artigo330212-2.aspx>>. Acesso em: 08 jul. 2015.

CBIC. Caderno de Casos de Inovação na Construção Civil. Câmara Brasileira de Inovação Tecnológica. Salvador, p. 44. 2011.

CBIC. Desempenho de Edificações Habitacionais. Guia orientativo para atendimento à Norma ABNT NBR 15575/2013. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Brasília, p. 311. 2013.

CORPO DE BOMBEIROS. Instrução Técnica No 08/2011 - Resistência ao fogo dos elementos de construção. Polícia Militar do Estado de São Paulo. Secretaria do Estado dos Negócios da Segurança Pública. São Paulo, p. 12. 2011.

DECORLIT. Ecoplac Cimentícia Decorlit - Manual Técnico Placa Cimentícia Prensada e Impermeabilizada. [S.I.], p. 39. 2015.

DUPONT. Dupont Tyvek Mechanically Fastened Air and Water Barrier Installation Guidelines. [S.I.], p. 18. 2014.

EDITORAR PINI. Tecnologia - Trabalho nas Alturas. Revista Techne, 2007. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/124/artigo285385-2.aspx>>. Acesso em: 27 set. 2015.

EDITORAR PINI. Obras: Revista Téchne. Revista Téchne, 2011. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/183/estrutura-rapida-solucoes-industrializadas-viabilizam-execucao-de-estrutura-e-286920-1.aspx>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

EDITORAR PINI. Execução de revestimento aderido de pisos e paredes com rochas ornamentais. Revista Construção Mercado, dez. 2012. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/137/artigo299661-1.aspx>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

EDITORAR PINI. Lajes Planas Eliminam Vigas. Revista Construção Mercado, Agosto 2013. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/145/lajes-planas-eliminam-vigas-construtora-bko-lanca-empreendimentos-que-299183-1.aspx>>. Acesso em: 20 out. 2015.

EDITORAS PINI. Lajes Planas Eliminam Vigas. **Revista Construção Mercado**, Agosto 2013. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/145/lajes-planas-eliminam-vigas-construtora-bko-lanca-empreendimentos-que-299183-1.aspx>>. Acesso em: 20 out. 2015.

EDITORAS PINI. Construção e Mercado, Junho 2014. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/155/artigo312998-2.aspx>>.

EDITORAS PINI. Equipe de obra. **Revista Construção Mercado**, 2014. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/39/artigo227876-1.aspx>>.

EDITORAS PINI. Veja orçamento para obra de hotel de padrão médio em Brasília. **Revista Construção Mercado**, out. 2015. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/171/veja-orcamento-para-obra-de-hotel-de-padroao-medio-em-364811-1.aspx>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

EIFS INDUSTRY MEMBERS ASSOCIATION. About EIFS. **EIFS Industry Members Association**, 2015. Disponível em: <<http://www.eima.com/about-eifs.shtml>>. Acesso em: 18 out. 2015.

ETERNIT. **Catálogo Técnico Eterplac**. Eternit. São Paulo, p. 23. 2014.

FIEB. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução Reutilização e Reciclagem**. Federação das Indústrias do Estado da Bahia. Salvador, p. 79. 2007.

FONTENELLE, J. H. **Sistema de fixação de juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 219. 2012.

FRANCO, L. S. **O Projeto das Vedações Verticais: Características e a Importância para a Racionalização do Processo de Produção**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 16. 1998.

GOOGLE MAPS. Maps. **Google**, 2015. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/R.+Toledo+Barbosa,+476+->>

+Belenzinho,+S%C3%A3o+Paulo+-+SP/@-23.5414707,-46.5880467,17z/data=!3m1!4b1!4m2!3m1!1s0x94ce5ecfd209735d:0x7c9b9858d7cad2c9?hl=en>. Acesso em: 25 nov. 2015.

GYPSUM DRYWALL. Lã de Vidro. Ficha de Produto. **Gypsum Drywall**, 2010. Disponível em: <http://www.gypsum.com.br/shared/produto_la_de_vidro.pdf>. Acesso em: 25 Outubro 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1182. Reaction to fire tests for products - Non-combustibility test**. Londres, p. 32. 2010.

ISOVER. **Wallfelt Isolação para Paredes**. [S.I.], p. 4. 2010.

ISOVER SAINT-GOBAIN. **Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico Wallfelt**. Saint-Gobain do Brasil LTDA. São Paulo. 2012.

JOHN, V. M. et al. Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira. **Workshop sobre Durabilidade das Construções. Vol 2.**, São Paulo, v. 02, 2001.

KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS. **Steel Framing System Installation Manual**. Birmingham, p. 57. 2014.

KINGSPAN STEEL BUILDING SOLUTIONS. **Steel Framing System Technical Manual**. Birmingham, p. 120. 2014.

KNAUF. **Build exterior walls faster using drylining methods. Knauf Aquapanel Exterior Wall**. Knauf. Iserlohn, p. 56. 2011.

KNAUF. **Manual de Instalação Sistemas Drywall**. Knauf. [S.I.], p. 60. 2014.

LEROY MERLIN. Soleira Granito Gialo 14x92cm Trento Marmi. **Leroy Merlin**, 2015. Disponível em: <http://www.leroymerlin.com.br/soleira-granito-gialo-14x92cm-trento-marmi_89211080?origin=5bab3c00af88a1c20a7dac9>. Acesso em: 25 nov. 2015.

LP BUILDING PRODUCTS. **Catálogo Técnico LP OSB. Placas Estruturais Para Construção**. [S.I.], p. 8. 2012.

LSTIBUREK, J.; UENO, K. **Bulk Water Control Methods for Foundations**. Building Science Corporation. Somerville, p. 34. 2011.

MARQUES, R. Tecnologia para redução de custos. **Construção Mercado**, 2012. Disponivel em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/126/artigo299702-1.aspx>>. Acesso em: 05 jun. 2015.

MEDABIL S.A. Unidades de Negócio Multiandares. **Medabil Multiandares**, 2015. Disponivel em: <<http://www.medabil.com.br/unidades-de-negocio/multiandares/>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

MEDEIROS, J. S. et al. **Tecnologias de Vedaçao e Revestimento para Fachadas**. Instituto Aço Brasil. Rio de Janeiro, p. 128. 2014.

MEDEIROS, J. S.; FRANCO, L. S. **Prevenção de Trincas em Alvenarias Através do Emprego de Telas Soldadas Como Armadura e Ancoragem**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 78. 1999.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diretriz para Avaliação Técnica de Produtos No 003 Revisão 01. Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “Light Steel Framing”)**. Ministério das Cidades. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat. Brasilia, p. 51. 2012.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Diretriz para Avaliação Técnica de Produtos No 009 - Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas delgadas**. Ministério das Cidades. Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat PBQP-H. Brasilia, p. 49. 2012.

NETO, A. C. N.; SPOSTO, R. M. **Sustentabilidade energético ambiental de fachadas aplicada ao sistema steel frame**. IV Econtro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória: [s.n.]. 2011. p. 9.

NUNES, F. Email: Dúvidas sobre prazo e método de execução e componentes do Sistema Aquapanel (Knauf), 2015. Acesso em: 20 nov. 2015.

ODEBRECHT REALIZAÇÕES IMOBILIÁRIAS. Wind Residencial. **Odebrecht Realizações Imobiliárias**, Rio de Janeiro, 2014. Disponivel em: <<http://www.orealizacoes.com.br/residenciais/wind-residencial/>>. Acesso em: 05 ago. 2015.

OLIVEIRA, L. A. **Metodologia para Desenvolvimento de Projeto de Fachadas Leves**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 287. 2009.

OLIVEIRA, L. A.; MELHADO, S. B. **Projeto de Fachadas Leves: Especificações de Desempenho**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 19. 2009.

OLX. Le Champ, Cyrela no Belém, apartamento novo, 68 m². **OLX**, 29 out. 2015. Disponível em: <<http://sp.olx.com.br/sao-paulo-e-regiao/imoveis/le-champ-cyrela-no-belem-apartamento-novo-68-m2-63279691>>. Acesso em: 20 nov. 2015.

PACINI, A. N. **Comparativo entre eficiência de: Sistemas Isolantes Térmicos Convencionais e Sistemas Refletivos**. [S.I.], p. 100. 2012.

PLACLUX. **Relatório de Ensaios PlacLux PROFORT Sistema de Placa Cimentícia**. PlacLux. Araucária, p. 8. 2014.

PLACLUX. **Manual de Instalação e Manuseio PROFORT Placa Cimentícia**. Placlux. Araucária, p. 32. 2015.

RESENDE, M. M.; BARROS, M. M. S. B. B.; MEDEIROS, J. S. **A Influência da Manutenção na Durabilidade dos Revestimentos de Fachada dos Edifícios**. São Paulo. 2000.

SÃO PAULO (MUNICÍPIO). **Lei No 16.050, de 31 de Julho de 2014. Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo e revoga a Lei no 13.430/2002**. São Paulo: [s.n.], 2014.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de Métodos, Processos e Sistemas Construtivos - Formulação e Aplicação de uma Metodologia**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 207. 1989.

SABBATINI, F. H.; FRANCO, L. S.; BARROS, M. M. S. B. **Tecnologia de Vedações Verticais. Notas de Aula PCC 2435 - Tecnologia da Construção de Edifícios I**. Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 70. 2007.

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema light steel framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não estrutural**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, p. 153. 2008.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CASTRO, R. C. M. D. **Steel framing: arquitetura.** Instituto Aço Brasil/CBCA. Rio de Janeiro, p. 151. 2012.

SANTIAGO, A. K.; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. **Steel framing: arquitetura.** Instituto Aço Brasil/CBCA. Rio de Janeiro, p. 151. 2012.

SINAPI. **Caderno técnico das composições de argamassas.** Caixa Econômica Federal. [S.I.]. 2014.

SINAPI. **Caderno técnico das composições para revestimentos.** Caixa Econômica Federal. [S.I.]. 2014.

SINAPI. **Caderno técnico do grupo de alvenaria de vedação.** Caixa Econômica Federal. [S.I.]. 2014.

SINAPI. **Preços de insumo.** Caixa Econômica Federal. [S.I.]. 2015.

SINAPI. **Preços de insumo.** Caixa Econômica Federal. [S.I.]. 2015.

SIQUEIRA JUNIOR, A. A. *Tecnologia de Fachada Cortina com Placas de Grês Porcelanato*, São Paulo, 2003.

SIURB. Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana, 2015. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/>. Acesso em: 10 nov. 2015.

SIURB. Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana, julho 2015. Disponível em: <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/infraestrutura/tabelas_de_custos/>. Acesso em: 10 nov. 2015.

SOUZA, U. E. L. **Produtividade e Custos dos Sistemas de Vedação Vertical.** Escola Politécnica da USP. São Paulo, p. 237-248. 1998.

SOUZA, U. E. L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33-46, Outubro 2004.

TESIS. **Avaliação dos Sistemas KNAUF AQUAPANEL.** Tesis Tecnologia e Qualidade de Sistemas. São Paulo, p. 49. 2014.

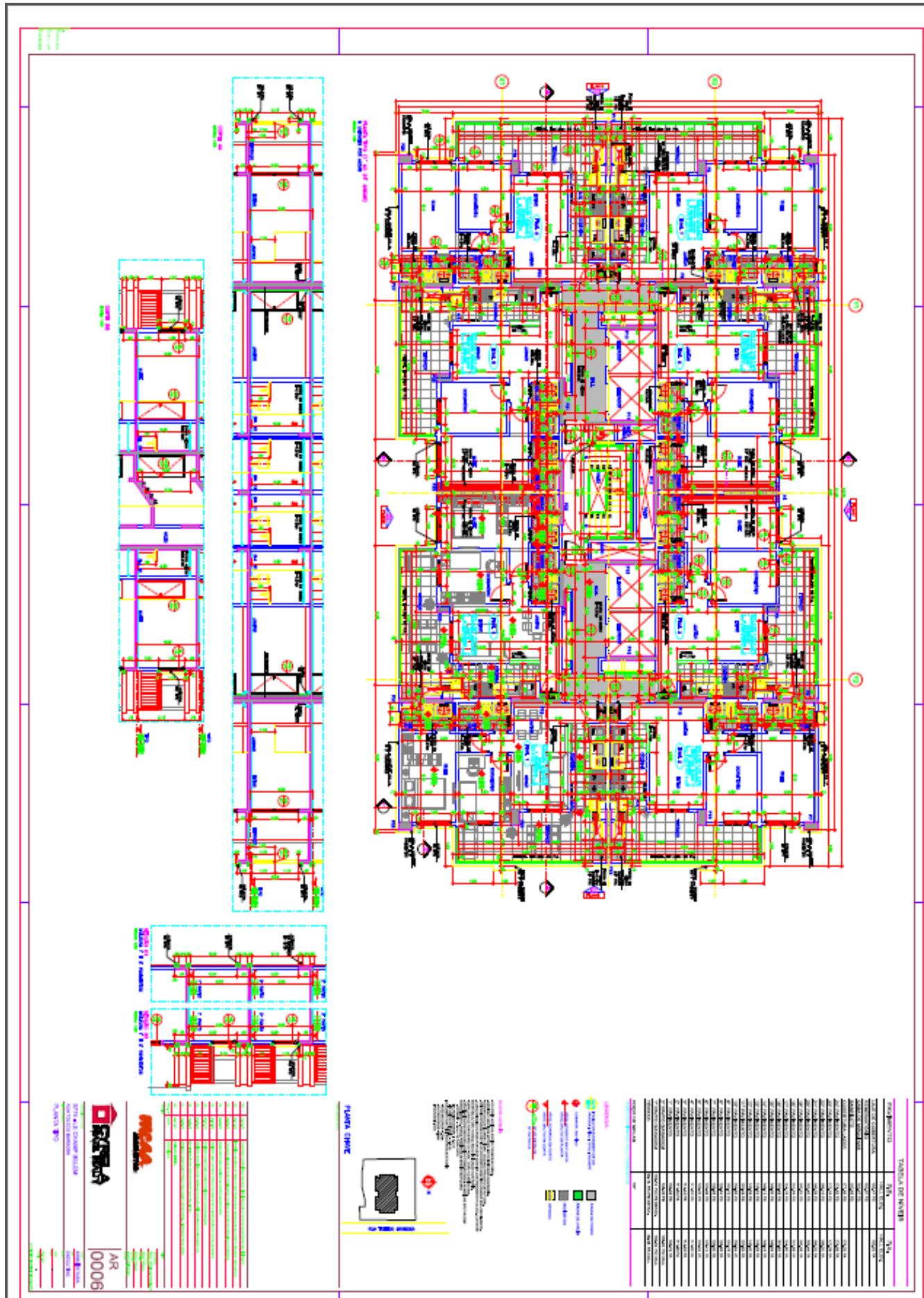
TIGRE SA. **Catálogo técnico Predial Esgoto.** [S.I.]. 2015.

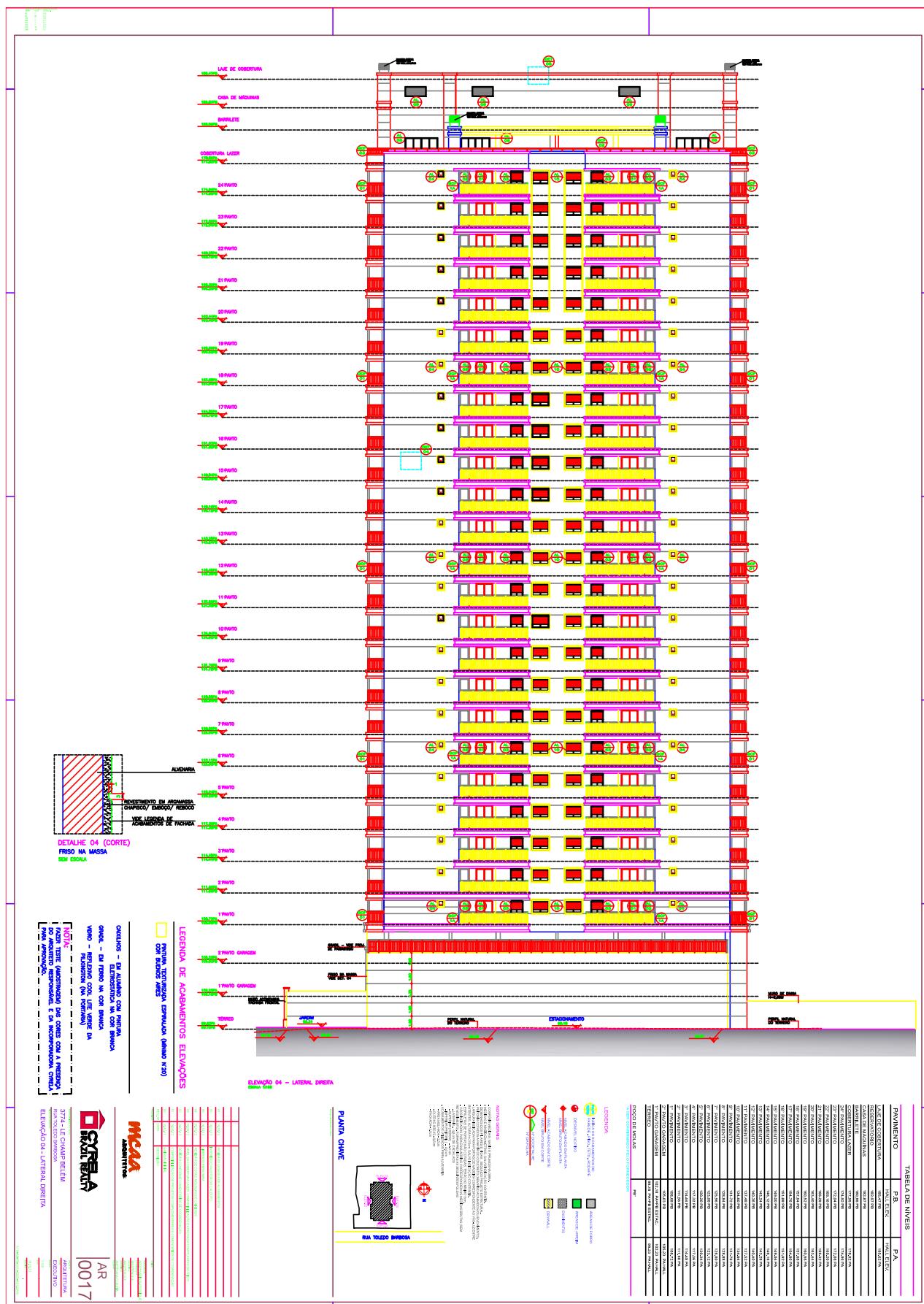
USG. **Manual Técnico USG DUROCK.** [S.I.], p. 40. 2014.

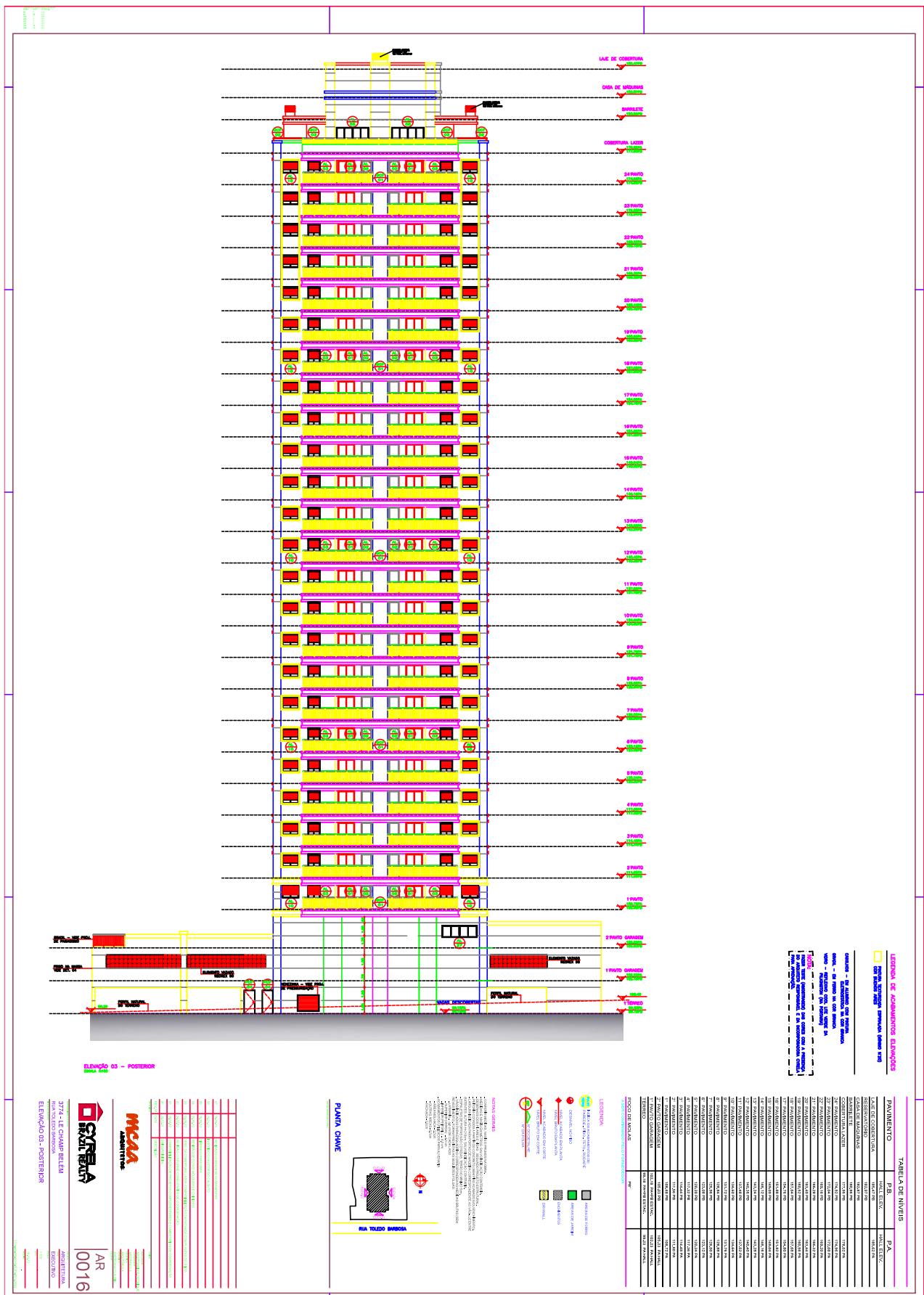
ZATT, G. **Fechamento de Paredes de Vedação: Sistema Light Steel Frame Utilizando Placas Cimentícias.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Porto Alegre, p. 71. 2010.

ANEXO I

Cyrela Le Champ – Arquitetura – Projeto Executivo – Pavimento Tipo e Elevações

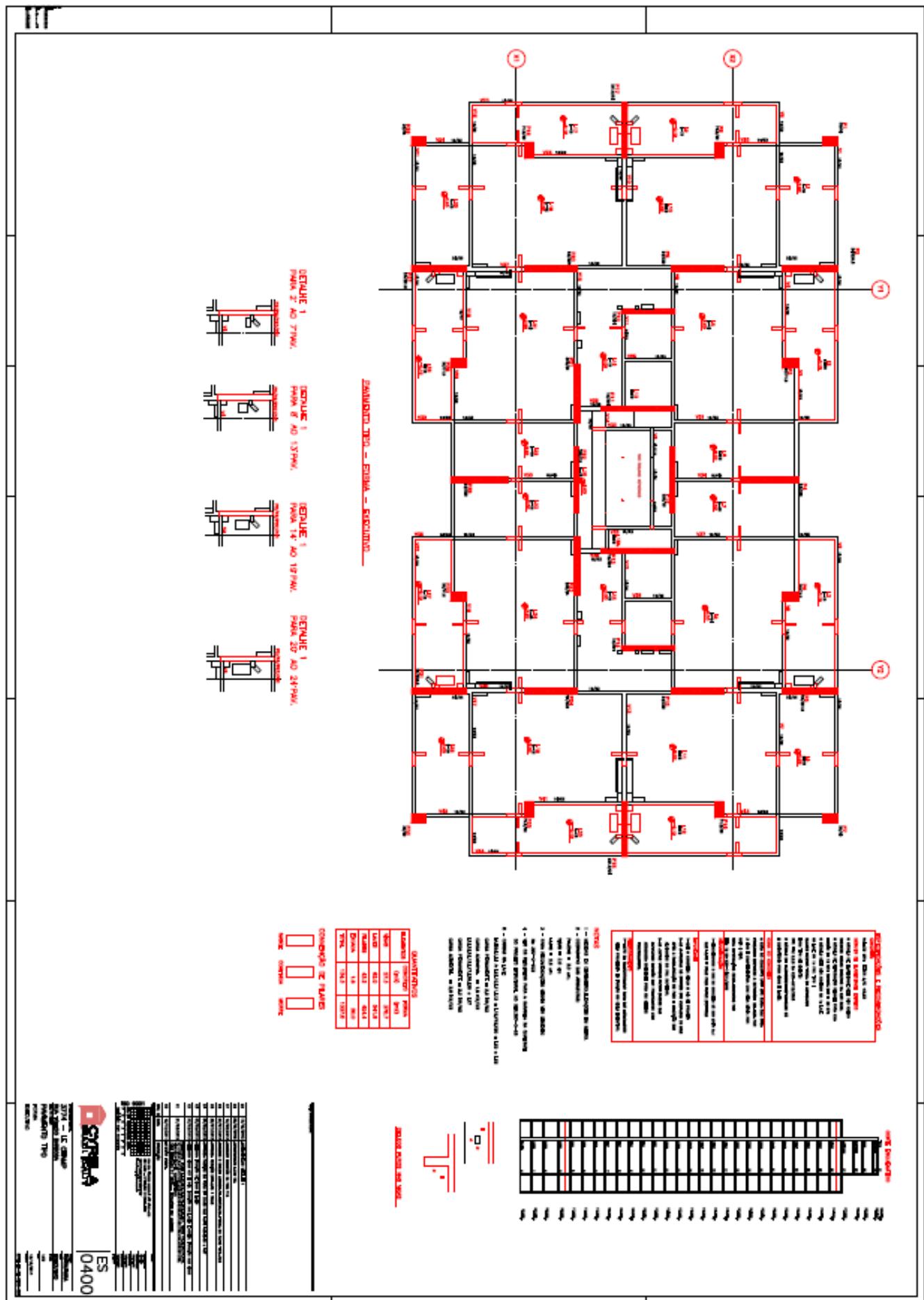






ANEXO II

Cyrela Le Champ – Estrutura – Projeto Executivo – Formas



APÊNDICE A

Modelo de Questionário utilizado durante entrevistas.

Escolha do Sistema
Quem toma a decisão pelo uso da tecnologia de fachadas leves? Você que propõe a tecnologia? O empreendedor? Construtor?
Qual seria seus motivos para implantar esse sistema?
Componentes
Quais são os componentes que você mais utiliza no projeto - materiais para as diversas camadas, elementos especiais de interface, etc.?
Modulação
Os edifícios que vc trabalhou levaram a modularidade dos painéis em consideração?
O que foi determinante na concepção do projeto - modularidade dos painéis ou do steel frame?
Há muito corte de painéis?
Desempenho
Quando se vai projetar o sistema, qual requisito acaba sendo mais significativo? Segurança estrutural, ao fogo, estanqueidade, conforto, sustentabilidade?
Como os aspectos de desempenho são considerados na hora de projetar?
<u>Segurança estrutural</u> - que aspectos são levados em consideração? Como é feito o dimensionamento das peças? Apenas o Steel Frame é dimensionado?
Tem norma específica para o dimensionamento?
Quem é o responsável pelo não atendimento do desempenho?
Existem ensaios que são tomados como base durante o projeto?
Como estamos lidando com shopping, existe alguma norma similar a NBR 15575 que é levada em consideração?
Quais são os parâmetros de desempenho considerados no projeto para:
<u>Segurança Estrutural</u>

<u>Segurança ao fogo</u>
<u>Estanqueidade</u>
<u>Conforto térmico e acústico</u>
<u>Sustentabilidade</u>
<u>Segurança ao fogo</u> - como está sendo contemplada? Existem elementos e detalhes específicos que merecem atenção?
Existem exigências do corpo de bombeiros para o sistema específico?
<u>Durabilidade</u> - como vc estima uma vida útil para o projeto?
Existem históricos, laudos que possibilitam essa estimativa?
Interface com outros subsistemas - como são tratadas as interfaces entre
Fachada e estrutura
Fachada e esquadrias - problema de perfis de aço x janelas de alumínio
Fachada e revestimentos
Fachada e sistemas prediais
Aspectos Construtivos
Como é a sequência de execução do sistema?
O revestimento impacta no projeto do sistema?
Quais os tipos de revestimentos mais utilizados
Juntas
As juntas são realmente algo que atrapalha o sistema?
Quais são as medidas tomadas geralmente?
Algum outro sistema de impermeabilização?

APÊNDICE B

Relatório de Visita à Obra BKO BK30, São Paulo, SP

Dados gerais

- Data da visita – 20/08/2015
- Endereço – R. Coronel Luis Barroso, 392. São Paulo, SP
- Visitantes – Leonardo Andretta Oliveira, Arq. Silvia Scalzo,
- Representantes - Eng. Rodrigo Sousa (BKO), Arq. Fernanda Nunes (Knauf)
- Empreendedor – BKO Engenharia E Comércio
- Gerente da obra: Eng. Rodrigo Sousa
- Responsável Knauf – Arq Fernanda Nunes
- Projeto de Arquitetura – Marcos Gavião
- Projetista de Fachadas – Inovatec Consultores Associados – Eng. Jonas Medeiros
- Instaladora do sistema – Gessonew
- Obra possui 12 pavimentos: 1 Subsolo, 1 térreo, 1 sobressolo, 8 pavimentos tipo + 1 pavimento de cobertura
- Obra residencial, apartamentos tipo studio, 10 unidades por pavimento
- 75 unidades de 32 m², 32 unidades de 35 m², 2 unidades duplex de 70 m² e 8 unidades duplex de 57 m²
- 2000 m² de fachada

Concepção do Projeto

- Motivo para utilização do sistema – quesito inovação
 - Fazer um edifício protótipo e colocar na cultura da empresa, assim como outras soluções adotadas no passado
- BKO já havia trabalhado com outras soluções da Knauf, como o drywall, por meio de conversas entre ambas empresas, optou-se por utilizar o Aquapanel
- Todo o projeto do produto do edifício foi pensado para se utilizar o sistema Aquapanel
 - Envolvimento dos projetistas de arquitetura, instalações
- Para se facilitar as **questões de interface**, algumas das soluções foram:
 - Utilização de **lajes planas de concreto armado**, espessura 20 cm
 - Questão das irregularidades da estrutura acabada – correção com utilização de cantoneiras de aço e aplicação de mástique
 - Junta entre pilares e parede – utilizado bite
 - Utilização de **esquadrias** piso teto em todas as unidades (exceto nos banheiros, onde foram utilizadas janelas maxim-ar de pvc)
 - Fixação das esquadrias nas lajes de concreto
 - Preenchimento do vão entre esquadrias e parede com cola poliuretânica
 - Todas as unidades possuem varanda – aproveitadas como plataforma de trabalho
 - Em locais onde não existe a plataforma de trabalho, foi utilizado balancim convencional

- **Impermeabilização**
 - Varandas inclinadas para fora
 - Não existem ralos
 - Aplicação de pintura impermeabilizante
- **Instalações**
 - Utilização de sancas para embutimento das instalações
 - Rede de água fria em PEX
 - Tubos e conduítes – não disseram se utiliza chicote elétrico
 - Chuveiro – utiliza-se piso box nos chuveiros
 - Instalações hidráulicas das pias não são embutidas – utilização do kit hidráulico e fechamento com chapa de gesso acartonado
- Não foi considerado o uso de outras placas cimentícias nacionais devido ao fato de estas terem absorção à água elevada, justificativa era que sistema da Knauf possuía garantia
- Houve necessidade de revisão do projeto ao longo da fase de obras
 - Projetista de fachadas não havia considerado a utilização das esquadrias piso teto
 - Revisão possibilitou melhor aproveitamento dos painéis – em um primeiro momento, havia corte de tiras dos painéis
 - Diminuiu quantidade de resíduos e aumentou produtividade
 - No primeiro projeto, o projetista tratou a fachada por panos
 - No segundo projeto, foram estudados segmentos de fachada em um mesmo pano, devido à interrupção causada pelos caixilhos
- Inicialmente os pilares eram alinhados com as paredes, depois, os pilares foram sacados por questão estética (o empreendimento será entregue com os pilares e laje de teto em concreto aparente)
- Alteração permitiu eliminar encontros em 90 graus entre paredes de fachada, o que poderia ser um problema para tratar as juntas

Dificuldades

- Implantar tecnologia nova que nem todos, nem mesmo dentro da empresa, têm o domínio
- Houveram treinamentos in loco fornecidos pela Knauf
- Funcionários da empresa Gessonew participaram de cursos fora da cidade de São Paulo
- Divulgação de conhecimento, material técnico através de showroom montado pela Knauf

Componentes utilizados

- Face interna – 2 chapas gesso acartonado RF espessura 12,5 mm
- Face externa – placa cimentícia Aquapanel – 12,5 mm
- Revestimento *Basecoat* – 7 mm
- Perfis de aço utilizados – espessura de 6 mm
- Não se utilizou nenhum tipo de isolamento térmico
 - Apenas na passagem de lajes, foi utilizada a lã de rocha como Firestop

- Fita de banda acústica do sistema Aquapanel (neoprene)

Algumas informações sobre desempenho

- Simulação de transmitância – passou com folga
- Perguntado sobre a questão da Capacidade Térmica – foi justificado que o critério é uma falha normativa, e que nenhum sistema disponível no mercado é capaz de atende-lo
 - Justificativa da Arq. Fernanda é que a NBR 15575 foi baseada levando-se edifícios com vedação em alvenaria de blocos como padrão, e portanto existem duas ambiguidades – o critério para transmitância térmica é muito permissivo (em comparação com países da América do Norte e Europa); enquanto que critério de Capacidade Térmica é uma falha Normativa e deve ser revisado.

Dados sobre prazo/produtividade

- Arq Fernanda (Knauf) irá encaminhar dados de produtividade (em Hh/m²) medidos em obra
- Números utilizados para elaboração de cronograma e planejamento
 - Fixação de guias e montantes – 5d/andar
 - Guias e montantes são fixados laje a laje – método de colocação embutido
 - Placas cimentícias formam um pano contínuo
 - Colocação da manta impermeabilizante (Tyvek) – 2,5 d/andar
 - Fixação de Chapas – 2,5 d/andar
 - Tratamento de juntas com massa cimentícia – 5d/andar
 - Aplicação de malha de fibra de vidro + basecoat – 5d/andar
 - Perguntado se a etapa de tratamento de juntas era mesmo o gargalo em termos de produtividade do sistema – Engenheiro Rodrigo respondeu que não, a pior etapa era a aplicação de basecoat.
 - Estimativa média total para cada pavimento – 20 d/pavimento
- Previsão da obra – 17 meses
 - Estimativa da engenharia para uma obra do mesmo porte, executada com a solução de vedação tradicional – 22 meses
- Dados observados na prática foram em média os mesmos que os planejados
- Planejamento foi montado com base nos dados fornecidos pela Knauf, já com margem de erro considerável aplicada

Vantagens relatadas pelo Engenheiro

- Queda de materiais evitada
- Redução da emissão de material particulado
- Redução de áreas de estoque – limitação de terreno e recuos limitados da torre

- Quantidade de entulho reduzida – não há aplicação de argamassa de assentamento
 - Relatado que é possível enviar resíduos de gesso acartonado para reciclagem
- Impressão Geral da engenharia – apesar das dificuldades de se entender a tecnologia no início, o engenheiro considerou tecnicamente viável a replicação em outros empreendimentos
- Empresa tem intenção de realizar mais empreendimentos com o sistema
 - Porém, próximos lançamentos BK30 não utilizarão o sistema
 - Devido a alta do dólar, e utilização de um sistema importado, sua aplicação não se viabilizou economicamente