SILVIA SCALZO CARDOSO

**Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em
*light steel framing***

São Paulo
2016

SILVIA SCALZO CARDOSO

**Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas em
*light steel framing***

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências no Programa Mestrado
Profissional em Inovação na Construção
Civil

São Paulo

2016

SILVIA SCALZO CARDOSO

**Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em
*light steel framing***

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências no Programa Mestrado
Profissional em Inovação na Construção
Civil

Área de Concentração: Mestrado
Profissional em Inovação na Construção
Civil

Orientadora: Prof^a. Dra. Mercia Maria
Bottura de Barros

São Paulo

2016

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

São Paulo, 24 de fevereiro de 2016

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

Catálogo-na-publicação

Cardoso, Silvia Scalzo

Tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em *light steel framing* / S. S. Cardoso – versão corr.- São Paulo, 2016.

258 p.

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

1. Engenharia Civil 2. Construção Civil 3. Sistemas e processos construtivos
4. Elementos e componentes da construção 5. Fachadas
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II. t.

Aos meus filhos, Laura e Luís Francisco

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Professora Mercia Maria Bottura de Barros pela orientação, dedicação e leitura atenta do trabalho durante o seu desenvolvimento.

Aos professores Luciana Alves de Oliveira e Flávio Maranhão pelos comentários e críticas durante o exame de Qualificação.

Aos membros da banca de defesa, Professor Fernando Henrique Sabbatini e Eng. Paul Houang, pela cuidadosa avaliação.

Ao meu esposo Francisco Ferreira Cardoso e à minha família por todo o apoio recebido durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos que me incentivaram, em especial, Laura Marcellini, Eneida de Almeida, Maria Alice Gonzales, Maria Isabel Rodrigues Teixeira e Miriam Andraus Pappalardo.

A todas as empresas e profissionais que dedicaram parte do seu tempo para o fornecimento de informações sobre o sistema, em especial aos arquitetos René Deleval e Prof. Etienne Lebrun.

Ao Centro Brasileiro da Construção em Aço e ao Instituto Aço Brasil pelo incentivo e pelo apoio no fornecimento de material bibliográfico.

À ArcelorMittal pelo contínuo estímulo ao aperfeiçoamento das competências do indivíduo e da organização.

RESUMO

Aumento da produtividade, melhorias na qualidade dos produtos, redução de custos e de impactos ambientais são essenciais para a capacidade competitiva das empresas. A execução da fachada faz parte do caminho crítico da obra, por ser um subsistema que associa as funções de fechamento, acabamento, iluminação e ventilação e ainda por incorporar sistemas prediais; apresenta, por isso também, um alto custo direto em relação aos outros subsistemas do edifício. A tecnologia construtiva de fachadas em chapas delgadas com estrutura em *Light Steel Framing* (LSF) é uma alternativa viável para aumentar a produtividade e reduzir os prazos de obra, com qualidade e desempenho, e pode trazer benefícios em relação a atividades intensas em mão de obra como é o caso da alvenaria de vedação e de seus revestimentos. O presente trabalho tem por objetivo sistematizar e analisar o conhecimento relativo a essa tecnologia construtiva de fachada. O método adotado compreende revisão bibliográfica. Como contribuição, o trabalho reúne um conjunto organizado de informações sobre os principais sistemas disponíveis no mercado contemplando: a caracterização do sistema de fachada, de suas camadas e dos perfis leves de aço e a sistematização das principais avaliações técnicas de sistemas existentes em outros países, reunindo normas técnicas de produtos e de execução. Acredita-se que a reunião e organização das informações, antes dispersas em diversas referências, têm potencial para subsidiar o meio técnico para tomada de decisão quanto ao uso adequado da nova tecnologia.

Palavras-Chave: Chapas delgadas. Fachada leve. *Light Steel Framing*. Estrutura em perfis de aço galvanizado formados a frio.

ABSTRACT

Increase productivity, improve product quality and reducing costs and environmental impact are essential for a competitive business. One of the critical paths of construction projects is the execution of the façade, a subsystem that associates multiple functions as sealing, finishing, lighting and ventilation feature and may incorporate other building systems. As another characteristic of these properties, a façade possess an important direct cost in relation to other subsystems. The building technology of light steel external wall system is a viable alternative, as it holds a potential to increase productivity, reduce construction deadline and bring benefits in regards to the labor heavy nature of masonry and mortar cladding. This research aims to organize the knowledge on the building technology of light steel external wall facade. The research method comprises a technical literature review. As a result, this study combines an organized ensemble of information about characterization of the light steel external wall system, its layers and steel profile. The work also performs an analysis of technical evaluations of existing systems in other countries, gathering technical standards of products and assembling techniques. The information here presented may serve as reference to the technical community by compiling and organizing information available in various and dispersed references.

Keywords: Façade. Light steel external wall systems. Cold-formed steel structures

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Técnica do <i>Balloon Frame</i>	64
Figura 2- Trecho de fachada mostrando revestimento de mármore fixado com rebites	65
Figura 3 – Projeção da argamassa de proteção sobre a placa cimentícia	74
Figura 4 – Reforço sobre as placas cimentícias junto às aberturas. (1) Estrutura portante;	75
Figura 5 Posição da barreira de vapor em sistemas leves de fachada em climas frios:	78
Figura 6 - Maneiras que a água penetra no edifício	78
Figura 7 – Perfis transversais ou barras resilientes para fixação das chapas de gesso acartonado	84
Figura 8 – Moldura entorno da esquadria para adaptação à espessura do isolante e revestimento em fachadas com sistemas ETICS	87
Figura 9 - Método Embutido de montagem dos painéis em LSF	89
Figura 10 - Método Embutido de montagem de painéis de LSF em estrutura metálica	90
Figura 11 - Possibilidades de inserção dos perfis constituintes dos painéis pelo método embutido em vigas e pilares de aço	91
Figura 12 - Possibilidades de inserção dos perfis guias e montantes constituintes dos painéis pelo método embutido em laje de concreto	92
Figura 13 - Posicionamento dos elementos do painel leve em LSF em função dos elementos de contraventamento da estrutura principal	93
Figura 14 - Representação gráfica de vedação vertical no método embutido de montagem dos painéis em LSF	94
Figura 15 - Método contínuo de montagem dos painéis em LSF	95
Figura 16 - Método Contínuo de montagem dos painéis em LSF	95
Figura 17 - Método contínuo de montagem dos painéis em LSF em edifício em estrutura metálica	96
Figura 18 - Conector fixado a estrutura principal e aos perfis do painel de fachada para produção do método cortina de montagem dos painéis em LSF	97
Figura 19 - Perfil cantoneira horizontal a cada quatro andares para suporte dos perfis dos painéis em LSF montados segundo método contínuo	98
Figura 20 - Conectores do sistema Kingspan para fixação à estrutura principal pela aba menor e na aba maior ocorre a fixação dos perfis do painel de fachada pelo método contínuo de montagem dos painéis em LSF. Os furos oblongos permitem regulagem na fixação dos perfis	98
Figura 21 - Conectores do sistema F4 para fixação à estrutura principal pela chapa com uma só furação e no septo ocorre a fixação dos perfis do painel de fachada pelo método contínuo de montagem dos perfis em LSF. Os furos oblongos permitem regulagem na fixação dos perfis	99
Figura 22 - Conectores do sistema Metsec para fixação à estrutura principal pela aba menor e na aba maior ocorre a fixação dos perfis do painel de fachada pelo método contínuo de montagem dos painéis em LSF. Os furos oblongos permitem regulagem na fixação dos perfis	99
Figura 23 - Conexões para fixação dos perfis externamente a estrutura em concreto	100

Figura 24 - Conexões para fixação dos perfis externamente a estrutura em aço tornando possível à fixação a alma da viga sem que haja interferência das mesas	101
Figura 25 - Fixação do conector à laje e fixação dos perfis montantes aos conectores no sistema F4.....	102
Figura 26 - Representação gráfica de vedação vertical no método contínuo.....	103
Figura 27 - Método contínuo em obra de reabilitação de hospital, na qual a estrutura primária de concreto (foto superior) apresentava desalinhamento em relação ao prumo. A foto do meio mostra a instalação dos perfis pelo método contínuo e do isolamento externo (ETICS) e a foto inferior mostra a instalação dos painéis de revestimento.....	104
Figura 28 - Painel com perfis de LSF e isolamento externo (ETICS) pré-fabricado sendo içado para a posição de fixação	106
Figura 29 – Pré-fabricação de painéis de perfis de LSF com aplicação de membrana de estanqueidade e aplicação de revestimento aderido sobre as chapas	106
Figura 30 - Posicionamento dos painéis em chapas delgadas estruturadas em LSF na fachada do edifício para fixação à estrutura primária.....	107
Figura 31 – Processo de conformação a frio de rolos de bobinas cortadas longitudinalmente em perfis.....	113
Figura 32 - Linha de galvanização contínua da ArcelorMittal Vega.....	126
Figura 33 - Correspondência entre dimensões do perfil e guia	139
Figura 34 – Largura mínima da mesa do perfil	140
Figura 35 – Furo oblongo no perfil montante para permitir movimentações diferenciais em relação à guia.....	143
Figura 36 - Aberturas nos perfis montantes	144
Figura 37 - Composições de perfis para reforços de aberturas para as laterais (a); para as vergas (b); e contravergas (c).....	147
Figura 38 - Largura mínima para apoio do perfil guia.....	148
Figura 39 – Fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF com terraços	149
Figura 40 – Fachada com vedações verticais curvas durante e após execução.....	150
Figura 41 – Fachada com vedações curvas no sistema F4	150
Figura 42 - Elementos de apoio para aberturas de janelas com grandes vãos em vedações verticais de LSF	153
Figura 43 - Contexto de avaliação brasileiro e europeu	160
Figura 44 - Compartimentação vertical (verga e peitoril) da envoltória do edifício para dificultar a propagação vertical do incêndio.....	194
Figura 45 – Elemento corta-fogo do sistema F4.....	196
Figura 46 – Aplicação de duas chapas de gesso resistente a fogo ao redor das aberturas	197
Figura 47 – Tratamento da interface da abertura com a vedação vertical (corte) ...	197

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Referenciais Técnicos do SINAT relativos ao sistema construtivo LSF ..	50
Quadro 2 – Sistemas Inovadores e habitações construídas	51
Quadro 3 - Normas brasileiras de dimensionamento para o Sistema LSF	57
Quadro 4 - Normas brasileiras de componentes do Sistema LSF	57
Quadro 5 - Produção de perfis <i>drywall</i> e LSF	58
Quadro 6 - Classificação da vedação vertical externa	69
Quadro 7 - Instalação da membrana de estanqueidade em fachadas estruturadas em LSF	79
Quadro 8 – Dados térmicos de materiais utilizados na tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF	83
Quadro 9 – Painéis Pré-fabricados	108
Quadro 10 – Montagem de Painéis e transporte para a obra	109
Quadro 11 – Seção de perfis de LSF, sua designação e utilização (dimensões em milímetros)	116
Quadro 12 - Revestimento mínimo do aço segundo ABNT NBR 15253	116
Quadro 13 - Normas AISI e ASTM para perfis formados a frio	117
Quadro 14 – Propriedades mecânicas de perfis estruturais tipo H	118
Quadro 15 - Revestimentos mínimos do aço para perfis estruturais (tipos H e L) possíveis de serem utilizados em painéis leves em LSF	120
Quadro 16 - Requisitos mínimos das normas AISI e ASTM para perfis estruturais	121
Quadro 17 – Graus do aço conforme CEN EN1993-1-3 (2006) e valores nominais de resistência ao escoamento e resistência à tração	122
Quadro 18 – Especificações mínimas para perfis de LSF em relação as normas brasileira, normas norte-americanas e eurocódigo	124
Quadro 19 - Graus de aço recomendados pelo SCI para perfis de LSF	125
Quadro 20 - Classificação segundo características de exposição de estruturas de LSF em relação a ventos e distância da linha de costa	132
Quadro 21 – Utilização de massa de revestimento de zinco por imersão contínua a quente localizadas em atmosferas exteriores protegidas e ventiladas e segundo ambientes de exposição	134
Quadro 22 – Características dos revestimentos das amostras utilizadas na pesquisa	135
Quadro 23 - Localizações das edificações objeto do experimento	135
Quadro 24 – Localizações e fotos das tipologias das edificações objeto do estudo	136
Quadro 25 - Média de perda de massa para os revestimentos em amostras de vedações externas nas localidades do estudo	137
Quadro 26 – Dimensões mínimas para perfis guia	139
Quadro 27 - Dimensões mínimas para o dimensionamento da largura nominal de mesa de perfis montantes	140
Quadro 28 – Modos de flambagem de perfis formados a frio	142
Quadro 29 – Flechas adotadas em projeto	143
Quadro 30 - Aberturas nos perfis e dimensões para seu o posicionamento	146
Quadro 31 - Fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF embutida entre lajes de concreto	151
Quadro 32 - Fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF embutida entre vigas metálicas	152
Quadro 33 – Instalação de bandeira e parapeito sobre e sob abertura	153

Quadro 34 – Caracterização da documentação técnica dos sistemas analisados..	161
Quadro 35 – Título e definição dos sistemas analisados	162
Quadro 36 – Limitações de utilização dos sistemas analisados.....	163
Quadro 37 – Camadas e Componentes da Fachada F4	164
Quadro 38 – Componentes do Sistema Kingspan – possibilidades de camadas e de revestimentos	165
Quadro 39 – Camadas e componentes do Sistema Aquapanel WM311C / WM411C	166
Quadro 40 – Possíveis formações das camadas estabelecidas pela Diretriz SINAT nº 009	167
Quadro 41 – Descrição da camada externa e de seus componentes dos sistemas analisados	169
Quadro 42 – Descrição da camada impermeável e das possibilidades de diferentes membranas de estanqueidade ao vapor	170
Quadro 43 – Caracterização dos perfis metálicos montantes e perfis guia nos sistemas analisados	173
Quadro 44 – Descrição da 1ª camada de isolamento dos sistemas estudados	177
Quadro 45 – Descrição da 2ª camada de isolamento dos sistemas analisados.....	178
Quadro 46 – Descrição da camada interna dos sistemas analisados	180
Quadro 47 – Especificações para esquadrias dos sistemas analisados	182
Quadro 48 – Normas e certificações dos componentes dos sistemas analisados ..	184
Quadro 49 - Desempenho estrutural dos sistemas analisados	188
Quadro 50 – TRRF em função da altura do edifício	193
Quadro 51 – Requisitos de Desempenho – Segurança contra Incêndio.....	195
Quadro 52 - Transmitância térmica U (W/m².K) das vedações verticais externas ..	198
Quadro 53 – Capacidade térmica de vedações verticais externas.....	198
Quadro 54 - Diferenças entre ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575 no que se refere ao desempenho térmico para a zona climática 2	200
Quadro 55 – Desempenho Térmico dos sistemas analisados	202
Quadro 56 - Desempenho Acústico dos sistemas analisados.....	203
Quadro 57 – Estanqueidade à água dos sistemas analisados	205
Quadro 58 – Estanqueidade ao ar dos sistemas analisados.....	206
Quadro 59 – Tratamento das juntas dos sistemas analisados	207
Quadro 60 - Riscos à Condensação nos sistemas analisados.....	208
Quadro 61 – Durabilidade dos sistemas analisados	209
Quadro 62 – Manutenibilidade dos sistemas analisados	210
Quadro 63 – Qualidade da instalação dos sistemas analisados	211

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAMAT	Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção
ACM	Aluminum Composite Material
AÇO BRASIL	Instituto Aço Brasil
AFNOR	Association Française de Normalisation
AISC	American Institute of Steel Construction
AISI	American Iron and Steel Institute
ANSI	American National Standards Institute
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
BBA	British Board of Agreement
BCSA	British Constructional Steelwork Association
BRE	British Research Establishment
BSI	British Standard Institution
CANACERO	Camara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
CE	Comunidade Europeia
CEE	Comunidade Econômica Europeia
CEN	European Committee Standardization
CFSEI	Cold-Formed Steel Engineers Institute
COV	Composto Orgânico Volátil
CSA	Canadian Standards Association
CSSA	Certified Steel Stud Association
CSSBI	Canadian Sheet Steel Building Institute
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CTE	Código Técnico de la Edificación
CUAP	Common Understanding of Assessment Procedure
CVD	Chemical Vapour Deposition
DATec	Documentos de Avaliação Técnica
DAU	Documento de Adecuación al Uso

DTU	Documento Técnico Unificado
EAD	European Assessment Document
ECCS	European Convention for Constructional Steelwork
EEE	Espaço Econômico Europeu
EN	European Standard
ETICS	External Thermal Insulation System
EOTA	European Organization for Technical Assessment
ETAG	European Technical Approval Guideline
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
HIS	Habitação de Interesse Social
IBC	International Building Code
ICC-ES	International Code Council Evaluation Service
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ICZ	Instituto de Metais Não-Ferrosos
ILZRO	International Lead Zinc Research Organization
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ISO	International Organization for Standardization
IT	Instrução Técnica do Corpo de Bombeiros
ITA	Instituição Técnica Avaliadora
ITeC	Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya
IZA	International Zinc Association
LSF	Light Steel Framing
MMVF	Man-Made Vitreous Fiber
NASFA	North American Steel Framing Alliance
NBR	Norma Brasileira
NF	Norme Française
NHBC	National Housing Building Council
OAT	Organismo de Avaliação Técnica
OCDE	Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento
OSB	Oriented Strand Board
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat
PCM	Phase Change Material

P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PSQ	Programa Setorial da Qualidade
PVD	Physical Vapour Deposition
RNA	Revestimento Não Aderido
RPC	Regulamento dos Produtos de Construção
SCI	Steel Construction Institute
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SFA	Steel Framing Alliance
SFIA	Steel Framing Industry Association
SiMaC	Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos
SINAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica
SMDI	Steel Market Development Institute
SSMA	Steel Stud Manufacturers Association
STC	Classe de Transmissão Sonora
SVVE	Sistema de Vedação Vertical Externa
SVVIE	Sistema de Vedação Vertical Interna e Externa
TIB	Tecnologia Industrial Básica
TRRF	Tempo Requerido de Resistência ao Fogo
UE	União Europeia

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	29
1.2	JUSTIFICATIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TEMA	33
1.3	OBJETIVO	35
1.4	MÉTODOS	36
1.4.1	Conceituação básica para o desenvolvimento da pesquisa ...	36
1.4.2	Caracterização da fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF e caracterização e durabilidade do perfil	37
1.4.3	Avaliações técnicas internacionais de sistemas de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF	37
1.5	ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	38
2	CONCEITOS BÁSICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	40
2.1	ENTENDIMENTO SOBRE O PROCESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA À LUZ DO DESEMPENHO	40
2.2	SISTEMA DE PRODUTO	44
2.3	DESEMPENHO	45
2.4	SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA	47
2.5	CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO <i>LIGHT STEEL FRAMING</i>	52
2.5.1	Definição de cadeia produtiva	52
2.5.2	Tecnologia Industrial Básica	55
2.5.3	Ações para o desenvolvimento do sistema no âmbito da cadeia produtiva	57
2.6	CONSIDERAÇÕES	61
3	CARACTERIZAÇÃO DA FACHADA EM CHAPAS DELGADAS COM ESTRUTURA EM LSF	62
3.1	HISTÓRICO DA FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADAS EM LSF	62
3.2	CLASSIFICAÇÃO E TERMINOLOGIA ASSOCIADAS ÀS VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS	67
3.2.1	Classificação do objeto da pesquisa	70

3.3	CARACTERIZAÇÃO DAS CAMADAS CONSTITUINTES E DE SUAS FUNÇÕES.	70
3.3.1	Camada externa.	71
3.3.1.1	Placas cimentícias protegidas por argamassas especiais	71
3.3.1.2	Juntas.	73
3.3.1.3	Acabamento sobre as placas (argamassa e telas de fibra de vidro)	73
3.3.1.4	Camada externa com revestimento não aderido	75
3.3.2	Camada impermeável.	77
3.3.2.1	Coeficiente de resistência à difusão do vapor.	80
3.3.3	Camada de isolamento	80
3.3.3.1	Isolamento térmico	80
3.3.3.2	Isolamento acústico	84
3.3.4	Camada interna	85
3.3.5	Interface com esquadrias	86
3.4	CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE INDUSTRIALIZAÇÃO DOS PAINÉIS EM RELAÇÃO À MONTAGEM	88
3.4.1	Método embutido	89
3.4.2	Método contínuo ou cortina	94
3.4.3	Painéis pré-fabricados	105
3.5	POTENCIAL DOS SISTEMA EM RELAÇÃO À DESMONTAGEM E DESMATERIALIZAÇÃO	110
3.6	CONSIDERAÇÕES	112
4	CARACTERIZAÇÃO E DURABILIDADE DE PERFIL EM LSF ...	113
4.1	NORMAS BRASILEIRAS	114
4.2	NORMAS NORTE-AMERICANAS	117
4.3	EUROCÓDIGOS	121
4.4	COMPARAÇÃO ENTRE NORMA BRASILEIRA, NORMAS NORTE-AMERICANAS E EUROCÓDIGO	123
4.5	RECOMENDAÇÕES DO STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE ..	124
4.6	REVESTIMENTOS DO AÇO	125
4.6.1	Eletrogalvanizado	128
4.6.2	Zinco.	128
4.6.3	Liga 95% de zinco e 5% de alumínio	129
4.6.4	Liga Zinco Alumínio Magnésio	129

4.6.5	Liga Alumínio Zinco	130
4.6.6	Alumínio Puro	130
4.7	CORTES DA CHAPA DE AÇO REVESTIDA	130
4.8	RECOMENDAÇÕES PARA A PROTEÇÃO À CORROSÃO DE ESTRUTURAS EM LSF	131
4.9	ESPAÇAMENTO ENTRE PERFIS	138
4.10	FLEXÃO NOS PERFIS	141
4.11	ABERTURAS NOS PERFIS PARA PASSAGEM DE TUBULAÇÕES	144
4.12	COMPOSIÇÕES DE PERFIS PARA FORMAÇÃO DE ABERTURAS NA VEDAÇÃO EXTERNA	146
4.13	TOLERÂNCIAS DE INSTALAÇÃO DOS PERFIS	147
4.14	FIXAÇÕES	148
4.15	SINGULARIDADES DE INSTALAÇÃO DE PERFIS NA FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADA EM LSF	149
4.15.1	Terraços	149
4.15.2	Vedações verticais curvas	149
4.15.3	Parapeitos e grandes aberturas	153
4.16	CONSIDERAÇÕES	154
 5	 AVALIAÇÃO TÉCNICA DE TECNOLOGIAS DE FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADAS EM LSF: CONTEXTO BRASILEIRO E INTERNACIONAL	 155
5.1	INTRODUÇÃO	155
5.2	AVALIAÇÕES TÉCNICAS EUROPEIAS	156
5.3	COMPARATIVOS ENTRE SISTEMAS	159
5.3.1	Camada externa e camada impermeável	168
5.3.2	Estruturação da vedação vertical: perfis de aço	172
5.3.3	Camada de isolamento	176
5.3.4	Camada interna	178
5.3.5	Especificações para esquadrias	181
5.4	NORMAS E CERTIFICAÇÕES DOS COMPONENTES	183
5.5	REQUISITOS DE DESEMPENHO	186
5.5.1	Desempenho estrutural	187
5.5.2	Segurança contra incêndio	192
5.5.3	Desempenho térmico	198
5.5.3.1	Desempenho térmico segundo a Diretriz SINAT nº 009	198

5.5.3.2	Desempenho térmico nas avaliações técnicas europeias	201
5.5.4	Desempenho acústico	203
5.5.5	Estanqueidade (água e ar)	204
5.5.6	Durabilidade e manutenibilidade	208
5.6	QUALIDADE DE INSTALAÇÃO	210
5.7	CONSIDERAÇÕES	212

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	213
6.1	RESULTADOS ALCANÇADOS	213
6.2	TRABALHOS FUTUROS	214

REFERENCIAS	217
-----------------------	-----

APÊNDICE A	236
----------------------	-----

Levantamento de empreendimentos que utilizaram a tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF e informações colhidas junto a profissionais do segmento

APÊNDICE B	257
----------------------	-----

Organismos de desenvolvimento tecnológico da construção em aço

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Um ciclo de forte expansão na construção civil ocorreu a partir de 2006, tendo arrefecido a partir de meados de 2014. Com o enfraquecimento desse ciclo, o setor começa a passar por um período de ajuste, adaptando-se a níveis mais baixos de crescimento ou até mesmo de estagnação. Nesse ambiente, a elevação da produtividade é imperativa e, assim, torna-se ainda mais relevante a busca por eficiência em nível microeconômico, ou seja, no sistema de produção das empresas (GONÇALVES; BROERING, 2015).

Castelo e Broering (2014) também defendem a premência do aumento da produtividade uma vez que, motivado pelo crescimento da atividade produtiva, houve a elevação dos custos com mão de obra determinada pela escassez de trabalhadores qualificados, sobretudo no período anterior à crise do setor. A pouca disponibilidade de mão de obra mostrou que é imprescindível aumentar a produtividade, seja pela maior qualificação do trabalhador tanto pelos investimentos em capital físico (máquinas, equipamentos, etc.) que se constituem em uma das formas de expansão da produtividade das empresas.

Compartilhando dessa mesma visão, de período recente de grande expansão e de intensa retração de mercado no período atual, Souza (2015) manifesta que, para enfrentar novos tempos e diferentes conjunturas, a agenda da construção se pauta por um movimento de inovação, com foco no reposicionamento estratégico das empresas e no aumento da produtividade.

Cunha e Costa (2014) se manifestam destacando que, para o desenvolvimento do setor, é crucial prescindir do uso intensivo de mão de obra, e, para isto, buscar aumentar o grau de mecanização e industrialização dos processos construtivos, bem como, executar parte da construção fora dos canteiros, de forma a reconfigurar o modelo de execução da edificação de moldada no local para modelos com índices maiores de montagem.

A busca pela redução dos custos de produção dos empreendimentos, na economia competitiva, é um fator decisivo para a sobrevivência das empresas. Barros (1996) já afirmava que a competição estimula as empresas a investirem na modernização de

suas formas de produção, para que possam obter aumento de produtividade, diminuição da rotatividade de mão de obra, redução de retrabalho e eliminação de atividades na etapa de pós-entrega.

Junto com o estímulo à modernização, a competição traz a necessidade de melhorias na qualidade dos produtos e na redução dos impactos ambientais de produtos e processos, conforme assinalado por Agopyan e John (2011).

Novos fatores somam-se a esse cenário: a existência de consumidores mais exigentes influenciados pelo processo de globalização; aumento da complexidade dos empreendimentos; e regulamentação mais rigorosa.

O desenvolvimento tecnológico pode responder às necessidades de maior produtividade e de atendimento às novas demandas nos prazos e custos esperados. Barros (1996) já destacava que, em cenários como o que tem vivido o segmento de construção de edifícios, os esforços das empresas devem conciliar a introdução de mudanças tecnológicas com os aspectos organizacionais e de gestão da produção.

Com foco em tecnologias que tragam ganhos de eficiência, modernização da produção, aumento da produtividade e redução de prazos para produção do edifício, o presente trabalho aborda a industrialização de um importante subsistema: a fachada, considerando a visão de Sabbatini (1989) em relação à industrialização da construção, colocada como chave para se incrementar o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva.

Dentre os diversos subsistemas que compõem o edifício, a vedação vertical externa, ou fachada, ocupa posição estratégica no sistema de produção da empresa construtora por razões de diferentes naturezas:

- Apresenta interface com grande parte dos demais subsistemas do edifício: estrutura, sistemas prediais, vedações horizontais, entre outros;
- É a parte mais visível do edifício, e, por isto, interage fortemente com os usuários e com a paisagem rural e urbana;
- Está em contato com o meio ambiente, sofrendo sua influência e, conseqüentemente, pode apresentar problemas patológicos (por questões de concepção, execução ou manutenção), que são de difícil e onerosa solução, ainda mais, considerando-se as dificuldades de acesso que podem se colocar;

- Representa uma área significativa da superfície do edifício, sendo constituída por elementos de alto valor agregado (esquadrias e revestimentos); por isto, sua produção deve ser racionalizada;
- Em relação ao planejamento da obra, faz parte do caminho crítico da obra.

Estimar o quanto representa o subsistema fachada no custo total de um empreendimento não é tarefa simples. Para isto seria necessário avaliar um projeto específico, uma vez que o cálculo da porcentagem do custo da fachada frente ao custo total do edifício depende das condições de projeto, como quantidade e qualidade de vedações, esquadrias e revestimentos. Todos esses elementos podem variar de projeto para projeto e ainda em proporção no custo total do edifício e em função do custo de cada um dos subsistemas.

A fim de se trazer elementos para a análise do custo da fachada, apresentam-se dados de dois edifícios. O primeiro, de 10 pavimentos e padrão médio em Salvador (BA), em que, dos custos totais da obra, os subsistemas esquadrias, vidros e ferragens mais a alvenaria e seu o revestimento totalizaram 15,29% de participação para a fachada em relação aos custos totais do edifício. Esse valor é expressivo quando comparado aos outros maiores custos do mesmo edifício, com 20,07% para a estrutura e 15,86% para fundação e subsolos¹.

No segundo edifício, empreendimento de alto padrão em Alphaville, Barueri, município de São Paulo (SP), a fachada representou 15,79% de participação no custo total, sendo o segundo custo mais alto da obra, atrás apenas da estrutura com participação de 23,61%².

Os dois edifícios mostram referências próximas em termos de custos da fachada, 15 a 16% do custo total do edifício.

Segundo Medeiros et al. (2014), as vedações externas representam 9 a 13% do custo total de uma edificação, com base em dados publicados pelo Guia da Construção da Editora Pini, incluindo elementos como a alvenaria, esquadrias com vidro e revestimentos aderidos. Para empreendimentos com vedações e revestimentos não convencionais tem-se uma amplitude maior de valores, com variação entre 4 a 15% do custo total da edificação.

¹ Dados da Revista Construção Mercado da Editora Pini de setembro de 2013.

² Dados da Revista Construção Mercado da Editora Pini de junho de 2011.

As esquadrias vêm ampliar a importância do custo da fachada. Reis (2011) destaca que a média do custo deste item no custo total da obra teve participação de 5,5%, conforme pesquisa realizada junto a construtoras com atividade relevante no mercado imobiliário da cidade de São Paulo como Camargo Correa, Cyrela, Gafisa, Odebrecht, Rossi Residencial, Schain e Tecnisa.

Outra influência no custo da vedação vertical é a perda de material. Do volume total de perda de materiais nas construções, as argamassas de assentamento e revestimento são responsáveis por parte significativa das perdas.

Segundo Paliari, Souza e Andrade (2001), em pesquisa sobre perdas em canteiros de obras, as sobreespessuras de revestimentos representam parcela de perdas mais significativa das argamassas e, por consequência, dos seus constituintes (aglomerantes e agregados) nestes serviços. A parcela de argamassa que fica incorporada em excesso ao substrato mostrou-se tão significativa quanto a parcela relativa ao resíduo de construção, que representou 64% da perda identificada para o revestimento interno e 56% para o caso do revestimento externo.

Aos percentuais que representam a fachada no custo total do edifício deve ser também considerado o custo de sua manutenção ao longo da vida útil. John e Cremonini (1989) afirmam que os custos anuais médios de manutenção podem ser estimados entre 1 a 2% do custo de reposição dos edifícios.

A ABNT NBR 15575-1 (2013) estima a vida útil da fachada em 40 anos, durante os quais os custos de manutenção atingirão valores significativos.

Como observa Oliveira (2009), a escolha adequada dos componentes da fachada tem impacto no custo de implantação do empreendimento e na sua fase de uso, além de gerar impactos na durabilidade e manutenção ao longo de sua vida útil.

Sendo um dos elementos primordiais na identidade e valorização do edifício, a fachada reflete a sua época de construção e a cultura construtiva desta época. Além disso, juntamente com a cobertura forma o invólucro ou envelope do edifício, responsável pela sua habitabilidade e por manter as condições ambientais internas, tais como: conforto térmico e acústico, segurança dos usuários, entre outros.

Uma das poucas referências sobre a tecnologia de fachada sem função estrutural em chapas delgadas estruturadas em *Light Steel Framing* (LSF) é a Diretriz SINAT 009 -

Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas delgadas (BRASIL, 2012).

A diretriz está no âmbito do Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT), que é o ambiente para sistemas considerado inovadores vinculado ao Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H). Ela foi elaborada em 2012 e contém as condições, requisitos, critérios e ensaios, para a avaliação técnica dos Sistemas de Vedação Vertical Externa (SVVE).

Com exceção da diretriz, catálogos de fabricante e poucas pesquisas realizadas sobre o assunto, há escassez de literatura sobre o tema. Para difundir o uso da tecnologia, é necessário maior conhecimento sobre ela, dada a complexidade do método construtivo de fachada e de seus requisitos de desempenho. Por isso o tema do presente trabalho é a vedação vertical externa sem função estrutural produzida a partir da tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF.

1.2 JUSTIFICATIVAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TEMA

A tecnologia construtiva de fachadas com chapas delgadas estruturadas por LSF pode gerar benefícios em relação a atividades intensas em mão de obra como é o caso da tecnologia tradicional que emprega alvenaria de blocos e revestimentos de argamassa. A tecnologia está vinculada com montagem e acoplamento a seco de componentes, que pode oferecer maior potencial de ganhos, como os de produtividade, quando comparada à tecnologia tradicional a úmido.

Além disto, muitas das atividades exigidas para a produção da fachada tradicional dependem, dentre outros fatores, da situação meteorológica, deixando a mão de obra à mercê de intempéries e de variações de temperatura. A tecnologia de fachada com chapas delgadas e LSF, por sua vez, possibilita ganho social pela melhoria das condições de trabalho, seja pela possibilidade de ser realizado parcialmente em unidades fabris, seja pelas alterações das condições de trabalho no canteiro de obras, porque as atividades de montagem devem se sobrepor às de moldagem. Transferir atividades realizadas em canteiro de obras para condições fabris pode colaborar também para a diminuição de riscos de acidentes.

A redução do impacto ambiental que a construção civil exerce sobre o meio ambiente pode se dar pela menor geração de resíduos em obra, pela redução do volume de insumos transportados ao canteiro de obras, redução dos incômodos à vizinhança proveniente de ruídos e redução da emissão de material particulado. Menor impacto ambiental também pode ocorrer por meio da redução das perdas no canteiro e pela redução da quantidade de materiais empregados e de sua massa. No caso da vedação vertical leve com placas cimentícias, Fontenelle (2012) afirma que a sua massa é quatro vezes menor que a alvenaria de blocos de concreto, por exemplo.

Como impacto econômico, a introdução desta tecnologia busca reduzir prazos e custos de obra.

Por certo há muitas justificativas que induzem ao emprego desta tecnologia; entretanto, há também escassez de pesquisas sobre o tema, em especial quanto ao seu desempenho associado à sua utilização como fachada em edifícios de múltiplos pavimentos. Por outro lado, a tecnologia construtiva de fachada leve constituída por chapas delgadas estruturadas por perfis tipo LSF, empregada em países da Europa e América do Norte, vem sendo paulatinamente introduzida no Brasil.

A atividade profissional da autora em indústria líder global em produção de aço, que visa ao desenvolvimento de mercado de aços planos na construção civil, contribuiu para o contato com empresas envolvidas em obras que utilizaram a tecnologia de fachada constituída por chapas delgadas estruturadas por perfis tipo LSF.

Algumas visitas a empreendimentos com a utilização da tecnologia estudada foram realizadas, anteriormente mesmo a elaboração dessa pesquisa, e serviram de subsídio ao trabalho de sistematização da tecnologia. Outras visitas foram realizadas durante a pesquisa; no entanto, o conjunto dessas informações colhidas não possuía o mesmo nível de aprofundamento para todas as obras visitadas e não pode se constituir num estudo de campo nos moldes propostos por Yin (2001). Apesar disto, foi possível fazer o registro de informações que mostram como o mercado vem desenvolvendo a tecnologia e, dada a sua relevância, são reunidas no Apêndice A e se caracterizam principalmente por um levantamento fotográfico.

A atuação profissional concilia-se com o tema abordado, contribuindo assim para o estreitamento da relação empresa-academia, um dos objetivos do programa de Mestrado Profissional Construlnova - Inovação na Construção Civil.

Portanto, sistematizar e analisar o conhecimento acerca da tecnologia de produção de fachadas leves com chapas delgadas em LSF - hoje disperso por catálogos com distintas abordagens, publicações internacionais e poucos trabalhos de cunho científicos – pode ser uma contribuição para o meio técnico brasileiro uma vez que poderão ser utilizados para se projetar e se produzir a partir de parâmetros adequados.

Espera-se que a pesquisa possibilite ampliar a difusão do conhecimento da tecnologia, facilitando sua implantação no processo de produção de edifícios e, com isto, contribuir para o aumento do consumo de aço no País.

Pelo exposto, pode-se afirmar que o tema tem amplitude suficiente para diferentes abordagens, porém, é necessária uma limitação de foco, o que é feito no item que segue, no qual se expressa o objetivo da pesquisa.

1.3 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é sistematizar e analisar as informações relativas à vedação vertical externa sem função estrutural, a partir da tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas com estrutura em LSF, dando-se destaque para a caracterização e análise dos perfis de aço.

Para que se atinja esse objetivo, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- Contextualizar a tecnologia como uma inovação tecnológica na construção civil;
- Caracterizar a cadeia produtiva do LSF, que engloba a subcadeia da tecnologia de fachada, de forma a identificar os entraves setoriais para que o sistema possa se consolidar como tecnologia viável;
- Caracterizar a tecnologia de fachada e suas diversas camadas e funções;
- Caracterizar o perfil de aço no sistema e analisar a sua durabilidade e de seus revestimentos metálicos;
- Analisar referenciais técnicos da tecnologia de fachada identificados em outros países, visando a caracterizar os componentes, a normalização envolvida e os

requisitos de desempenho pertinentes, fazendo um paralelo com um referencial técnico nacional.

1.4 MÉTODOS

A partir da identificação de um arcabouço técnico muito tênue sobre a tecnologia estudada, busca-se referenciais da tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF por meio de revisão bibliográfica, que compreende os itens apresentados na sequência.

1.4.1 Conceituação básica para o desenvolvimento da pesquisa

Considerando que a pesquisa se situa no âmbito do Mestrado Profissional Construlnova – Inovação na Construção Civil e que a fachada estudada é uma inovação tecnológica, busca-se compreender o processo de implementação de inovações tecnológicas no setor e, para tanto, realiza-se revisão bibliográfica que contempla os conceitos básicos para o desenvolvimento do trabalho, englobando os temas: inovação tecnológica, sistema de produto, desempenho e Sistema Nacional de Avaliação Técnica, do qual é fruto a Diretriz SINAT 009.

Considerando que as características setoriais influenciam a forma como uma tecnologia se difunde e se integra ao sistema produtivo, busca-se compreender a dinâmica da difusão tecnológica e a cadeia produtiva, cujos agentes são os protagonistas no desenvolvimento do sistema. Em função disto, conceitua-se cadeia produtiva, registra-se como os temas Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Inovação atuam na gestão da cadeia produtiva e, por fim, como a normalização está organizada no ambiente institucional da cadeia produtiva do LSF.

1.4.2 Caracterização da fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF e caracterização e durabilidade do perfil

São identificadas basicamente duas fontes de informações para os capítulos de caracterização da tecnologia de fachada e de seu desempenho, a saber: (1) literatura acadêmica sobre sistemas construtivos de fachadas e mesmo, de outras tecnologias construtivas que contribuíram com a caracterização da tecnologia de fachadas e de suas camadas, e literatura sobre os principais itens de desempenho e de sua avaliação que tenham maiores impactos na fachada; (2) literatura e normas técnicas elaboradas pelas entidades de fomento da indústria do aço, como, por exemplo, o Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), *American Iron and Steel Institute* (AISI), *Steel Framing Alliance*, *Steel Construction Institute* (SCI), entre outras. A lista das entidades identificadas e das suas principais características estão registradas no Apêndice B.

Dada a atuação profissional da autora, a pesquisa se aprofunda na caracterização do perfil em aço utilizado no sistema, fazendo-se uma revisão bibliográfica das normas técnicas brasileiras e internacionais que estabelecem os requisitos dos perfis em relação a resistência mecânica e aos revestimentos do aço.

1.4.3 Avaliações técnicas internacionais de sistemas de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF

A busca por desempenho, referenciais e avaliações técnicas de sistemas resultou na identificação de documentos elaborados por instituições europeias concedidos a partir de referenciais tecnológicos previamente estabelecidos.

Entre os sistemas identificados, são escolhidos para análise os documentos emitidos por diferentes organismos de avaliação técnica europeus: *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB, 2012); *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya* (ITeC, 2014); *Building Research Establishment* (BRE, 2011) e *British Board of Agreement* (BBA, 2014).

A partir dessas avaliações são elaborados quadros em que se caracterizam: os sistemas; o tipo de documentação; as limitações de utilização, os componentes, suas normas e certificações; as camadas constituintes do sistema; e os requisitos de desempenho. O objetivo da reunião dessas informações não é estabelecer qual o melhor sistema, mas possibilitar a descrição e a avaliação qualitativa de cada um em conjunto com a Diretriz SINAT nº 009.

A ABNT NBR 15575-4 (2013), que trata do Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE), é a referência para a identificação dos requisitos de desempenho aplicados ao subsistema, os quais são analisados à luz da Diretriz SINAT nº 009, além de outras normas brasileiras pertinentes.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo este que trata da introdução ao tema, justificativa para o seu desenvolvimento, objetivo da pesquisa, métodos utilizados e estruturação do trabalho

O capítulo 2 apresenta uma reflexão sobre os conceitos básicos utilizados ao longo do trabalho, como os conceitos de inovações tecnológicas e sua implementação, e engloba os conceitos de: sistema de produto, desempenho, Sistema Nacional de Avaliação Técnica e cadeia produtiva do sistema *Light Steel Framing*.

O capítulo 3 caracteriza a tecnologia construtiva, identificando as camadas constituintes e suas respectivas funções e trazendo informações do histórico da tecnologia e sobre os métodos de montagem do sistema.

O capítulo 4 apresenta, por meio de revisão bibliográfica das normas brasileiras, norte-americanas e europeias, a resistência do perfil, aspectos sobre a durabilidade dos perfis em aço em relação aos seus revestimentos metálicos para proteção contra corrosão.

O capítulo 5 identifica e analisa, no contexto internacional, as avaliações técnicas dos sistemas de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF em relação à caracterização dos seus componentes, à normalização envolvida e aos requisitos de

desempenho, e faz um paralelo com os requisitos de desempenho à luz da Diretriz SINAT nº 009.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais da pesquisa e sugestões para futuros trabalhos que venham complementar o conhecimento da tecnologia.

2. CONCEITOS BÁSICOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Esse capítulo apresenta conceitos básicos utilizados no trabalho em relação ao processo de implementação de inovações tecnológicas na produção de edifícios, também chamadas de novas tecnologias construtivas. O capítulo também aborda a cadeia produtiva do LSF, que engloba a subcadeia da tecnologia de fachada, de forma a identificar os entraves setoriais para que o sistema possa se consolidar como tecnologia viável no Brasil.

2.1 ENTENDIMENTO SOBRE O PROCESSO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA À LUZ DO DESEMPENHO

Segundo Sabbatini (1989), a tecnologia construtiva pode ser entendida como:

um conjunto sistematizado de conhecimentos científicos e empíricos, pertinentes a um modo específico de se construir um edifício (ou uma sua parte) e empregados na criação, produção e difusão deste modo de construir (SABBATINI, 1989, p.43).

O mesmo autor afirma que:

Um novo produto, método processo ou sistema construtivo introduzido no mercado, constitui-se em uma INOVAÇÃO TECNOLÓGICA na construção de edifícios quando incorporar uma nova ideia e representar um sensível avanço na tecnologia existente em termos de: desempenho, qualidade ou custo do edifício, ou de uma sua parte (SABBATINI, 1989, p. 45)

Barros (1996) resgata a proposta de Sabbatini (1989) particularizando-a para o caso específico do processo construtivo tradicional, afirmando que:

Inovação tecnológica no processo de produção de edifícios é um aperfeiçoamento tecnológico, resultado de atividades de pesquisa e desenvolvimento internas ou externas à empresa, aplicado ao processo de produção do edifício objetivando a melhoria de desempenho, qualidade ou custo do edifício ou de uma parte do mesmo (BARROS, 1996, p. 59).

O Manual de Oslo (OCDE, 2004), por sua vez, distingue a inovação em produtos e em processos. Segundo o manual:

Inovações Tecnológicas em Produtos e Processos (TPP) compreendem as implantações de produtos e processos tecnologicamente novos e substanciais melhorias tecnológicas em produtos e processos. Uma inovação TPP é considerada implantada se tiver sido introduzida no mercado (inovação de produto) ou usada no processo de produção (inovação de processo) (OCDE, 2004, p. 54).

Segundo o manual, o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias são essenciais para o crescimento da produção e aumento da produtividade. É consenso que a inovação tecnológica é a base para o desenvolvimento do processo industrial em todos os segmentos. Portanto, não seria diferente para o setor da construção. A respeito da industrialização, Sabbatini (1989) afirma:

Industrialização da construção é um processo evolutivo que, através de ações organizacionais e da implementação de inovações tecnológicas, métodos de trabalho e técnicas de planejamento e controle, objetiva incrementar a produtividade e o nível de produção e aprimorar o desempenho da atividade construtiva. (SABBATINI, 1989, p. 52).

Barros (1996) complementa que para a evolução tecnológica de uma empresa, não basta existir uma determinada tecnologia no mercado, mas sim, é necessário implantar e consolidar essa tecnologia no sistema produtivo da empresa por meio de princípios que permitam sua constante evolução.

Ainda segundo Barros (1996), a implementação de inovações tecnológicas nas empresas de construção estimulam e exigem o desenvolvimento de projetos voltados à produção e planejamento prévio das atividades envolvidas visando: a alteração de posturas que permitem o “improviso”; o desenvolvimento de recursos humanos e de corpo técnico com domínio sobre o processo de produção do edifício; a implementação de procedimentos de controle, que permitem estabelecer um maior nível de confiança no produto final e a realimentação do processo de implementação.

Não obstante a importância da inovação para a indústria da construção, Bougrain e Carassus (2003) afirmam que a posição das empresas de construção não parece

muito propícia à realização de inovação. Segundo os autores, trata-se de um setor fragmentado que dificulta o compartilhamento dos frutos gerados pela inovação e que apresenta baixos investimentos em P&D. Por isto, a possibilidade de inovação ocorre, principalmente, por meio de evoluções incrementais, que não necessitam de investimentos comparáveis aos praticados pelos fabricantes de materiais.

Segundo Squicciarini e Asikainen (2011), inovações em construção são tipicamente incrementais e conduzem a grandes transformações somente em longo prazo.

Para Kupfer e Tigre (2004), o sucesso na introdução de novas tecnologias depende fundamentalmente da eficiência na capacidade das empresas em absorverem novos equipamentos, sistemas e processos produtivos. Essa absorção demanda a incorporação de novas rotinas, procedimentos e informações técnicas que dependem da capacidade dos recursos humanos de transformar informação em conhecimento para a adaptação de tecnologias específicas ao ambiente de trabalho da empresa.

Acemoglu, Gancia e Zilibotti (2010) complementam que a difusão de novas tecnologias está vinculada a padronização de produtos e aos processos de inovação. Novas tecnologias quando concebidas e implementadas são complexas e podem requerer habilidades para sua operação. Entretanto, tornando-se rotineiras e padronizadas permitem custos de produção mais acessíveis usando mão de obra menos capacitada.

A incorporação de novas tecnologias está diretamente associada à dinâmica setorial. Segundo Kupfer e Tigre (2004), os investimentos em novas tecnologias são geralmente realizados em fases de expansão do mercado, quando a capacidade instalada se mostra insuficiente para atender a demanda projetada.

Wilson; Kennedy e Trammel (1996)³ apud Souza (2003, p. 5), referindo-se aos riscos de adoção de novas tecnologias, afirmam que uma tecnologia que não esteja sob controle ou que não seja adequadamente conhecida pode causar diversos problemas de qualidade e prazos.

³ WILSON, C.C.; KENNEDY, M.E.; TRAMMEL, C.J. **Superior product development: managing the process for innovative products**. Cambridge: Blackwell Business, 1996.

Barros (1996) afirma que ao analisar a produção de edifícios fica clara a importância das inovações tecnológicas incrementais, que para alguns autores significa “melhoria de processo” e acrescenta que os conceitos visam à melhoria do produto.

Segundo OCDE (2004, p. 55), inovações podem envolver tecnologias radicalmente novas, baseando-se na combinação de tecnologias existentes em novos usos, ou podem ser derivadas do uso de um novo conhecimento. Castro (1993)⁴ apud Barros (1996) afirma que a inovação pode ser decorrente de uma alteração radical da tecnologia mudando as características de uma indústria.

Slaughter (1998)⁵ apud Koskela (2000) define a tipologia das inovações em construção. A inovação incremental implica em pequenas mudanças com impactos limitados nos elementos circundantes e, por sua vez, a inovação modular também traz impactos limitados, porém com mudanças significantes na base. Uma inovação arquitetônica consiste em pequena mudança no componente, mas com vários e fortes impactos nos outros componentes circundantes. Na inovação de sistema há múltiplas e relacionadas inovações. A inovação radical é baseada na ruptura e avanço na ciência e tecnologia e muda o caráter da indústria.

Agopyan e John (2011) afirmam que a introdução de inovações progressivas de forma frequente e contínua é característica da cadeia produtiva da construção, mas para garantir a sustentabilidade da construção, o desafio é criar condições econômicas para a inovação radical no setor.

De acordo com documento produzido pela Comissão Europeia, para se alcançar os desafios da sustentabilidade, da conservação de energia e da competitividade industrial é necessária a inovação radical nos processos de concepção e de operação dos edifícios (EUROPEAN COMMISSION, 2009).

A implementação da tecnologia construtiva de fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF está mais afeita à inovação radical do que à inovação incremental e, por isso, exige mudanças estruturais no processo de produção,

⁴ CASTRO, J. A. **Invento e inovação tecnológica na construção**. São Paulo. 1993. 258 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo.

⁵ SLAUGHTER, E. “**Models of Construction Innovation**”. Journal of Construction Engineering and Management. 1998. 124(3), 226–231.

alicerçadas pela apropriação e sistematização do conhecimento, que por sua vez está baseado em amplo cabedal de informações e avaliações.

2.2 SISTEMA DE PRODUTO

Segundo Warszawski (1977)⁶ apud Sabbatini (1989), "um sistema de produção compreende homens, máquinas e outros meios, os quais convertem materiais e trabalho em produtos especificados" e que "um sistema construtivo é caracterizado por possuir atributos muito bem definidos: uma tecnologia de produção (dos componentes e elementos); um projeto do produto (o edifício) e uma organização de produção (do edifício)".

Para Sabbatini (1989), "um sistema construtivo é um sistema de produção cujo produto objeto é o edifício".

Souza e Sabbatini (1998) aplicaram o conceito de sistema de produto e sistema de produção à tecnologia de vedação vertical em chapas delgadas de gesso acartonado. Esses mesmos conceitos serão adotados nesta pesquisa em relação à tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF.

O conceito de sistema de produto compreende um conjunto de materiais, componentes e elementos integráveis que se complementam e são utilizados na produção de um bem (SOUZA; SABBATINI, 1998).

Souza (2003) complementa com a conceituação de componente complexo, que é um agregado de componentes com funções menos complexas e em nível hierárquico imediatamente abaixo do elemento. O conjunto das funções do componente complexo que constituem o elemento é equivalente às funções do elemento⁷.

⁶ WARSZAWSKI, A. **System building: education and research**. In: CIB Triennial Congress, 7, Lancaster, 1977. Construction Research International. Anais. Lancaster, CIB, 1977, v.2, p. 113-125.

⁷ Segundo a ABNT NBR 15575-1 (2013c), são adotados os seguintes conceitos para componente e elemento:

Componente é a unidade integrante de determinado elemento da edificação, com forma definida e destinada a atender funções específicas (por exemplo, bloco de alvenaria, telha, folha de porta) (ABNT, 2013c, p. 7).

Da mesma forma, como o conceito de produto pode ser adotado para as fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF, o conceito de componente complexo pode ser adotado para os componentes presentes na tecnologia de fachada estudada.

Portanto, a tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF constitui-se num sistema de produto que exige um sistema de produção previamente definido.

2.3 DESEMPENHO

Souza (1983), tendo iniciado os estudos acerca da avaliação de desempenho de componentes e elementos associados à produção do edifício, já ressaltava a importância de se definir - qualitativa ou quantitativamente - quais as condições a serem satisfeitas por um produto quando submetido às condições normais de uso.

CIB (1975)⁸ apud Souza (2015, p. 13) já afirmava que “o resultado do equilíbrio dinâmico, que se estabelece entre o produto e seu meio, é chamado de desempenho do produto”.

Segundo Souza (2015), na prática, este equilíbrio dinâmico se estabelece quando o edifício é submetido às condições de exposição, que são o conjunto de ações atuantes durante sua vida útil. A estimativa do comportamento do produto, ou seja, seu desempenho potencial, é obtido pela utilização de modelos matemáticos e físicos, além de ensaios e medições em amostras do produto.

Ainda segundo CIB (1975) apud Souza (2015, p. 14), a avaliação pode incluir interpretação e julgamento baseados na validade dos métodos de ensaio e cálculo empregados ou na apreciação do desempenho observado e medido em modelos ou

Elemento é parte de um sistema com funções específicas. Geralmente é composto por um conjunto de componentes (por exemplo, parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura) (ABNT, 2013c, p. 9).

⁸ CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT. **The performance concept and its terminology**. Paris, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 1975. (Report 32).

protótipos. Além desses métodos, outras informações podem ser acrescentadas como a experiência de utilização do produto.

O conceito de desempenho está presente na abordagem de Sabbatini (1989) sobre inovação tecnológica ao salientar a necessidade de que tecnologias inovadoras devam apresentar condições de produção mais adequadas que as tecnologias tradicionais, de modo a: incrementar o nível de produção e de produtividade; racionalizar os recursos utilizados; reduzir custo e prazo; e melhorar o desempenho do produto.

O desempenho de um produto inovador usualmente é avaliado a partir do desempenho da tecnologia tradicional que pretende substituir. Nesse sentido, Souza (2015) discute a tendência de se fixar o tradicional como referência, como por exemplo, no caso das vedações externas. A vedação de tijolos maciços de 25 cm, revestida com argamassa de cal e areia, foi durante muito tempo tomada como padrão fazendo com que qualquer alternativa proposta para vedações externas devesse ser comparada a ela em relação a: resistência mecânica, resistência ao fogo, propriedades acústicas, isolamento térmico e impermeabilidade.

Em sua discussão sobre o tema, Souza (2015) salienta que se desconhece, se realmente, por que a vedação vertical tradicional é considerada boa e se suas propriedades são necessárias e se são satisfatórias. O argumento utilizado é que tal vedação vertical “já funcionou na prática” e, portanto, é boa solução. Para o autor, o argumento é válido como fruto da tradição construtiva, porém, não suficiente, pois não se pode aceitar o empirismo nela impregnado e adotá-lo como regra normativa.

Souza (2015) manifesta que avaliar soluções inovadoras para o edifício e suas partes, comparando-as com o tradicional, carece de uma base científica e metodológica. Esta contradição pode e deve ser superada no estágio atual dos conhecimentos no campo das ciências da construção. Para o autor, a questão relevante é a abordagem menos empírica, sem que haja empecilho às novas soluções, caracterizando de forma mais precisa a que deve atender o edifício e quais os métodos a serem utilizados em sua avaliação, concluindo que o conceito de desempenho é instrumento valioso nesse sentido.

Segundo Oliveira, Souza e Mitidieri Filho (2010) em muitos países, o desenvolvimento de projetos tem início pela definição do desempenho do produto edifício e suas partes para depois se definir as tecnologias a serem utilizadas.

No Brasil, a discussão sobre os temas da qualidade e desempenho ocorre há mais de três décadas, mas somente em período recente, com o amadurecimento da cadeia produtiva, e em função da maior exigência da sociedade, é que se formalizou a norma brasileira de desempenho. A ABNT NBR 15575 (2013) “Edificações Habitacionais – Desempenho” entrou em vigor em julho de 2013, sendo consenso que o conjunto normativo (Partes 1 a 6) constitui importante marco para a modernização tecnológica da construção (CBIC, 2013).

Por se tratar de inovação tecnológica, os sistemas leves de fechamento de fachadas não dispõem de normas técnicas; portanto, o desenvolvimento de tecnologias que abordam esses sistemas deve ser fundamentado em referenciais que contemplem exigências de desempenho e qualidade.

Soares (2010) afirma que a elaboração e difusão de documentação técnica de referência deve ser uma prioridade para a qualificação da construção no Brasil e pode contribuir com o avanço do conhecimento das tecnologias construtivas e com a inserção dos conceitos de sustentabilidade.

A comprovação de desempenho necessita de um arcabouço para a sua avaliação técnica. Nesse sentido, seguindo o que havia acontecido há algumas décadas em países desenvolvidos, criou-se um sistema de abrangência nacional para a avaliação técnica do desempenho de sistemas inovadores.

2.4 SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA (SINAT)

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica busca a harmonização de procedimentos para a avaliação de novos produtos para a construção, quando não existem normas técnicas prescritivas específicas aplicáveis ao produto. O SINAT é proposto para

suprir, provisoriamente, lacunas da normalização técnica, ou seja, para avaliar produtos não abrangidos por normas técnicas prescritivas⁹ (BRASIL, 2014).

Segundo Amancio et al. (2015), o SINAT é o ambiente que abriga a inovação tecnológica na construção civil e é resultado da mobilização da comunidade técnica na elaboração de um suporte ao funcionamento de procedimentos de avaliação de produtos de construção inovadores.

O SINAT teve como base o modelo existente na França, elaborado pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB) e referenciado no documento *Avis Technique* (ATEC) para produtos inovadores (CLETO et al., 2011). O sistema foi integrado ao cenário nacional ao ser vinculado ao PBQP-H, no âmbito do Ministério das Cidades, do Governo Federal.

Em 2007, o sistema foi aprovado pelo CTECH – Comitê Nacional de Desenvolvimento Tecnológico da Habitação e publicado no Diário Oficial da União conforme afirmam Amancio, Fabricio e Mitidieri Filho (2012).

O SINAT regula o processo no qual as Instituições Técnicas Avaliadoras (ITAs) elaboram Diretrizes que irão referenciar as exigências e requisitos que os sistemas construtivos e ou produtos devem atender. Após a elaboração das Diretrizes, os agentes interessados em um dado sistema ou produto, com o auxílio de uma ITA, irão elaborar os Documentos de Avaliação Técnica (DATec), cuja aplicação deve garantir o atendimento às exigências das Diretrizes.

Amancio et al. (2015) explicam que o DATec é discutido e harmonizado em duas instâncias: Comitê Técnico e Comissão Nacional do SINAT, sendo a comissão a última instância deliberativa e que autoriza a concessão. Os autores descrevem que, após a concessão do DATec, são realizadas auditorias técnicas periódicas, que incluem ensaios, análises, vistorias técnicas no processo e no produto, considerando o controle da qualidade adotado pelo produtor e os parâmetros definidos no DATec e na Diretriz. O documento é fundamental para acesso aos financiamentos públicos federais para a Habitação.

⁹ Sistema Nacional de Avaliações Técnicas - SINAT – Disponível em: http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php. Acesso em: fevereiro de 2014

Bonin (2015) afirma que o SINAT e a publicação da ABNT NBR 15575 (2013) criaram um novo cenário para o setor, que propiciou oportunidade para o desenvolvimento tecnológico ao definir objetivamente um referencial para a inovação e estimular a melhoria contínua da qualidade do ambiente construído. Por outro lado, significa um grande desafio por ter se estabelecido antes que a comunidade técnica nacional tivesse assimilado completamente os conceitos de desempenho, objetivos tanto do SINAT quanto da norma de desempenho ABNT NBR 15575 (2013).

Por isto há, ainda, lacunas de conhecimento a serem preenchidas em futuras revisões da norma e consequentemente da documentação técnica do SINAT (BONIN, 2015).

Bonin (2015) e Amancio et al. (2015) acentuam o desafio de se buscar suprir a carência de infraestrutura tecnológica como laboratórios de ensaios e testes, consolidando uma rede de ITAs em todo o território nacional, com condições técnicas para atender às demandas do setor, e maior interação entre as instituições de ensino e pesquisa e as empresas atuantes na fabricação de produtos para a construção, entre outros.

Segundo Amancio, Fabricio e Mitidieri Filho (2012), a avaliação técnica de produtos de construção traz um novo contexto para a utilização de inovação. Habitado a processos e sistemas construtivos pouco padronizados, o setor da Construção Civil, conhece novos procedimentos para uso de produtos inovadores.

Apesar da pesquisa se referir a tecnologia de fachada de chapas delgadas estruturadas em LSF, o Quadro 1 apresenta os referenciais técnicos do SINAT relativos ao sistema construtivo LSF, que também envolvem fechamentos de fachadas.

Quadro 1 - Referenciais Técnicos do SINAT relativos ao sistema construtivo LSF

Referencial	Título	Ano de Publicação
Diretriz SINAT 003 – Revisão 01	Sistemas construtivos estruturados em perfis leves de aço conformados a frio, com fechamentos em chapas delgadas (Sistemas leves tipo “ <i>Light Steel Framing</i> ”)	2010
Diretriz SINAT 009	Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamento em chapas delgadas.	2012
DATec 14	Sistema construtivo a seco Saint-Gobain - Light Steel Frame (validade março de 2015)	2013
DATec 14a	Sistema construtivo a seco Saint-Gobain - Light Steel Frame (validade junho de 2017)	2015
DATec 15	Sistema construtivo LP Brasil OSB em Light Steel Frame e fechamento em chapas de OSB revestidas com <i>siding</i> vinílico (validade março de 2015)	2013
DATec 16	Sistema construtivo LP Brasil OSB em Light Steel Frame e fechamento em SmartSide Panel (validade março de 2015)	2013

Fonte: Adaptado de PBQP-H. Disponível em: http://pbqp-h.cidades.gov.br/projetos_sinat.php . Acesso em novembro de 2015

Squicciarini e Asikainen (2011) afirmam que apesar de normalização e regulamentação permitirem a difusão e desenvolvimento de novas tecnologias e processos, elas podem conduzir a sistemas estáticos que podem dificultar a inovação. As práticas de certificação relativas a produtos ou empresas podem desencorajar os esforços e os investimentos de pequenas empresas devido a custos adicionais e prazos envolvidos.

Embora, o mercado da construção conte com a regulamentação para a utilização de sistemas inovadores por meio do SINAT, o uso desses sistemas é ainda bastante incipiente na Habitação de Interesse Social (HIS). Na prática, nota-se a dificuldade para a implementação da inovação, que é imperativa para aumento da produtividade e desempenho do produto habitação.

O Quadro 2 apresenta o número de unidades habitacionais construídas nos sistemas construtivos considerados inovadores. O sistema de parede de concreto moldado *in loco* é preponderante com mais de 77% das unidades habitacionais construídas. Em segundo lugar, está o pré-moldado de bloco cerâmico com 18% das unidades construídas. O sistema LSF teve apenas 0,15% do número de unidades construídas (ANAUATE, 2014).

Quadro 2 – Sistemas Inovadores e habitações construídas

Sistemas Inovadores	Unidades habitacionais construídas	Porcentagem do total
Parede de concreto moldada in loco	306.229	77,34%
Pré-moldado de bloco cerâmico	71.814	18,14%
Pré-moldado de concreto	7.343	1,85%
PVC+ concreto	4.092	1,03%
Painéis compostos	2.926	0,74%
Wood Frame	1.302	0,33%
Bloco de gesso	1.054	0,27%
<i>Light Steel Framing</i>	604	0,15%
Pré-moldado de concreto alveolar	548	0,14%
Solo cimento	24	0,01%
Total de Unidades	395.936	100%

Fonte: Dados do Arq. Milton Anauate, consultor da presidência da Caixa Econômica Federal e apresentados em reunião do grupo de trabalho Construção Industrializada no âmbito do Programa Compete Brasil da FIESP em 19 de agosto de 2014.

O número total de unidades que utilizaram a inovação, da ordem de menos de 400 mil frente aos 2 milhões de unidades construídas no período, ainda é baixo face as necessidades e carências da Habitação, em especial, de HIS. Considerando-se as que utilizaram sistemas baseados na construção leve, em especial a tecnologia do LSF, a porcentagem de menos de meio ponto percentual mostra o grande desafio necessário para a consolidação da tecnologia.

O alto custo e os longos prazos podem ser uma das razões que levaram somente as grandes empresas a buscar referenciais para seus produtos nos Documentos de Avaliação Técnica, como é o caso das empresas LP e Saint-Gobain. O prazo de validade de tal documento é um ponto que exige esforços constantes, uma vez que o DATec tem validade por dois anos, conforme o Regimento Geral do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas de produtos inovadores.

As médias e pequenas empresas podem se afastar da busca por novos sistemas construtivos pelos altos custos e prazos envolvidos na obtenção de um DATec. Nesse caso, o sistema pode atuar como barreira para o crescimento por potencialmente reduzir a inovação.

Amancio e Fabricio (2015) ponderam que o SiNAT, como qualquer sistema em evolução, necessita ser observado, para garantir que suas premissas sejam atendidas

e que as demandas do setor, do mercado e dos usuários possam ser consideradas e supridas. Os autores acrescentam que há necessidade de formação de estrutura coesa no que concerne aos organismos avaliadores e às avaliações técnicas, em termos de critérios e processos de avaliação e que o amadurecimento do sistema se dará lentamente pela aquisição da prática e do seu tempo de atuação.

2.5 CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO *LIGHT STEEL FRAMING*

A cadeia produtiva das estruturas de LSF é o ambiente onde se situa a subcadeia das fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF.

A tecnologia do LSF envolve as estruturas portantes de edificações e subsistemas, além das vedações verticais externas, como vedações horizontais e coberturas. A tecnologia de estruturas em perfis leves formados a frio iniciou anteriormente ao desenvolvimento da tecnologia de fachada, que pode ser aplicada em edificações estruturadas em LSF ou em estruturas convencionais. O desenvolvimento da fachada em chapas delgadas em LSF está vinculado ao desenvolvimento da tecnologia dos perfis leves formados a frio ou sistema construtivo LSF.

2.5.1 Definição de cadeia produtiva

Segundo a Fundação Getúlio Vargas:

A cadeia produtiva da construção civil é composta (i) pelas construtoras, incorporadoras e prestadoras de serviços auxiliares da construção, que realizam obras e edificações; (ii) por segmentos da indústria de transformação, os que produzem materiais de construção; (iii) por segmentos do comércio varejista e atacadista; e (iv) por várias atividades de prestação de serviços, tais como: serviços técnico-profissionais, serviços financeiros e seguros (ABRAMAT; FGV, 2007, p. 6)

Para Bougrain e Carassus (2003), a noção de cadeia produtiva da construção é centrada sobre a análise dos fluxos de produção dos empreendimentos. Diferentemente de produtos oriundos das diversas atividades econômicas, os

empreendimentos da construção perduram dezenas ou mesmo centenas de anos e se configuram como o parque construído existente, designado pelo termo estoque¹⁰. A noção de cadeia da construção pode se expandir à reabilitação e à manutenção desse estoque, ainda assim, tratando-se de fluxos de produção.

Os autores acrescentam que a gestão, a exploração e a manutenção do estoque são atividades contínuas de serviço, contrariamente à construção nova e à reabilitação que são atividades descontínuas de produção. Dessa maneira, amplia-se o conceito baseado na produção ao integrar a noção de serviço contínuo baseado no estoque.

Os autores concluem que a partir da ampliação do conceito, não mais centrado somente na produção, a cadeia produtiva é o conjunto complexo e organizado das relações entre os agentes produtivos e institucionais que participam na produção e na gestão das obras de construção e do serviço gerado por essas obras ao longo dos seus ciclos de vida.

O conceito de cadeia produtiva foi desenvolvido como instrumento de visão sistêmica. Parte da premissa de que a produção, no sentido amplo do termo, pode ser representada como um sistema, em que os diversos agentes estão interconectados por fluxos de materiais, de capital e de informação, objetivando suprir um mercado consumidor final com os produtos do sistema (CASTRO; LIMA; CRISTO, 2002).

Segundo Cardoso et al. (2003), os estudos prospectivos colaboram para o estabelecimento de estratégias de ação, envolvem:

- Modelagem da cadeia enquanto sistema industrial, composto de elos sucessivos e interligados e a segmentação de cada elo;
- Análise do ambiente institucional e organizacional que envolve a cadeia produtiva;
- Identificação de necessidades e aspirações de cada segmento e da cadeia como um todo;
- Análise de desempenho da cadeia produtiva e a identificação de fatores críticos à melhoria do desempenho;

¹⁰ O termo “estoque” se refere ao parque construído existente e não deve ser confundido com o conjunto de unidades ou propriedades não vendidas num determinado período no mercado imobiliário.

- Prognóstico do comportamento futuro dos fatores críticos e, portanto, do desempenho futuro da cadeia;
- Identificação das demandas tecnológicas e como consequência, orientação para a busca de inovações;
- Identificação das demandas não tecnológicas, tais como oportunidades, ameaças e ações possíveis na cadeia e no seu ambiente institucional e organizacional, visando à melhoria de seu desempenho para o futuro.

Castro, Lima e Cristo (2002) definem os itens de gestão da cadeia produtiva. Apesar da atuação dos autores se dar no setor agropecuário, os itens por eles elencados se adequam à gestão da cadeia produtiva da construção, que compreende: (1) gestão da eficiência (produtividade e custos); (2) gestão tecnológica e de P&D; (3) gestão da qualidade (diferenciação); (4) gestão da sustentabilidade ambiental; (5) gestão dos mercados e oportunidades; (6) gestão de contratos; (7) gestão da comunicação e da informação incluindo a conscientização de lideranças, a melhoria da base de informações (bibliografia, *websites*, bases de dados); melhoria da imagem e sustentabilidade institucional; geração de novas políticas públicas e fóruns e câmaras de negociação entre elos das cadeias produtivas.

Segundo Squicciarini e Asikainen (2011), o estudo da cadeia produtiva se apoia no entendimento da dimensão setorial. Identificar e qualificar os diferentes agentes da cadeia produtiva da construção pode contribuir para políticas de intervenção objetivando aliviar potenciais impactos econômicos e sociais e efeitos dominós.

Kupfer e Tigre (2004) acrescentam que as características setoriais influenciam a forma como uma tecnologia se difunde e se integra ao sistema produtivo. A dimensão econômica do setor influencia a dinâmica de difusão tecnológica, a exemplo da intensidade da competição, concentração da produção, barreiras à entrada e abertura à competição internacional e regime de regulação. A dimensão setorial constitui, portanto, um instrumento essencial para entender o ambiente estrutural e sistêmico no qual as empresas estão inseridas. O entendimento das características setoriais necessita da análise da natureza dos produtos e processos e do reconhecimento da intensidade de incorporação das tecnologias utilizadas.

2.5.2 Tecnologia Industrial Básica

Segundo Fleury (2007), o termo Tecnologia Industrial Básica (TIB) foi concebido no final da década de 70, pelo então Ministério da Indústria e do Comércio (MIC), para expressar em um conceito único as funções básicas do SINMETRO, a saber: Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, às quais se agregou a Gestão da Qualidade.

Para Souza (2009), a importância do desenvolvimento da infraestrutura tecnológica, da qual a normalização é parte, tornou-se visível desde que o País optou pela inserção competitiva no mercado mundial.

Cardoso et al. (2003) afirmam que o ambiente institucional e organizacional da cadeia produtiva é constituído pelas organizações, agentes e instituições que interferem direta ou indiretamente nas ações e no desempenho da cadeia produtiva. A normalização técnica se situa no ambiente institucional da cadeia.

As normas técnicas são um instrumento para a qualidade, competitividade e consolidação da tecnologia. Elas são instrumento de fomento ao desenvolvimento tecnológico e refletem o domínio tecnológico setorial. As normas também podem representar os interesses de quem as elabora, ampliando ou reduzindo barreiras técnicas que podem se transformar em barreiras comerciais. Quanto mais organizado for o setor e quanto mais tecnologia ele demandar, maior é o conjunto de normas que regem a forma de atuação em relação a serviços e produtos. O investimento em normalização é uma realidade nos países desenvolvidos e uma tendência irreversível e necessária no país. A existência de um arcabouço de normas técnicas colabora com a formalidade do setor (CAMPOS, 2012).

A norma é um documento de referência estabelecido por consenso entre os agentes do mercado e aprovado por um organismo reconhecido que define as regras e as características aplicáveis às atividades desses agentes. Ela é um elemento essencial de difusão de tecnologias e fator de competitividade entre empresas (FRANÇA, 2011).

Segundo Dewick e Miozzo (2002)¹¹ apud Squicciarini e Asikainen (2011, p. 676), as regulamentações e legislações afetam direta ou indiretamente todos os aspectos da indústria da construção, como a segurança, energia ou o meio-ambiente

A informalidade na cadeia produtiva de materiais de construção é estimulada pela falta de fiscalização pelos órgãos governamentais, pela escassez de normas técnicas para a produção e pelo ainda incipiente processo de certificação de produtos. Comparando o número de normas técnicas para a construção civil existentes no Brasil e na União Europeia, verifica-se que em 2009, havia 938 normas ABNT, enquanto na Comunidade Europeia havia 1.733 normas CEN (MELLO; AMORIM, 2009).

A elaboração de normas constitui, portanto, uma alavanca para promover a inovação e melhorar o desempenho das empresas. Ela é objeto de atenção constante dos países onde a indústria figura entre as mais competitivas na escala mundial, uma vez que a elaboração de normas comuns é a garantia de que o mercado dispõe de importância crítica. Para a empresa, participar na elaboração das normas é se dotar de uma capacidade de antecipação para inovar e evoluir seus produtos e práticas. As comissões de normalização constituem um local de observação privilegiado para conhecer as evoluções do mercado, identificar as tendências de desenvolvimento e ter acesso a uma vasta rede de parceiros (FRANÇA, 2011).

Em relação à conformidade dos componentes, o Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas Construtivos (SiMaC) objetiva combater a não conformidade intencional na fabricação de materiais e componentes para a construção civil. Os Programas Setoriais da Qualidade (PSQs) buscam a conformidade para materiais que compõem a cesta básica da construção¹².

O Quadro 3 sintetiza as normas técnicas brasileiras que se referem aos componentes utilizados no sistema do LSF, enquanto o Quadro 4 apresenta as normas para dimensionamento estrutural do sistema. Segundo LP (2011), componentes como os painéis OSB e as membranas de estanqueidade não são objeto de normas brasileiras.

¹¹ DEWICK, P.; MIOZZO, M. (2002) **Sustainable technologies and the innovation-regulation paradox**. *Futures*, 34, p. 823 - 40.

¹² SiMaC - http://pbqp-h.cidades.gov.br/resultados_projetos.php. Acesso em novembro de 2015

Quadro 3 - Normas brasileiras de dimensionamento para o Sistema LSF

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

Fonte: Catálogo ABNT

Quadro 4 - Normas brasileiras de componentes do Sistema LSF

Normas ABNT	Título da norma	Ano de Publicação
ABNT NBR 10412	Isolantes térmicos de lã de vidro feltros de lamelas - Especificação	2013
ABNT NBR 11361	Mantas termoisolantes à base de lã de rocha	2014
ABNT NBR 11362	Feltros termoisolantes à base de lã de vidro	2013
ABNT NBR 11722	Feltros termoisolantes à base de lã de rocha	2014
ABNT NBR 14715	Chapas de gesso acartonado – Requisitos gerais	2010
ABNT NBR 15253	Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados em edificações - Requisitos gerais.	2014
ABNT NBR 15498	Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio	2014

Fonte: autora a partir do Catálogo ABNT

2.5.3 Ações para o desenvolvimento do sistema LSF no âmbito da cadeia produtiva

Sabbatini (1989) já afirmava que a condução do processo de desenvolvimento tecnológico deve ser confiada a profissionais que encarem sistemicamente o problema e que tenham também, uma visão global da indústria da construção civil.

Diferentemente da cadeia produtiva da indústria automobilística, onde a montadora é a integradora de sistemas complexos, a cadeia produtiva da construção necessita de agentes integradores que conduzam o processo de desenvolvimento de tecnologias.

Fazendo-se um paralelo com indústrias com foco em sistemas complexos de produção, Teixeira e Guerra (2002) destacam a rede de empresas como o arranjo interorganizacional típico, com forte especialização e complementaridade entre os agentes.

Acredita-se que a busca por soluções que resolvam as interfaces da tecnologia com os subsistemas do edifício é de fundamental importância para o desenvolvimento da tecnologia como sistema de produto.

Entre as ações da cadeia produtiva para o desenvolvimento de mercado e do sistema LSF está o desenvolvimento da normalização e da divulgação de dados que quantifiquem esse mercado.

Em relação a normalização, a cadeia produtiva do LSF criou em 2013 o Núcleo do *Steel Framing* com a finalidade de se elaborar um texto base que possa servir de referencial para uma futura norma do sistema construtivo LSF. A partir da elaboração do texto base, o Núcleo pretende criar um grupo de trabalho junto à ABNT para a elaboração da norma. As entidades que fazem parte do Núcleo são a Associação Brasileira do *Drywall*, o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) e as empresas Eternit, LP e Saint-Gobain. Estes agentes firmaram um termo de colaboração entre si e contam com a colaboração jurídico-institucional da Associação Brasileira da Indústria de Materiais de Construção (ABRAMAT). A entidade tem como associadas as principais empresas do setor da indústria de materiais de construção e atua como suas interlocutoras junto ao poder público, ao setor e à sociedade visando à adoção de medidas e políticas que ampliem a atividade da construção.

Em relação a divulgação de dados estatísticos de consumo e de produção, o Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA¹³ e o Instituto de Metais Não-Ferrosos – ICZ¹⁴ realizaram em 2015 uma pesquisa junto aos fabricantes de perfis para os sistemas *drywall* e LSF, que apontou produção de 97.860 t para perfis de *drywall* e produção de 45.360 t de perfis para LSF, conforme apresentado no Quadro 5 (CBCA; ICZ, 2015, pag. 25).

Quadro 5 - Produção de perfis *drywall* e LSF

Tipo de perfil	Produção em toneladas/ano
<i>Drywall</i>	97.860
LSF	45.360
Total	143.220

Fonte: CBCA e ICZ - Pesquisa Fabricantes de perfis para *drywall* e LSF

¹³ CBCA é uma entidade gerida pelo Instituto Aço Brasil cuja missão é promover a construção em aço.

¹⁴ ICZ é uma entidade de representação dos galvanizadores e da indústria de produção do zinco, chumbo e níquel.

O mercado dos perfis para *drywall* é mais que duas vezes maior que o mercado de perfis para LSF. Juntos, o segmento consome aproximadamente 143.220 t/ano de aço galvanizado para a produção dos dois tipos de perfis em diferentes espessuras de chapas, revestimentos e resistências mecânicas. O volume de aço consumido representa 14,4% do consumo aparente de aços galvanizados na construção (CBCA; ICZ, 2015; INSTITUTO AÇO BRASIL, 2015).

No caso da fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, a participação dos fabricantes de materiais e componentes para a implementação da tecnologia é determinante. Bougrain e Carassus (2003) afirmam que os fabricantes de materiais são os mais sensíveis às mutações tecnológicas que afetam o setor e são levados a despesas de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) consequentes, com apoio de estruturas centralizadas. Devido às buscas de economias de escala, há movimentos de concentração das empresas, causados por uma pesada estrutura concorrencial. Esse movimento torna-se claro em certos segmentos como é o caso dos materiais de base como o vidro, cimento, aço, gesso, plásticos, em que poucas empresas participam do mercado.

Quanto as tendências relacionadas às estratégias de manufatura e gestão no setor da construção civil, Cardoso (2005) apontou tendências, em diferentes graus de evolução e que podem impactar positivamente a cadeia produtiva do LSF como:

- Deslocamento das atividades do canteiro para a indústria;
- Adoção da construção “seca”;
- Valorização dos projetos de pré-construção;
- Subcontratação de serviços de execução de obra;
- Gestão estratégica da cadeia de suprimentos;
- Qualidade de produtos e processos;
- Mecanismos de aprovação técnica de produtos e sistemas inovadores;
- Desenvolvimento de sistema de coordenação modular;
- Desenvolvimento de referenciais tecnológicos.

Em relação aos itens apontados por Cardoso (2005), a cadeia produtiva do LSF pode contribuir para esse deslocamento das atividades do canteiro para a indústria com o

fornecimento de painéis e elementos pré-montados para o canteiro de obras. E, neste cenário, a valorização dos projetos de pré-construção são condição essencial do processo construtivo LSF, que também dependem da qualidade de produtos e processos e, portanto, da gestão da cadeia de suprimentos.

O deslocamento das atividades do canteiro para a indústria pode ser verificado em relação a vários componentes e subsistemas utilizados na construção, como estruturas metálicas, estruturas pré-moldadas de concreto, coberturas metálicas industrializadas, fachadas unitizadas, entre outras. A construção seca tem evoluído com a utilização do sistema *drywall* na vedação vertical interna, e sistemas como LSF na estrutura e na vedação vertical externa.

Um fator que pode ser um entrave para o sistema é a Política Tributária que tem penalizado sistemas fabricados fora do canteiro de obras. O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) incidente sobre os componentes dos processos industrializados eleva seu custo final da alternativa industrializada, de tal forma que a produção do canteiro pode se configurar como a opção de menor custo econômico, uma vez que sobre eles não há incidência do tributo (ABRAMAT; FGV, 2013).

Agopyan e John (2011) afirmam que o incentivo a soluções e produtos inovadores no mercado depende de políticas públicas e fiscais. Acrescentam, ainda, que na situação brasileira, em que importante parcela da economia é informal, a influência de políticas públicas e da normalização é menor, uma vez que atingem somente os que trabalham na formalidade. Os autores acenam a possibilidade de desalinhamento de objetivos quando o aumento das exigências e da qualidade de políticas acentuem as vantagens competitivas dos informais, os quais não têm compromissos sociais, ambientais ou de qualidade.

Em relação a educação e qualidade da mão de obra, é necessário atuar na formação de projetistas, montadores dos sistemas em LSF, entre outros, e entidades como o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) podem desempenhar importante papel na capacitação.

2.6 CONSIDERAÇÕES

A tecnologia construtiva da fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF é uma inovação tecnológica, que, pelo seu caráter, está afeita ao tipo de inovação radical, exigindo mudanças estruturais no processo de produção. Além de inovação radical, o sistema de fachada apresenta aspectos de inovação de sistema, por beneficiar outras inovações relacionadas, entre elas, as inovações arquitetônicas.

A fachada estudada é um sistema de produto que compreende um conjunto de componentes e elementos que se integram e que exigem um sistema de produção previamente definido.

Esses elementos e componentes integrantes do sistema pertencem a diferentes segmentos da indústria de materiais de construção e a sua implementação em canteiro de obras como sistema de produto é atribuição não somente de um agente, seja ele fabricante ou construtora, entre outros, mas principalmente, da cadeia produtiva. Nesse sentido, a cadeia produtiva se apresenta como instrumento de visão sistêmica para o desenvolvimento da tecnologia e da inovação.

A complexidade da tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF necessita de agente (s) integrador (es) que conduza (m) o seu processo de desenvolvimento de modo a resolver suas interfaces, uma vez que está inserida num subsistema reticulado de estrutura e que a ela devem se acoplar os elementos de esquadrias e de sistemas prediais.

Embora haja dificuldade do setor para a condução do papel de integrador, a integração deve estar na pauta do setor: indústria, fabricantes de materiais, associações do setor, projetistas, organismos avaliadores de tecnologias e academia devem buscar o desenvolvimento de ações para a complementaridade entre os agentes e busca de atuação em rede.

Os próximos capítulos pretendem, pela sistematização das informações tratadas, colaborar com o conhecimento sobre a tecnologia a fim de que essa inovação possa se viabilizar no País.

3. CARACTERIZAÇÃO DA FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADAS EM LSF

3.1 HISTÓRICO DA FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADAS EM LSF

Fachada, do italiano *facciata*, é a parte principal e anterior de um edifício e, na tradição clássica, a fachada era definida pelo número de colunas que a ornavam (RAVAZZINI, 1982).

A enciclopédia “*Larousse du XX Siècle*”¹⁵, datada da década de 1930, define o termo fachada (*façade*) como “cada um dos lados exteriores do edifício”, referindo-se mais particularmente à sua face principal. A enciclopédia, no mesmo verbete, mostra a definição administrativa do termo e destaca a regulamentação da época, em relação à altura da fachada, sendo que o prefeito detinha o direito de interditar a construção se houvesse materiais que pudessem representar riscos de incêndio ou de queda¹⁶.

No decorrer do tempo, a linguagem da arquitetura clássica constituiu-se em uma das linguagens mais estáveis da cultura ocidental. O ponto de ruptura se verificou com as vanguardas históricas do final do século XIX (PRATELLI, 1984).

O Movimento Moderno na arquitetura trouxe a cisão entre clássico e o moderno e, por consequência, a depuração formal da linguagem clássica. O antológico manifesto de Adolf Loos, “Ornamento e crime”, publicado em Viena em 1908, trouxe o papel precursor de superar a contraditória herança cultural da sociedade burguesa que não poderia mais tomar como parâmetro a cultura do classicismo (FRAMPTON, 1982).

Dada à ruptura em relação à linguagem, há também uma ruptura em relação às técnicas de execução, que eram de domínio dos engenheiros e arquitetos de fins do século XIX, e que foram passadas empiricamente de geração em geração. No Brasil, conforme sinaliza Barros (1991), há também ruptura com as técnicas de execução, com a falta de análises dos motivos pelos quais uma atividade era executada de uma determinada maneira, o que contribuiu para a falta de domínio tecnológico por parte das novas gerações. Dada à necessidade de industrialização e o desaparecimento de artesões, precursores que imigraram para o Brasil no início do século e que

¹⁵ Larousse du XX^e Siècle. Maison Larousse. Paris. 1930.

¹⁶ Nota da autora: Desde àquela época nota-se a preocupação com o desempenho ao se vetar materiais que traziam risco de incêndio ou de queda.

efetivamente dominavam o "saber fazer", perdeu-se o conhecimento vernacular na execução de elementos arquitetônicos que tinham funções de proteção como se dava na arquitetura tradicional.

Na fachada, a perda de elementos da arquitetura clássica como molduras, frisos, entre outros elementos arquitetônicos, trouxe perda de desempenho, uma vez que estes elementos tinham também funções como pingadeiras, escoamento de água, proteção e limitação de panos para se evitar fissuras.

As vedações de alvenaria foram e ainda são largamente usadas na civilização ocidental e desempenham, entre outros, proteção térmica essencialmente pela sua alta inércia térmica. Segundo Yu (2014), a parede monolítica, usada como única barreira entre interior e exterior, pode causar alguns inconvenientes que a tornam mais suscetível à penetração de água, em estado líquido ou vapor, pelo fato de a alvenaria ser porosa e pelo seu grande número de juntas.

Yu (2014) afirma que a introdução de uma camada de ar entre as superfícies exteriores e interiores colabora no controle da penetração de água e fornece um dreno para a água de condensação evitando a entrada de umidade e destaca, como exemplo do uso pioneiro de vedações com cavidade, a Morgan Library, em Nova York, projetada em 1906 por McKim, Mead & Withe, que utilizava essa técnica para proteção dos livros contra umidade.

Ainda segundo Yu (2014), as fachadas multicamadas têm seu início quando da introdução das vedações externas com cavidades de ar no interior, propiciando uma opção de resistência a umidade às paredes monolíticas com função portante. A introdução de uma camada de ar, entre as duas espessuras da parede, cria a oportunidade de melhorar o isolamento térmico do conjunto. Combinando materiais de isolamento com o ar da cavidade, torna-se possível a melhora da capacidade térmica da vedação vertical, aumentando-se o gradiente de temperatura entre as camadas externas e internas. A introdução da cavidade ainda permite, caso haja condensação interna, introduzir uma barreira de vapor no lado interno, lado mais quente, para proteger as camadas interiores da água de condensação. Contudo, essa forma de produção estava associada a vedações portantes.

Novos avanços permitiram o uso precursor de perfis leves com a técnica do *Balloon Framing* (Figura 1). Segundo Yu (2014), essa técnica foi o primeiro passo para criação

de kits de componentes para a construção em estrutura leve (*light frame*) e sua utilização pioneira é iniciada nos Estados Unidos ainda no século XIX, sendo mais difundida após o grande incêndio de Chicago em 1871.

Figura 1 – Técnica do *Balloon Frame*

Fonte: WOODWARD; WOODWARD (1863)¹⁷ apud O'BRIEN (2010)

Os avanços na indústria das chapas de ligação (*nails*) colaboraram para a difusão do sistema de painéis formados por perfis de madeira, cuja construção era mais leve em comparação com grandes vigas e peças de madeira e cujas conexões podiam ser feitas por mão de obra com pouca especialização quando comparadas às conexões das pesadas peças em madeira. O sistema continuou a evoluir tomando um posto privilegiado em relação a outros métodos, principalmente porque não exigia mão de obra altamente especializada, o que reduzia seu custo de produção. Por isto, permitiu sua utilização em grande parte das habitações de subúrbio norte-americanas.

Yu (2014) afirma que acompanhando a evolução da construção leve americana, e por razões de segurança contra incêndio, muitas municipalidades proíbem o uso da madeira. Assim, em edificações de múltiplos andares e comerciais, houve a substituição dos perfis de madeira por perfis de aço. Apesar de leves, os painéis continuavam constituindo vedações portantes.

¹⁷ WOODWARD, G. E.; WOODWARD, F. W. **Woodward's Country Homes**. New York, NY: Stephen Hallet. 1863.

Os avanços estruturais eliminaram a função portante da vedação vertical, que fora delegada à estrutura reticulada com elementos como pilares e vigas, sejam de concreto ou de aço. Com isso, novas possibilidades foram trazidas às vedações, como as que ocorreram no século XIX em que as estruturas de ferro foram empregadas em conjunto com fechamento de vidro.

A partir de então, a vedação vertical externa passa a ter a função de pele ou envelope do edifício, necessitando suportar apenas o seu peso próprio, abrindo-se novas possibilidades à arquitetura e à engenharia.

Segundo Yu (2014), as vedações, dos exemplos portantes e monolíticos, do início do século XX, evoluíram de simples materiais para sistemas mais sofisticados, aumentando a necessidade de controle das propriedades físicas, tais como, ganhos e perdas de calor, controle da umidade, entre outras. Novos materiais e novos métodos de produção trouxeram novos limites aos materiais de construção. Novos avanços permitiram a utilização pioneira de revestimentos não aderidos. O edifício dos correios de Viena, Áustria, do arquiteto Otto Wagner, construído em 1904, tem o revestimento de fachada não aderido. Nesse edifício, painéis de mármore são fixados em uma estrutura usando rebites de alumínio (Figura 2).

Figura 2- Trecho de fachada mostrando revestimento de mármore fixado com rebites

Fonte: Gryffindor (Own work) [GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)]

Maugard (2007) manifesta que, do ponto de vista da arquitetura, podem-se observar três estágios de evolução da matéria e dos materiais de construção: a matéria opaca para delimitar o interior do exterior, a matéria transparente para se visualizar o exterior a partir do interior e vice-versa, e, paradoxalmente, a matéria “invisível” que traz um *continuum* entre interior e exterior.

Segundo Maugard (2007), onipresente na arquitetura tradicional, a matéria opaca ainda tem o seu lugar, uma vez que sempre se apresenta a necessidade de separação de interior e exterior, e, o que há de novo é poder se utilizar novos materiais como a gama de metais, polímeros, e mesmo materiais tradicionais, como a pedra, sob a forma de finas películas.

A tecnologia dos materiais leves e não-portantes aplicada ao desenvolvimento das vedações exteriores continua sendo objeto de evolução devido à contínua necessidade de proteção, às crescentes exigências dos usuários e às necessidades de desempenho cada vez maiores para fazer face às novas regulamentações.

A tecnologia das fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF teve o seu desenvolvimento em grande parte alavancado pelo desenvolvimento das vedações verticais internas com chapas de gesso acartonado, o *drywall*.

Sabbatini (1998) registra que as chapas de gesso acartonado foram inventadas por Augustine Sackett em 1898 nos Estados Unidos, mas passaram a ser utilizadas de forma intensiva somente a partir da década de 1940. Segundo Souza (2003), na Europa, essa vedação vertical foi introduzida para responder à demanda por habitações necessárias no pós segunda grande guerra mundial.

No Brasil, esse sistema teve início na década de 1970. Foi utilizado no Conjunto Habitacional Zezinho Magalhães Prado com 11 mil unidades habitacionais. Seu projeto, de 1967, dos arquitetos João Batista Vilanova Artigas, Paulo Mendes da Rocha e Fábio Penteado, tinha como partido o aproveitamento máximo das possibilidades tecnológicas existentes para permitir o barateamento dos custos de construção e a elevação dos padrões construtivos (SABBATINI, 1998; BASTOS; ZEIN, 2011).

Segundo Souza (2003), houve uma série de questões que impediram a implantação da tecnologia no Brasil nos anos 1970 e 1980, como falta de materiais e componentes, problemas técnicos e de desempenho, sendo a principal delas falta de ações de

desenvolvimento tecnológico. Em meados da década de 1990, com a entrada no mercado de fabricantes de chapa retomou-se o desenvolvimento da tecnologia com a disponibilização de materiais e componentes.

A tecnologia de vedação vertical com chapas de gesso acartonado tornou propício o desenvolvimento das fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF, dado o desenvolvimento de mercado iniciado pelo *drywall* que fomentou a indústria de componentes (perfis de aço, chapa de gesso acartonado, parafusos, etc.).

As fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF fazem parte dessa longa história de evolução dos materiais, das tecnologias e das maneiras de se conceber o ambiente construído.

Segundo Way e Lawson (2013), o sistema apresenta os benefícios de construção como o baixo peso, velocidade e facilidade de instalação.

Santiago (2008) afirma que a fachada em chapas delgadas em LSF possui peso próprio baixo ($<60\text{kg/m}^2$), gerando alívio nas solicitações da estrutura principal fundações e que facilita as atividades de transporte dos painéis ou seus componentes para o canteiro de obras.

Neste capítulo busca-se caracterizar essa tecnologia, identificando seus componentes e suas respectivas funções.

3.2 CLASSIFICAÇÃO E TERMINOLOGIA ASSOCIADAS ÀS VEDAÇÕES VERTICAIS EXTERNAS

A ABNT NBR 15575- 4 (2013): Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE define sistemas de vedação vertical interna e externa como “partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, tais como as fachadas e as vedações ou divisórias internas” (ABNT NBR 15575- 4, 2013, p.7). A norma utiliza a sigla SVVE para sistema de vedação vertical externa.

Segundo Oliveira (2009), a vedação vertical externa é também denominada vedação de fachada ou simplesmente fachada atuando como invólucro do edifício. O termo envelope também vem sendo bastante utilizado como sinônimo de invólucro do edifício, designando os subsistemas fachada e cobertura.

Em relação à densidade superficial, as vedações podem ser divididas em leves ou pesadas. A ABNT NBR 15575-4 (2013) considera vedações leves as que possuem densidade menor que 60 Kg/m².

Em relação à classificação de vedações verticais, um importante documento que consolidou sua terminologia são os anais do Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais, ocorrido em 1998 na Escola Politécnica da USP (SABBATINI; BARROS; MEDEIROS, 1998).

Sabbatini e al. (1988) classificam a vedação vertical quanto à sua capacidade de suporte em: resistente quando a vedação vertical possui função estrutural, além da função de compartimentação; e, auto-portante, quando a vedação vertical é empregada unicamente com a função de compartimentação de ambientes.

A vedação vertical externa estruturada em perfis leves de aço pode ser estrutural ou não estrutural. O objeto de estudo deste trabalho é a vedação vertical externa auto-portante, sem função estrutural, segundo definição de Santiago (2008, p. 32):

...a responsabilidade estrutural do fechamento é resistir às cargas verticais decorrentes de seu peso próprio e dos materiais de fechamento e acabamento ligados diretamente aos painéis, transmitindo-as as vigas, lajes ou fundações. O fechamento em LSF resiste também às cargas horizontais decorrentes da incidência do vento na fachada do edifício.

Em relação ao contraventamento, as vedações leves não contraventam a estrutura. Segundo Sabbatini (1998), “o não contraventamento possibilita uma concepção estrutural mais precisa e melhor previsibilidade do comportamento da estrutura com o tempo, principalmente em relação às deformações”.

Sabbatini et al. (1998) afirmam que, em relação à aplicação de revestimento, pode-se classificar as vedações de fachada em função do momento em que o revestimento é incorporado a ela, sendo classificados em: vedações com revestimento incorporado (ex. de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto); vedação vertical com revestimento *a posteriori* (ex. alvenarias); e vedação vertical sem revestimento (ex. fachadas envidraçadas).

Quanto à conformação, as vedações verticais se classificam em acoplamento úmido ou a seco. Os acoplamentos úmidos referem-se às vedações conformadas pela

utilização de materiais plásticos obtidos pela adição de água. As classificadas por acoplamento a seco são executadas com o auxílio de fixações mecânicas (subestruturas, insertos, parafusos, etc.).

Quanto à mobilidade da vedação vertical, a classificação proposta por Elder e Vandenberg (1977)¹⁸ apud Taniguti (1999, p. 14 e 15) se divide em: fixa, quando os elementos constituintes são difíceis ou impossíveis de serem recuperados em caso de desmonte, como as paredes maciças moldadas *in loco*; desmontável, quando sofre pouca ou nenhuma degradação ao ser desmontada, como os painéis sanduíche; e, móvel, quando puder ser movimentada sem sofrer nenhuma degradação.

Essas classificações são sintetizadas no Quadro 6.

Quadro 6 - Classificação da vedação vertical externa

Parâmetro	Classificação		
Densidade superficial	Leves ($< 60\text{kg/m}^2$)	Pesadas ($> 60\text{kg/m}^2$)	
Capacidade de suporte	Estrutural ou resistente	Sem função estrutural ou auto-portante	
Contraventamento	Não contraventa a estrutura	Atua no contraventamento	
Conformação	Acoplamento úmido	Acoplamento a seco	
Continuidade da superfície	Monolítica (sem juntas aparentes)	Modular (com juntas aparentes)	
Revestimento da placa cimentícia	Incorporado	Aplicado a posteriori	Sem revestimento
Revestimento não aderido	Utiliza		Não utiliza
Mobilidade	Fixo	Desmontável	Móvel

Fonte: ABNT (2013d); Sabbatini et al. (1988); Sabbatini (1998); Santiago (2008); Taniguti (1999).

¹⁸ ELDER, E. J.; VANDENBERG, M. **Construccion**. Madrid. H. Blume. 1977.

3.2.1 Classificação do objeto da pesquisa

As classificações propostas no Quadro 6 possibilitam caracterizar o objeto desta pesquisa: que é a vedação vertical externa, ou simplesmente fachada, sem função estrutural, formada por acoplamento a seco de componentes de densidade superficial leve (como as chapas: cimentícias, de OSB, de gesso acartonado, as membranas de estanqueidade, os isolantes minerais, dentre outros) estruturados em perfis leves de aço galvanizado formados a frio, chamados de Light Steel Framing – LSF, com superfícies de acabamento de aparência monolítica ou modular e com várias possibilidades de revestimentos externos.

Em função dessas características, neste trabalho, é utilizada a denominação tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em *light steel framing*.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CAMADAS CONSTITUINTES E DE SUAS FUNÇÕES

A fachada em chapas delgadas em LSF é composta por elementos de vedo, revestimentos e esquadrias. Suas funções são atuar como elemento de separação entre os ambientes externo e interno, possibilitar o controle de entrada de ar e iluminação mantendo os ambientes internos em condições de habitabilidade, quais sejam: conforto termo-acústico e lumínico, estanqueidade e, ainda, assegurar a segurança dos usuários em relação ao comportamento estrutural, frente à ação do fogo e às condições de uso e operação. A vedação vertical possui funções que respondem a diferentes requisitos de desempenho e dada a necessidade de agrupar informações de componentes complexos, neste trabalho adotou-se a separação dos componentes por camadas funcionais, quais sejam:

- Camada de estruturação;
- Camada externa;
- Camada impermeável;
- Camada de isolamento;
- Camada interna.

A estruturação é formada pela trama de perfis de aço, composto de perfis montantes, perfis guia, entre outros. Dado o aprofundamento que a autora buscou em relação ao conhecimento dos perfis, a camada de estruturação está apresentada no capítulo 4, tratando-se, neste capítulo, das características das demais camadas.

3.3.1 Camada externa

Existem várias possibilidades para a composição da camada externa. As mais utilizadas são as placas cimentícias aplicadas com juntas tratadas e providas de revestimentos protetivos aplicados com telas em fibra de vidro e argamassas especiais de pequena espessura, com posterior aplicação de sistema de pintura, como por exemplo texturas.

Outras possibilidades para estas camadas são os sistemas de revestimento não aderido, como o empregado pelo sistema F4, apresentado no capítulo 5. São vários os materiais utilizados para revestimentos não aderido: placas de granito, painéis de ACM (*Aluminum Composite Material*), painéis cerâmicos extrudados ou prensados, placas laminadas melamínicas, entre outros.

3.3.1.1 Placas cimentícias protegidas por argamassas especiais

A ABNT NBR 15498 (2014) define que a placa de fibrocimento “é o produto resultante da mistura de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas com exceção de fibras de amianto”.

A mesma norma também define que as placas podem ser classificadas em Classe A ou Classe B, cabendo ao fabricante a indicação de classe e categoria da placa. As primeiras são indicadas para aplicações externas sujeitas à ação direta de sol, chuva, calor e umidade. Elas ainda podem ser classificadas em quatro categorias segundo a resistência à tração na flexão.

Ainda segundo a ABNT NBR 15498 (2014), as placas da classe B são indicadas para aplicações internas e aplicações externas não sujeitas à ação direta de sol, chuva,

calor e umidade. Em relação à resistência a tração na flexão, as placas ainda são classificadas em 5 categorias.

Medeiros et al. (2014) afirmam que as características de desempenho das placas cimentícias para vedações em LSF são: elevada resistência a impactos; resistência à umidade e incombustibilidade. Quanto às características de utilização, os autores destacam a facilidade de corte; a possibilidade de compor vedações curvas quando saturadas; o baixo peso próprio (até 18 kg/m²) que facilita o transporte e manuseio; e a compatibilidade com a maioria dos acabamentos e revestimentos.

As placas cimentícias podem ter diferentes processos de fabricação que vão resultar em diferentes características físicas do componente e, em consequência, em distinto desempenho do painel produzido a partir delas.

Ikai et al. (2010)¹⁹ apud Fontenelle (2012) afirmam que cerca de 85% dos produtos em fibrocimento produzidos mundialmente utilizam o processo de produção Hatschek. Esse processo permite a produção de produtos reforçados com fibras de celulose curados a vapor em autoclave ou produtos reforçados com fibras de celulose e sintéticas álcali-resistentes, curados ao ar.

Segundo Medeiros et al. (2014), as placas têm diferentes características com relação ao tipo de reforço utilizado para resistir à flexão: há placas que possuem fibras sintéticas dispersas na matriz cimentícia e outras que possuem malhas de fibra de vidro incorporada. Os mesmos autores pontuam a necessidade de proteção das placas contra umidade e, quanto maior a capacidade de absorção de água da placa, maior o potencial de movimentação e, por isto, mais eficiente deve ser a proteção.

Há placas com produtos impermeabilizantes incorporados na matriz cimentícia, que atuam para reduzir a absorção de água da placa e consequentemente a variação dimensional por umidade²⁰.

¹⁹ IKAI, S. et al. **Asbestos-free technology with new high toughness polypropylene (PP) fibers in air cured Hatschek process**. Construction and Building Materials. vol 24, p. 171-180, 2010.

²⁰ A placa BR do fabricante Saint-Gobain apresentou valores de variação dimensional do comprimento de 0,18% e de 0,03% de variação de espessura após ciclos de imersão/secagem conforme o Relatório de Ensaio nº 1074 304-203 do IPT.

3.3.1.2 Juntas

Ribeiro (2006) afirma que as juntas são elementos que vão além de simples aberturas ou distanciamento entre componentes, mas se constituem um elemento construtivo dotado de funcionamento e desempenho determinados. Elas podem manter duas partes tendo apenas a função de acabamento e união entre componentes ou acomodar movimentos diferenciais entre elas.

Yu (2014) afirma que o dimensionamento de juntas deve levar em conta as movimentações térmicas dos materiais, suas expansões e contrações. As deflexões da estrutura e as cargas de vento podem afetar o dimensionamento da junta e devem ser consideradas a planicidade e a regularidade dos componentes e sua montagem.

Fontenelle (2012) considera que a junta, para o caso das placas cimentícias, é um dos principais entraves no desenvolvimento da tecnologia de fachada em chapas delgadas, uma vez que devem garantir a estanqueidade e ao mesmo tempo absorver as variações dimensionais das placas. O autor acrescenta que, por fazerem parte da fachada, as juntas, mesmo que dissimuladas, exercem grande influência sobre o resultado estético do edifício. Além disso, contribuem para a estanqueidade, durabilidade e manutenção da vedação vertical e que o projeto de sistema de juntas deve considerar todos os critérios relativos ao desempenho da fachada. O autor propõe um sistema de fixação para placas cimentícias e de juntas aparentes com capacidade de atender a variação dimensional que pode ocorrer nas placas cimentícias em função de variação de temperatura e umidade.

O sistema placa cimentícia com suas juntas e argamassa de revestimento devem responder às variações dimensionais sem apresentar manifestações patológicas.

3.3.1.3 Acabamento sobre as placas (argamassa e telas de fibra de vidro)

Sobre as placas cimentícias, para proteção do sistema, utilizam-se argamassas à base de cimento com reforço de resina sintética. Segundo Brasil (2012), a argamassa deve ser aplicada com espessura de 7 mm, sendo que a tela inserida na argamassa dista 2 mm do plano exterior da fachada. O sistema de proteção das placas

cimentícias utiliza dois tipos de telas: a que fica inserida na argamassa, revestindo a placa de forma contínua, e a tela para tratamento das juntas.

A argamassa pode ser aplicada manualmente ou projetada (Figura 3).

Figura 3 – Projeção da argamassa de proteção sobre a placa cimentícia

Foto: Medabil Multiandares / Prisma Engenharia (DIAS, 2014)

Segundo ITeC (2014), a malha de reforço do revestimento é composta de fios de malha aberta elaborado com fibra têxtil de filamentos de vidro. A argamassa de revestimento da placa cimentícia segue a norma CEN EN 998-1 (2010) e é composta de cimento Portland, cal, agregados e resinas sintéticas, de cor branca, e utilizada como base para o assentamento da malha de reforço. Para dar acabamento à argamassa de revestimento, segundo ITeC (2014), há duas possibilidades, ambas solúveis em água: argamassa acrílica a base de copolímeros acrílicos modificados ou pintura acrílica com ligantes de resina acrílica de siloxano modificadas.

Devem ser conhecidas do projetista de fachada as características da argamassa em relação às suas propriedades mecânicas como resistência a compressão, flexão, aderência e também características físicas como absorção de água por capilaridade, coeficiente de resistência à difusão do vapor de água, reação ao fogo, condutividade térmica e calor específico.

Segundo ITeC (2014), para proteção da argamassa, as quinas das aberturas devem estar protegidas com tela de fibra de vidro, cobrindo-se ao menos 500 mm de comprimento por 200 mm de largura colocada a 45° em relação à abertura (Figura 4).

Figura 4 – Reforço sobre as placas cimentícias junto às aberturas. (1) Estrutura portante; (2) Perfil montante da subestrutura; (3) Reforço da quina com malha

Fonte: ITeC (2014)

Ainda segundo ITeC (2014), deve haver sobreposição mínima de 100 mm entre as bordas da tela de reforço. A argamassa, juntamente com a tela, deve aguardar oito dias de secagem, dependendo das condições atmosféricas, para receber a aplicação da argamassa de acabamento.

3.3.1.4 Camada externa com revestimento não aderido

Além das chapas cimentícias com revestimento aderido, outros revestimentos podem ser utilizados no sistema como o de tipo não aderido.

Machado (2012) afirma que o revestimento não aderido (RNA) é aquele que não tem aderência ao substrato que recobre. O RNA é usualmente formado por placas de revestimento sustentadas por ossatura metálica que garante a sustentação do

conjunto e é responsável pelo espaçamento criado entre a placa de revestimento e o fechamento vertical (substrato), caracterizando, assim, a não aderência.

O RNA é também denominado fachada cortina que pode ser ou não ventilada. O termo fachada cortina deriva da semelhança que o sistema tem com uma cortina usada para bloquear a luz em janelas. Siqueira (2003, p. 20 e 21) define a fachada cortina como: “um sistema formado por placas ou painéis fixados externamente à base suporte do edifício por uma subestrutura auxiliar constituindo-se no revestimento externo ou na vedação vertical exterior de uma edificação” e a fachada ventilada como: “uma fachada-cortina dimensionada de tal forma a permitir a remoção do ar aquecido no interior da câmara pelo efeito chaminé”.

Segundo Moura (2009), a lâmina de ar é a característica dominante do sistema de revestimento ventilado uma vez que é responsável pelo desencadeamento do efeito chaminé, que se fundamenta no princípio físico da diferença de pressão, no qual, o ar mais quente sobe e suga para dentro da cavidade o ar fresco, que passa a ser continuamente renovado protegendo a face do corpo da edificação do calor.

Medeiros et al. (2014) afirmam que a fachada cortina pode ter funções tanto de revestimento como de vedação vertical externa da edificação, embora o termo seja empregado de modo genérico para designar uma série de diferentes tecnologias construtivas.

Segundo CSTB (2010), o termo em francês, *bardage rapporté*²¹, denomina o sistema de revestimento exterior da vedação vertical, composto de uma “pele” e de uma ossatura que permite associar esta pele à uma estrutura portante. A “pele” do revestimento pode ser composta de elementos de grandes dimensões como chapas e painéis, ou elementos de grande comprimento como lâminas, *sidings*, ou ainda, elementos de pequenas dimensões.

Ainda segundo CSTB (2010), esse tipo revestimento não separa o interior do exterior, uma vez que ele se encontra inteiramente situado no exterior do edifício. O revestimento cortina contribui para a estanqueidade do edifício e principalmente para o desempenho térmico auxiliando na proteção em relação às solicitações climáticas.

²¹ Segundo o dicionário francês, Petit Dicobat, o termo *bardage* designa o revestimento de fachada aplicado por fixação mecânica, num plano distinto da alvenaria, com uma lâmina de ar ou um isolante térmico intermediário. Segundo o dicionário francês Petit Robert, o termo *rapporté* pode ser traduzido como “adicionado para completar”.

Caso o sistema seja utilizado para separar o interior do exterior ele não constitui mais um revestimento cortina, e pode ser denominado fachada leve, ou ainda no termo francês *bardage* ou *bardage industriel*. Ainda há a distinção em *bardage* estanque a água ou não estanque, no caso de existir junta aparente.

Medeiros et al. (2014), em relação a fachada cortina como sistema de vedação vertical, afirmam que é necessário considerar a capacidade de acomodação das deflexões, movimentações térmicas, deslocamentos relativos entre os pavimentos e oscilações dos edifícios (causados pelo vento e cargas sísmicas), sendo necessário considerar estas ações de modo sistêmico.

Segundo Medeiros et al. (2014), os revestimentos tipo cortina ou ventilado não constituem uma vedação vertical completa e por isso precisam ser combinados com outros elementos de vedações verticais.

3.3.2 Camada impermeável

A condensação é o resultado do resfriamento da umidade do ar até que ocorra o ponto de condensação. Quando a temperatura do ar é alta, o ar pode carregar grandes quantidades de vapor d'água. Quando esse ar encontra uma superfície fria, a umidade se condensa e a gravidade conduz a água, que pode causar deterioração de componentes da edificação e, conforme o tipo de material, ocasionar delaminação e corrosão.

Segundo Yu (2014), a condensação pode ser controlada e dirigida para o exterior utilizando-se uma membrana com função de barreira de vapor, do lado mais quente do conjunto que forma a vedação vertical. A barreira de vapor utilizada na face interior da vedação vertical (Figura 5) apresenta uma solução para edificações localizadas em climas frios com uso de aquecimento, quando o interior da edificação é mais quente que o exterior na maior parte do ano. Em climas úmidos e tropicais, a barreira de vapor deve ser localizada na face exterior da vedação vertical, nos casos em que a temperatura exterior seja a preocupação em relação ao conforto térmico.

Figura 5 Posição da barreira de vapor em sistemas leves de fachada em climas frios:

(a) posição incorreta; (b) posição correta

Fonte: Yu (2014, p.70)

Yu (2014) especifica as principais maneiras pelas quais a água pode entrar no edifício (Figura 6), a saber: por gravidade, evitado ao se utilizar as inclinações apropriadas; por momento, quando a água é conduzida pelo vento horizontalmente; por tensão superficial, quando a água escorre pela superfície, podendo ser evitada pela sua interrupção, como por exemplo, pingadeiras; por capilaridade, quando a água entra por pequenas cavidades, onde a diferença de pressão facilita a penetração; e, por último, impulsionada por correntes de ar.

Figura 6 - Maneiras que a água penetra no edifício

Fonte: Yu (2014, p.71)

Yu (2014) aponta que a utilização da construção leve com isolamento e uma camada de ar podem resolver problemas de condensação e pontes térmicas.

As membranas de estanqueidade ao vapor podem apresentar diferentes composições de materiais e de gramaturas. Elas também apresentam diferentes resistências à difusão de vapor, à penetração de água e do ar, à tração, ao alongamento ao rasgo e ao fogo.

Segundo ITeC (2014), para a correta instalação da membrana de estanqueidade, esta deve ser fixada com fita dupla face sobre os perfis metálicos e apresentar sobreposição de 100 mm em suas bordas horizontais. A membrana deve ser reforçada no peitoril das aberturas e nas suas quinas com malha de fibra de vidro (Quadro 7).

Quadro 7 - Instalação da membrana de estanqueidade em fachadas estruturadas em LSF

<p>(1) Fixação da membrana nos montantes com fita adesiva duas faces; (2) Cortes da membrana no encontro com as aberturas</p>	<p>(1) membrana de estanqueidade; (2) membrana adicional para a proteção do peitoril</p>

<p>(1) membrana de estanqueidade; (2) membrana adicional para a proteção do peitoril; (3) dobra da parte cortada envolvendo as laterais da abertura</p>	<p>(1) membrana de estanqueidade sobreposta de 100 mm; (2) membrana adicional para a proteção do peitoril; (3) dobra da parte cortada envolvendo as laterais da abertura; (4) reforço das quinas das aberturas com malha a 45°</p>

Fonte: ITeC (2014)

3.3.2.1 Coeficiente de resistência à difusão do vapor

Segundo o *website* da Universidade Católica de Louvain (Bélgica), Energie+ (2015), a difusão de vapor é função da permeabilidade do material que constitui a vedação vertical. O coeficiente de resistência à difusão do vapor de um material “ μ ” indica a dificuldade do vapor de água em comparação ao ar para atravessar um material. Pela sua natureza, esse coeficiente é sempre superior a 1. A espessura equivalente de difusão μd (ou S_d) indica a resistência que uma camada de determinada espessura de um material exerce à difusão do vapor d’água.

Segundo ITec (2014), o valor μd é o produto do coeficiente de resistência à difusão do vapor (μ) pela espessura do material (d) e se exprime em metros.

O valor μd de uma camada de material corresponde à espessura, em metros, de uma camada de ar estacionária que exerceria a mesma resistência à difusão do vapor (ENERGIE+, 2015).

3.3.3 Camada de isolamento

Essa camada possui duas funções: isolamento térmico e acústico.

Segundo Ribas (2013), as propriedades térmicas e acústicas dos materiais podem apresentar comportamento contraditório, pois geralmente materiais que proporcionam bom desempenho acústico, com boa isolação sonora, têm baixa inércia térmica. Em função disso, a busca por soluções, que atendam ambas exigências, é de fundamental importância para o desenvolvimento do sistema.

3.3.3.1 Isolamento térmico

Santos et al. (2012) afirmam que, dado o alto consumo de energia nos edifícios, a busca por melhor desempenho energético é de grande importância para reduzir gastos e emissões de CO_2 , mantendo-se os níveis de conforto térmico exigidos pelos usuários. O desempenho térmico do envelope do edifício depende da posição dos

componentes da vedação vertical e é influenciado pelo tipo de isolamento utilizado, seu posicionamento, espessuras dos componentes e potenciais pontes térmicas, que podem ocorrer nas junções da camada de isolamento e nos locais onde essa camada for interrompida.

Santos et al. (2012) definem dois modos de se produzir o isolamento. O primeiro, chamado *warm frame*, o isolamento está instalado de maneira contínua no lado externo da vedação vertical, segundo o termo em inglês, *continuous insulation*. O emprego desse tipo de isolamento minimiza as pontes térmicas, reduz o risco de condensação intersticial nos perfis e maximiza a massa térmica.

Um exemplo desse sistema são os sistemas compostos de isolamento térmico pelo exterior, conhecidos a partir da terminologia inglesa como *External Thermal Insulation Coating System* (ETICS). Segundo Do Rosário Veiga e Malanho (2010), ETICS são uma das soluções de isolamento térmico da envolvente vertical com maior aceitação, pela sua eficácia, versatilidade arquitetônica e relativa facilidade de aplicação.

Ainda conforme Santos et al. (2012), o segundo modo é denominado *cold frame*, em que o isolamento está na cavidade formada entre as espessuras dos perfis metálicos, havendo maior potencial para condensação intersticial, especialmente na posição dos perfis. Como consequência, pode haver risco de manifestações patológicas como umidade e crescimento de fungos, fazendo com que esse modo de isolamento não seja recomendado em climas frios.

Nowak (2015) afirma que os tipos de isolamento contínuo mais comumente utilizados são: poliestireno expandido (EPS), poliestireno extrudado (XPS) e poliisocianurato.

Os valores de resistência térmica (R) de componentes para isolamento contínuo ou isolamento na cavidade formada entre os perfis variam segundo o tipo de produto em função da condutividade térmica (λ) do material utilizado (lã de vidro, lã de rocha, etc.) e da espessura do componente. Enquanto o valor R é usado para descrever a resistência térmica, o valor U descreve a transmitância térmica e é o inverso da resistência térmica. Segundo Nowak (2015), os valores de U são geralmente utilizados para descrever a transmitância da vedação, já levando em consideração o impacto dos perfis e outros componentes como o isolante, os painéis, as chapas de gesso, entre outros.

Ainda segundo o autor, as normas norte-americanas para a eficiência energética são baseadas em diretrizes estabelecidas pela *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) e pelo *International Energy Conservation Code* (IECC). Mesmo em estados que adotam os seus próprios códigos, os códigos de energia são baseados nas associações referenciadas, com exceção da Califórnia, que possui código próprio. As normas apresentam valores de U e de R, que devem ser especificados de acordo com o clima de cada região.

Nowak (2015) destaca que uma das variáveis que influem no desempenho térmico da vedação vertical é a área ocupada pelos perfis, guias e reforços. Tipicamente, essa área se situa entre 11% e 25% da vedação vertical. Considerando-se um trecho da vedação vertical, que inclui a guia superior e inferior e o espaçamento dos perfis montantes, tem-se 11% de área da vedação vertical ocupada pela estrutura para o espaçamento de perfis de 40 cm e 14% para o espaçamento de 60 cm. A língua inglesa utiliza a expressão *framing fator* para o fator da área ocupada pela estrutura, que, segundo Nowak (2015), tem sido bastante discutido no debate de códigos e normas. A respeito dos vários métodos de cálculo para eficiência energética baseado nas normas ASHRAE e IECC, o mesmo autor afirma que é preciso avaliar os valores gastos para minimizar a perda de calor pelas fachadas, o que pode ser uma boa solução em regiões de clima frio, mas em regiões de clima quente, a avaliação deve ponderar sobre investimentos em sombreamento e melhor desempenho de esquadrias com baixo ganho de aquecimento solar.

No Brasil, a ABNT NBR 15220 (ABNT, 2005) traz as definições das propriedades térmicas dos materiais e os procedimentos para que os valores de transmitância térmica, atraso térmico e fator solar para os elementos e componentes das edificações possam ser calculados. A norma traz o zoneamento bioclimático das regiões brasileiras.

Akutsu e Brito (2014) afirmam que a alta inércia térmica devida a utilização de elementos pesados e espessos combinada a pequenas aberturas favorecem ambientes térmicos mais amenos em relação ao ambiente externo.

Lamberts et al. (2010) atestam que quanto maior a capacidade térmica dos componentes de uma edificação, maior sua inércia térmica, resultando em maior amortecimento das temperaturas internas em relação aos valores correspondentes no ambiente externo.

No entanto, a necessidade de maior rapidez na construção com o consequente uso de materiais mais leves, a necessidade de maiores vãos de aberturas de esquadrias para maior integração com a paisagem e o ambiente externo e necessidade de maior quantidade de luz nos ambientes leva à utilização de elementos de fachada com baixa capacidade térmica.

Recomendações para compensar a baixa capacidade térmica são a redução da intensidade da radiação solar pelas aberturas utilizando a melhor orientação solar, ou a instalação de elementos de sombreamento quando a orientação solar não for favorável ou vidros com propriedades de redução da radiação solar. A contribuição dessas variáveis é tão mais significativa quanto menor a capacidade térmica dos elementos que compõem a fachada. Outros elementos que interferem na inércia térmica são as cores das superfícies externas, a ventilação dos ambientes, além de isolamento térmica da cobertura e contato com o solo (ARCELOR, 2004; AKUTSU e BRITO, 2014).

No caso das fachadas de edificações multiandares, e dependendo do número de andares, as duas variáveis isolamento da cobertura e contato com o solo terão pouca interferência no desempenho térmico total das fachadas.

A ABNT NBR 15220-2 (2005) estabelece os métodos de cálculo e apresenta valores indicativos de condutividade térmica e de calor específico para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente. O Quadro 8 traz valores indicativos de alguns materiais utilizados na tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF.

Quadro 8 – Dados térmicos de materiais utilizados na tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF

	Densidade de massa aparente (ρ) (Kg/m ³)	Condutividade térmica (λ) W/ (m.K)	Calor específico (c) KJ/ (Kg.K)
Gesso acartonado	750- 1000	0,35	0,84
Lã de vidro	10-100	0,045	0,70
Lã de rocha	20-200	0,045	0,75
Fibro cimento A	1800-2200	0,95	0,84
Fibro cimento B	1400-1800	0,65	0,84

Fonte: ABNT NBR 15220-2 (2005)

3.3.3.2 Isolamento acústico

Warnock (2008) afirma que um melhor isolamento sonoro em vedações verticais de LSF pode ser atingido com: o aumento da massa superficial das placas de cada lado da vedação vertical; maior profundidade da cavidade formada no interior da vedação vertical devido à largura dos perfis metálicos ou a utilização de duas linhas de perfis; e maior espessura e densidade do isolante acústico. Para melhoria do isolamento acústico, recomenda o uso de perfis transversais ou barras resilientes (*resilient channels*) (Figura 7).

Figura 7 – Perfis transversais ou barras resilientes para fixação das chapas de gesso acartonado

Fonte: <http://www.clarkdietrich.com/products/sound-rated-systems/resilient-channel-systems/introduction/rc-deluxe-resilient-channel-rcsd>. Acesso em: setembro 2015

Segundo Radavelli (2014), paredes duplas são aquelas que possuem elementos construtivos separados por uma cavidade de ar entre eles, que pode ou não ser preenchida com material absorvente. Em relação à transmissão sonora o comportamento da vedação vertical dupla é regido por três fenômenos: sistema massa – mola – massa; coincidência entre comprimento da onda sonora no ar e comprimento da onda de flexão no painel; e ressonância na cavidade entre os painéis.

Radavelli (2014) afirma que o preenchimento da cavidade formada entre os perfis com lã mineral mostrou-se uma medida eficiente e de baixo custo para aumentar a perda de transmissão sonora da vedação vertical. No entanto, é necessário atentar para que o material de isolamento não fique comprimido dentro do vão, evitando a formação de conexão mecânica e a consequente transmissão de energia sonora pela vedação vertical.

Em avaliação quanto ao isolamento sonoro de diversas composições de vedações em estrutura LSF, Radavelli (2014) constatou que o índice de redução sonora (R_w) ficou entre 43 dB a 50 dB e que a classe de transmissão sonora ou *Sound Transmission Class* (STC) se estabeleceu entre 45 dB a 52 dB.

Segundo Radavelli (2014), a utilização de barras resilientes e fitas de espuma de PVC, entre as placas de revestimento e a estrutura metálica colaborou no isolamento, sendo capazes de aumentar o índice de redução sonora ponderado, e STC em até 5 dB, se comparado à vedação vertical semelhante sem estes dispositivos, especialmente nas frequências a partir de 400 Hz.

Radavelli (2014) concluiu também que as vedações de LSF – consideradas vedações duplas – são mais eficientes no isolamento sonoro quando comparadas às vedações simples ou homogêneas de mesma massa e até mesmo superiores a vedações de tijolos maciços, de blocos de concreto ou de blocos cerâmicos, que possuem maior massa.

3.3.4 Camada interna

A utilização de chapa de gesso acartonado no lado interno da vedação vertical foi constatada na totalidade de exemplos e estudos sobre a tecnologia de fachada em chapas delgadas em LSF.

A tecnologia do gesso acartonado vem sendo implantada no Brasil há mais de 20 anos. Nesse período, houve um grande número de pesquisas e avanços na sua tecnologia de produção.

Não obstante o esforço que vem sendo empreendido pelos fabricantes do sistema e a existência de normalização de componentes e processos de produção de vedação

vertical em gesso acartonado, Oliveira, Souza e Mitidieri Filho (2010) reforçam a necessidade de que sejam incorporadas modificações no processo de projetos com esse sistema para atendimento a norma de desempenho ABNT NBR 15.575 (2013).

As técnicas construtivas e as configurações da vedação vertical em gesso acartonado estão desenvolvidas e disponibilizadas no mercado. Há conhecimento das características dos materiais e componentes e do seu comportamento conjunto, por esse motivo, não há necessidade da pesquisa se aprofundar na camada interna.

3.3.5 Interfaces com esquadrias

As interfaces da vedação vertical com as esquadrias são um importante ponto de atenção para assegurar o desempenho térmico, acústico e de estanqueidade da fachada.

Em particular, as interfaces entre as janelas e as vedações verticais representam risco de penetração de água. Os países que utilizam os sistemas ETICS têm à sua disposição uma variedade de elementos e componentes industrializados, como soleiras, rufos e acabamentos para uso nas interfaces do isolamento com esquadrias (portas e janelas) e para acabamento de cantos vivos da edificação. Essas peças são normalmente de PVC, de alumínio ou cerâmicas e são projetadas de modo a se adaptarem a variados tamanhos de vãos.

A exemplo do que ocorre com os sistemas ETICS, também para os sistemas de fachada em chapas delgadas em LSF deveria haver concepção de componentes que facilitem sua compatibilização com os demais subsistemas do edifício, de modo a viabilizar a tecnologia e impedir improvisos em obra.

A Figura 8 apresenta exemplo de esquadria com moldura incorporada para garantir a acomodação da espessura do isolamento exterior. Neste caso, a concepção da esquadria, dada a maior largura de suas molduras, está compatibilizada com a espessura resultante das camadas de isolamento e camada externa. A moldura se adapta às espessuras do isolamento e da camada de revestimento e incorpora pingadeira na parte superior e peitoril na parte inferior da esquadria. Nota-se também que há flange incorporada para a fixação da moldura ao sistema que impede a entrada de água.

Figura 8 – Moldura entorno da esquadria para adaptação à espessura do isolante e revestimento em fachadas com sistemas ETICS

Fonte: SCI. Disponível em: http://www.steelconstruction.info/infill_walling. Acesso em: dez/2013

3.4 CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO GRAU DE INDUSTRIALIZAÇÃO DOS PAINÉIS EM RELAÇÃO À MONTAGEM

A montagem do sistema por acoplamento mecânico utilizando dispositivos como parafusos inseridos por ferramentas especiais, provoca mudanças significativas no processo de produção de vedações. Para que haja melhor eficácia é necessária compatibilização dimensional (coordenação modular) entre os elementos e componentes dos subsistemas (SABBATINI, 1998).

Os métodos de montagem podem ser classificados segundo o grau de industrialização de produção do painel. Segundo esse parâmetro, o método embutido, que é hoje o utilizado no País, por ter o acoplamento entre as suas partes constituintes realizados totalmente em obra, tem características de produção artesanal e estaria no primeiro patamar da escala de industrialização.

O método contínuo, por sua vez, por apresentar menor interferência com a estrutura, tem características de produção racionalizada e, por isso, pode ser considerado num segundo grau da escala de industrialização.

Finalmente, a utilização de painéis pré-fabricados por apresentar características de produção industrializada – elemento produzido em indústria - pode ser considerada como um terceiro grau de industrialização.

Quanto ao método de montagem, a fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF pode ser classificada em montada no canteiro de obras, chamado de método *stick-built*²², isto é, montada por componentes ou montada em painéis pré-fabricados produzidos fora do canteiro (SANTIAGO, 2008 e WAY; LAWSON, 2013).

Segundo Santiago (2008), no método *stick-built* não há necessidade de local para a pré-montagem dos elementos do sistema; há facilidade de transporte das peças até o canteiro, por serem elementos planos usualmente unidirecionais; e facilidade de execução das ligações entre os elementos.

Segundo o catálogo da empresa Kingspan (2014), a montagem por componentes individuais pode ser uma vantagem em caso de restrição de uso de equipamentos como guas. Segundo o catálogo da empresa Metsec (2011), o corte de perfis no

²² O termo inglês *stick* é utilizado em relação à similaridade do perfil com barra, vareta, bastão e o modo de construção *stick-built* se refere a montagem por componentes.

canteiro de obras permite maiores tolerâncias em relação à geometria da estrutura primária, que é a estrutura portante do edifício. A estrutura secundária é considerada a estrutura de perfis leves para a fachada.

Santiago (2008) apresenta como desvantagens deste método quando comparado ao método por painéis pré-fabricados: o aumento de atividades em obra; a montagem mais lenta; e a necessidade da presença de mão de obra mais especializada no canteiro de obras.

No método *stick-built* ou por componentes há duas maneiras de se montar os perfis, e, por consequência, os painéis em relação à estrutura primária e às lajes. Os perfis podem ser montados posicionados no interior dos elementos estruturais, chamado de método embutido, ou exteriores à estrutura, chamado método contínuo ou cortina.

3.4.1 Método embutido

No método embutido (em inglês *infill*), os painéis são montados internamente aos quadros da estrutura do edifício (Figura 9).

Figura 9 - Método Embutido de montagem dos painéis em LSF

Fonte: SANTIAGO (2008).

Nesse método, os painéis são construídos a partir de componentes (perfis) cortados em canteiro, conforme afirmam Way e Lawson (2013), e são formados por perfis guias

fixados às lajes de piso e teto e por montantes inseridos nestas guias, à semelhança da tecnologia do *drywall* (Figura 10).

Figura 10 - Método Embutido de montagem de painéis de LSF em estrutura metálica

Fonte: Steel Construction Institute (SCI) (s.d)

Santiago (2008) afirma que as cargas atuantes nos painéis (peso próprio, vento, etc.) são descarregadas na estrutura imediatamente abaixo, segundo modelo de carga vertical uniformemente distribuída ao longo da viga ou laje. Dada a distribuição uniforme das cargas, não há limitação ao uso do sistema em função da altura do edifício e não são necessários sistemas auxiliares de sustentação e de transmissão de sua carga para a estrutura principal do edifício.

Segundo Kingspan (2014), no método embutido, os perfis devem ser encomendados com as dimensões previstas para seu comprimento ou devem ser cortados em canteiro segundo a necessidade do vão.

Santiago (2008) afirma que, quando montados pelo método embutido, os painéis leves de LSF podem ser concebidos com ligações rígidas em relação à estrutura primária ou de forma a permitir o livre deslocamento entre eles. Quando o painel é fixado com ligações rígidas, além de ele estar submetido às cargas intrínsecas (peso próprio e vento), há solicitações decorrentes da deformação da estrutura principal e pode ocorrer o comprometimento do painel, caso a deformação da estrutura seja superior à que o painel é capaz de absorver. Portanto, tal comportamento deve ser considerado

tanto na concepção do painel como na da estrutura primária do edifício (SCHAFER et al., 2003²³ apud SANTIAGO, 2008, p. 52).

Na opção pelo livre deslocamento entre painel e elementos estruturais, a conexão do montante com a guia superior deve ser feita utilizando-se montagens específicas que permitam o deslocamento diferencial entre eles, segundo forma e grandeza propostas pela concepção estrutural.

Na montagem embutida, usualmente a camada externa é contínua, isto é, as placas que fazem o fechamento exterior não são interrompidas pelos elementos estruturais horizontais. Para isto, a estrutura secundária (LSF) é deslocada para fora do edifício em relação ao plano formado entre os limites das lajes para permitir a continuidade do plaqueamento, como ilustrado na Figura 11 e na Figura 12 que apresentam os perfis inseridos pelo método embutido para as alternativas de estrutura de aço e de concreto.

Figura 11 - Possibilidades de inserção dos perfis constituintes dos painéis pelo método embutido em vigas e pilares de aço

Fonte: Kingspan (2014)

²³ SCHAFER et al. **Accommodating Building Deflections: What every EOR should know about accommodating deflections in secondary cold-formed steel systems.** NCSEA/CASE/ASCE-SEI, Structure Magazine, April 2003.

Figura 12 - Possibilidades de inserção dos perfis guias e montantes constituintes dos painéis pelo método embutido em laje de concreto

Fonte: Kingspan (2013) e Kingspan (2014).

Em função deste deslocamento, para a inserção do plaqueamento em forma contínua, Medeiros et al. (2014) se referem ao método como semicortina, pois as guias inferiores e superiores são posicionadas desalinhadas em relação ao plano formado pelos elementos estruturais, permitindo posicionar o paramento exterior da vedação vertical à frente da estrutura primária, enquanto a subestrutura e seu paramento interior são posicionados entre lajes de piso, eliminando-se a necessidade de execução de juntas entre os painéis de fechamento e a estrutura principal do edifício.

Em estruturas de aço contraventadas com barras posicionadas na diagonal, o método embutido deve se adequar aos elementos do contraventamento (Figura 13).

Figura 13 - Posicionamento dos elementos do painel leve em LSF em função dos elementos de contraventamento da estrutura principal

Fonte: Way e Lanson (2013)

A Figura 14 ilustra a representação gráfica de uma vedação vertical posicionada pelo método embutido. Junto à guia superior há indicação de detalhes que devem permitir a movimentação nos perfis montantes (*deflection head detail*). Há também indicações de: reforços junto aos perfis verticais que faceiam as aberturas (*high load cleat*), vergas e contra-vergas e seus reforços (*2 U track + C stud*) e as indicações de fixação (pontos pretos).

Figura 14 - Representação gráfica de vedação vertical no método embutido de montagem dos painéis em LSF

Fonte: Kingspan (2014)

3.4.2 Método contínuo ou cortina

No método contínuo ou cortina (em inglês, *oversail*), os painéis são montados externamente à estrutura, de forma contínua ao longo da fachada.

Way e Lawson (2013) afirmam que os painéis são constituídos por perfis montantes de seção “U” e por elementos de conexão para a fixação do perfil à estrutura primária. Apesar da similaridade dos métodos embutido e contínuo em termos de componentes, o método contínuo exige maiores comprimentos dos perfis, em função da continuidade ao longo dos andares.

A Figura 15, a Figura 16 e a Figura 17 apresentam ilustrações do método contínuo.

Figura 15 - Método contínuo de montagem dos painéis em LSF

Fonte: Santiago (2008).

Figura 16 - Método Contínuo de montagem dos painéis em LSF

Fonte: Way e Lawson (2013); Way (2014)

Figura 17 - Método contínuo de montagem dos painéis em LSF em edifício em estrutura metálica

Fonte: Way (2014)

No método contínuo, o peso próprio da fachada é transferido à estrutura primária por conectores, segundo Way e Lawson (2013), e a fixação dos perfis montantes aos conectores é feita de modo a permitir a deformação diferencial entre a estrutura primária e o painel, com auxílio de furos oblongos (Figura 18). Nessa figura se observa a fixação em quatro pontos fixos no perfil superior e dois pontos no perfil inferior, permitindo-se a movimentação dos perfis inferiores pela existência de furos oblongos na fixação.

Figura 18 - Conector fixado a estrutura principal e aos perfis do painel de fachada para produção do método cortina de montagem dos painéis em LSF

Fonte: Way e Lawson (2013); Kingspan (2013)

Way e Lawson (2013) destacam que, no método contínuo, as emendas dos perfis são realizadas junto às conexões, nos níveis da laje, e devem ser concebidas para se adequar a cada situação. Para se evitar excessivas forças de compressão nos perfis da fachada, os autores recomendam que um perfil cantoneira horizontal seja instalado a cada quatro andares, sobre o qual é instalada a guia (Figura 19).

Figura 19 - Perfil cantoneira horizontal a cada quatro andares para suporte dos perfis dos painéis em LSF montados segundo método contínuo

Fonte: Way e Lawson (2013); Kingspan (2013)

A Figura 20, a Figura 21 e Figura 22 apresentam diversos tipos de conectores de fixação dos montantes à estrutura primária, permitindo flexibilidade na instalação pela adoção de furos oblongos.

Figura 20 - Conectores do sistema Kingspan para fixação à estrutura principal pela aba menor e na aba maior ocorre a fixação dos perfis do painel de fachada pelo método contínuo de montagem dos painéis em LSF. Os furos oblongos permitem regulação na fixação dos perfis.

Fonte: Kingspan (2014)

Figura 21 - Conectores do sistema F4 para fixação à estrutura principal pela chapa com uma só furação e no septo ocorre a fixação dos perfis do painel de fachada pelo método contínuo de montagem dos perfis em LSF. Os furos oblongos permitem regulagem na fixação dos perfis.

Fonte: Fotos da autora

Figura 22 - Conectores do sistema Metsec para fixação à estrutura principal pela aba menor e na aba maior ocorre a fixação dos perfis do painel de fachada pelo método contínuo de montagem dos painéis em LSF. Os furos oblongos permitem regulagem na fixação dos perfis.

Fonte: Metsec (2011)

A Figura 23, a Figura 24 e a Figura 25 apresentam possíveis conexões para sistemas de montagem contínua utilizados em estruturas de concreto ou metálica.

Figura 23 - Conexões para fixação dos perfis externamente a estrutura em concreto

Fonte: Kingspan (2014)

Figura 24 - Conexões para fixação dos perfis externamente a estrutura em aço tornando possível a fixação a alma da viga sem que haja interferência das mesas

Fonte: Kingspan (2014)

Figura 25 - Fixação do conector à laje e fixação dos perfis montantes aos conectores no sistema F4

Fonte: Placo Saint-Gobain/ Isover Saint- Gobain [Entre 2012, 2013]

A Figura 26 apresenta a representação gráfica de vedação vertical no método contínuo, com destaque para o posicionamento dos conectores à estrutura para a fixação dos perfis montantes e de perfis e reforços para as aberturas de esquadrias.

Figura 26 - Representação gráfica de vedação vertical no método contínuo

Fonte: Kingspan (2014)

A Figura 27 apresenta um empreendimento no qual foi utilizado o sistema de painéis contínuos, dada a condição da estrutura de concreto, que apresentava diferenças de altura entre andares e desalinhamento do prumo²⁴.

Segundo Santiago (2008), o método de painéis contínuos ou cortina permite o alinhamento vertical da fachada independente da estrutura existente e pode ter melhor desempenho quando há vigas e pilares com seções diferentes permitindo melhor construtibilidade em relação a diferenças de prumo da estrutura.

²⁴ Dados de entrevista do arquiteto François Larroche do escritório ALC – Architectes & Associés sobre a utilização de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF em reabilitação de hospital em Paris, França. Vídeo intitulado Paroles de Chantier. EHPAD. Disponível em <http://www.facadef4.fr/>. Acesso em: abril de 2015.

Figura 27 - Método contínuo em obra de reabilitação de hospital, na qual a estrutura primária de concreto (foto superior) apresentava desalinhamento em relação ao prumo. A foto do meio mostra a instalação dos perfis pelo método contínuo e do isolamento externo (ETICS) e a foto inferior mostra a instalação dos painéis de revestimento

Fonte: Paroles de Chantier. EHPAD. Disponível em <http://www.facade4.fr/>
Acesso em: abril de 2015.

3.4.3 Painéis pré-fabricados

O método contínuo possibilita que os painéis possam vir prontos de fábrica, inclusive com chapas e esquadrias, o que pode representar uma grande vantagem para esse método.

Way e Lawson (2013) destacam que os sistemas pré-fabricados são constituídos de painéis estruturados por perfis de aço aos quais são acopladas placas de fechamento e material de isolamento, fora do canteiro de obras. Em função da massa total resultante, eles são concebidos para serem posicionados com auxílio de equipamentos de porte como guindastes e gruas e, para tanto, devem resistir a forças de peso próprio e de cargas de serviço quando do transporte vertical para posicionamento.

Segundo Santiago (2008), as principais vantagens do método de painéis pré-fabricados são: velocidade de montagem; controle da qualidade e de custos na produção; minimização da mão de obra no canteiro de obras; precisão dimensional, resultado das condições de trabalho e montagem mais propícias em fábrica. Como desvantagem, destaca a necessidade de se dispor de espaço físico para a montagem e estocagem temporária dos painéis. A Figura 28 apresenta um painel pré-fabricado sendo içado para sua posição na fachada.

Figura 28 - Painel com perfis de LSF e isolamento externo (ETICS) pré-fabricado sendo içado para a posição de fixação

Fonte: Steel Construction Institute (SCI) (s.d.)

A Figura 29 e a Figura 30 mostram painéis pré-fabricados produzidos em instalações fabris e levados posteriormente para montagem em canteiro de obras.

Figura 29 – Pré-fabricação de painéis de perfis de LSF com aplicação de membrana de estanqueidade e aplicação de revestimento aderido sobre as chapas

Fonte: Fotografia Plalux

Figura 30 - Posicionamento dos painéis em chapas delgadas estruturadas em LSF na fachada do edifício para fixação à estrutura primária

Fachada em empreendimento de ampliação de Shopping Center. Camburiu (SC) 2014.

Fonte: Fotografia Placlux

O Quadro 9 apresenta imagens de uma obra de reabilitação de fachadas, na qual foi empregada a Fachada F4. Os painéis, montados em fábrica e levados semi-prontos para o canteiro de obras, são içados à sua posição na fachada e fixados nas conexões.

Quadro 9 – Painéis Pré-fabricados

Fonte: Paroles de chantier. Collège Guyard. Créteil, França, 2012. Disponível em <http://www.facade4.fr/>. Acesso em: novembro de 2014; Placo Saint-Gobain e Isover Saint-Gobain (2013)

A empresa executora dos painéis e de sua montagem na fachada, durante a produção dos painéis, utilizou equipamento com possibilidades de mobilidade. A empresa é fabricante de esquadrias metálicas e utilizou seu maquinário de montagem das esquadrias para a montagem dos painéis. O equipamento, que facilita a fabricação do painel é constituído por mesa basculante, permitindo o trabalho tanto na posição horizontal quanto na vertical (Quadro 10).

No caso específico da França, em relação ao modo de produção na construção civil, existe uma clara delimitação das diferentes especialidades, que no canteiro de obras correspondem a conjuntos homogêneos de serviços, que se compõem de diferentes

lotes, no termo em francês: *lot*. No caso da tecnologia em estudo, há duas especialidades técnicas de execução de serviço distintos envolvidos: *lot façadier* e *lot plaquiste*, o primeiro ligado aos serviços de fachada, que tem necessidade de equipamentos para trabalho em altura, transporte vertical de materiais e necessidades específicas de segurança do trabalho; enquanto o segundo está ligado a instalação de chapas e placas internas como as chapas de gesso acartonado.

Quadro 10 – Montagem de Painéis e transporte para a obra

Mesa basculante na posição inclinada	Movimento da mesa para horizontal

Mesa na posição horizontal	Aplicação do material de isolamento

Aplicação do plaqueamento	Transporte do painel para o canteiro

Fonte: Obra de reabilitação com utilização da fachada F4. Disponível em <http://www.youtube.com/watch?v=l-OT62-pMKw>. Acesso em: novembro de 2014

3.5 POTENCIAL DO SISTEMA EM RELAÇÃO À DESMONTAGEM E DESMATERIALIZAÇÃO

Souza et al. (2004) afirmam que, além de grande consumidora de recursos naturais, a indústria da construção civil é considerada grande geradora de resíduos, razão pela qual se dá a necessidade de busca de medidas para evitá-los alinhados com o princípio do desenvolvimento sustentável. As ações para essa busca devem se centrar no processo de produção, envolvendo diferentes agentes da cadeia produtiva, e na redução da geração de resíduos diretamente na fonte, por meio não somente de novos processos como da reutilização, reciclagem e deposição adequada.

Um caminho complementar é a desmaterialização ou redução da massa dos materiais de construção, apontada por Agopyan e John (2011) como uma das estratégias para se adequar a demanda do setor da construção civil à capacidade de sustentação do planeta.

Os avanços tecnológicos, conforme assinalado por Maugard (2007), fizeram com que a complexidade de materiais modificasse o axioma implícito na construção que considera um material “pesado” como sinônimo de durabilidade e um material “leve” como ligado ao efêmero.

Novos materiais estão sendo desenvolvidos para aumentar o conforto térmico na construção leve, como os materiais de mudança de fase, ou *Phase Change Material* (PCM). Como exemplo, chapas de gesso que recebem a adição de 20% de compostos formados por esferas microscópicas de ceras, que ao mudarem de fase, de sólido para líquido, requererem calor e, no processo inverso, o calor latente é devolvido ao ambiente. A vantagem que traz esse tipo de material é a maior capacidade de estocar calor e, assim, aumentar a inércia térmica sem a necessidade do aumento de massa (ARCELOR, 2004; SANTOS et al., 2012).

Um exemplo do uso desse material é destacado pela empresa BASF²⁵ ao indicar que uma chapa de gesso de 15 mm com microcápsulas de material PCM tem a mesma

²⁵ BASF. **The BASF House - UK Project**. Sem data. 28 p. Disponível em: <https://www.nottingham.ac.uk/creative-energy-homes/documents/basfhousebrochure.pdf>. Acesso em: novembro 2015

capacidade de estocagem de calor que uma vedação vertical de 120 mm de espessura tijolo cerâmico ou 90 mm de espessura de concreto.

Segundo Fontenelle (2012), a redução da massa torna esta tecnologia construtiva uma alternativa para produção de edifícios devido ao menor impacto sobre o ambiente e redução do consumo de recursos naturais, proporcionando, ainda, menor quantidade de resíduos após o término de sua vida útil.

Nabut Neto e Sposto (2011) compararam dois sistemas de fachada: o primeiro, em chapas delgadas estruturadas em LSF e, o segundo, convencional de blocos cerâmicos revestidos. Como resultado, o sistema de fachada em LSF apresentou menor consumo de materiais em massa e volume que o convencional, representando 8,9% do volume e 29% da massa total. Quanto ao valor de energia incorporada, os autores apontam que o valor foi menor na fachada convencional, representando aproximadamente 63% da energia incorporada do sistema em LSF. No entanto, os autores ponderam que o potencial de reciclagem do sistema de fachada em LSF é maior devido à facilidade de desconstrução e consequente tratamento, processamento e reutilização dos materiais do que no modelo convencional, no qual a tarefa de separação de materiais é dificultada.

De maneira simplificada, devido às considerações e aproximações, os autores consideraram os valores de emissões totais como sendo equivalentes.

Nabut Neto e Sposto (2011) destacam que não é possível exigir de um sistema que ele seja mais eficiente em todos os quesitos como energia incorporada, emissões de CO₂, consumo de materiais e potencial de reciclagem dos materiais constituintes, pois os mesmos nem sempre são alcançados simultaneamente, reforçando o desafio de balancear as exigências do usuário com a escolha cuidadosa dos materiais de construção para atender os principais aspectos da sustentabilidade sem comprometer o desempenho e durabilidade.

Sabbatini (1998) afirma que a redução de massa, devido ao uso de divisórias internas em gesso acartonado, pode representar, em edifícios habitacionais, 5 a 7% da massa total. No entanto, o autor destaca que no Brasil, por diversas razões, se pratica estruturas extremamente esbeltas e deformáveis, ao contrário da Europa e Estados Unidos, que utiliza estruturas de espessuras 30 a 50% superiores às utilizadas no Brasil. Dada a esbelteza da estrutura, o autor conclui que a retirada da alvenaria de

contraventamento, seja ela utilizada nas vedações internas ou externas, deve ser compensada com o enrijecimento das estruturas.

3.6 CONSIDERAÇÕES

A pesquisa traz uma visão histórica da fachada das edificações, mostrando como se deu a evolução das fachadas monolíticas para as fachadas multicamadas e o avanço da construção leve.

O capítulo contribui para fixar a terminologia das vedações verticais externas e traz a análise da tecnologia, propiciando a melhor identificação dos componentes utilizados e das funções específicas de cada camada para o atendimento ao desempenho do sistema.

Destaca-se a importância do correto tratamento, tanto em projeto como em execução, das interfaces das camadas da vedação vertical com as esquadrias, que são um ponto de atenção para assegurar o desempenho térmico, acústico e de estanqueidade da fachada.

Em relação aos métodos de montagem do sistema, apontam-se os benefícios de cada um e a possibilidade de pré-fabricação dos painéis em instalações fora do canteiro de obras e que apesar de todos os componentes da tecnologia serem industrializados, pode-se fazer um paralelo com o grau de industrialização da tecnologia, evoluindo-se do grau artesanal (método embutido), para o grau racionalizado (método contínuo) e depois para o grau industrial (pré-fabricação de painéis).

Os materiais de construção estão passando por uma evolução, com avanços tecnológicos, que trouxeram maior complexidade à construção, modificando o axioma que se considera material durável como aquele com maior densidade de massa.

Busca-se contribuições quanto à desmaterialização que pode ser umas das estratégias para a adequação da demanda do setor da construção às metas da sustentabilidade.

4. CARACTERIZAÇÃO E DURABILIDADE DE PERFIS DE LSF

Os perfis utilizados na fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF são formados a frio a partir de aços revestidos fornecidos em rolos de bobinas cortadas longitudinalmente (Figura 31).

Figura 31 – Processo de conformação a frio de rolos de bobinas cortadas longitudinalmente em perfis

Fonte: ArcelorMittal (2013)

Embora, os painéis não tenham função estrutural, os perfis neles utilizados devem ser considerados estruturais por estarem sujeitos a esforços mecânicos de diferentes naturezas, como vento, pequenas deformações da estrutura primária, peso próprio, peso dos acabamentos e das chapas de vedação vertical.

O conjunto de perfis utilizado no sistema de painel leve são usualmente denominados de *Light Steel Framing*, ou seja, perfis leves para que se distinga esta composição dos sistemas estruturais em aço, designados na língua inglesa como *Steel Framing* ou *Steel Frame*, que se referem às estruturas de aços carbono laminados a quente formadas por chapas laminadas a quente e perfis laminados²⁶.

²⁶ O Instituto Aço Brasil, que congrega as empresas brasileiras produtoras de aço, classifica os perfis laminados, provenientes de produtos longos em aço carbono, pela sua altura (h) em: perfis leves ($h < 80$ mm); perfis médios ($80 \text{ mm} < h \leq 150$ mm); e perfis pesados ($h > 150$ mm). Essa classificação não vale para os perfis objeto do estudo, uma vez que os perfis do LSF derivam de conformação a frio de rolos de bobinas, classificadas como produtos planos.

O foco deste capítulo trata das principais características que devem apresentar os perfis de LSF em relação às normas vigentes.

Dada a importância do perfil no sistema de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, buscou-se identificar normas nacionais e estrangeiras que possam trazer parâmetros para o projeto e execução do sistema.

4.1. NORMAS BRASILEIRAS

A norma brasileira ABNT NBR 15253 (2014, p.1) apresenta os requisitos gerais para os perfis, estabelecendo no seu escopo:

Os requisitos gerais e métodos de ensaios para os perfis formados a frio, com revestimento metálico, para painéis reticulados destinados à execução de paredes com função estrutural, estruturas de entrelaçados, estruturas de telhados e de fachadas das edificações (“light steel framing”).

Como requisitos de propriedades mecânicas, a ABNT NBR 15253 (2014, p. 9) estabelece:

Para a produção dos perfis formados a frio para estrutura, o aço deve ter qualidade estrutural com resistência ao escoamento mínima de 230 MPa segundo a ABNT NBR 7008 (2012) ou a ABNT NBR 15578 (2008) e ainda atender aos requisitos da ABNT NBR 14762 (2010).

Nos termos e definições desta norma estabelece-se que aço com qualificação estrutural é “aço produzido com base em especificação que o classifica como estrutural e estabelece a composição química e as propriedades mecânicas” (ABNT NBR 15253, 2014, p. 2).

Além da ABNT NBR 15253 (2014), as normas ABNT NBR14762 (2010) e ABNT NBR 8800 (2008) também estabelecem que a utilização de aço de qualidade estrutural é obrigatória para aplicações estruturais.

A ABNT NBR 14762 (2010) estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento, à temperatura ambiente, de perfis estruturais de aço formados a frio, constituídos por chapas ou tiras de aço-carbono ou aço de baixa liga,

conectados por parafusos ou soldas e destinados a estruturas de edifícios. Sobre a utilização de aços com qualificação estrutural, essa norma recomenda no item 4.1:

O uso de aços com qualificação estrutural e que possuam propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Devem apresentar a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento f_u/f_y maior ou igual a 1,08 (ABNT NBR 14762, 2010, p. 12).

Apesar de a norma ABNT NBR 14762 (2010) recomendar a utilização de aços estruturais, ela se refere à utilização de aços comerciais, ou seja, sem garantia de propriedades mecânicas, desde que os valores adotados em projeto para resistência ao escoamento não sejam superiores a 180 MPa, como define o seu item 4.2:

A utilização de aços sem qualificação estrutural para perfis é tolerada se o aço possuir propriedades mecânicas adequadas para receber o trabalho a frio. Não devem ser adotados no projeto valores superiores a 180 MPa e 300 MPa para resistência ao escoamento f_y e a resistência à ruptura f_u , respectivamente (ABNT NBR 14762, 2010, p. 13).

Como a ABNT NBR 15253 (2014) estabelece resistência de escoamento mínimo de 230 MPa, é necessária a utilização de aço com qualificação estrutural para o sistema de painel leve em LSF.

Quanto às espessuras do aço, a ABNT NBR 15253 (2014) define espessura mínima nominal de 0,8 mm e máxima de 3,0 mm, sendo que, a espessura nominal inclui o revestimento metálico. Para o dimensionamento da estrutura deve ser considerada a espessura sem o revestimento metálico. Considerando-se os tipos de perfis utilizados para vedações, a ABNT NBR 15253 (2014) os denomina conforme Quadro 11.

Quadro 11 – Seção de perfis de LSF, sua designação e utilização (dimensões em milímetros)

Seção transversal	Designação ABNT NBR 6355 (2012)	Utilização
<i>U</i> simples <i>U</i> $b_w \times b_f \times t_n$	Guia Bloqueador
<i>U</i> enrijecido <i>Ue</i> $b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga Guia enrijecida (sistema com encaixes estampados)
Cantoneira de abas desiguais <i>L</i> $b_{11} \times b_{12} \times t_n$	Cantoneira

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15253 (2014c)

A ABNT NBR 15253 (2014) estabelece massas mínimas de revestimento do aço, segundo o Quadro 12.

Quadro 12 - Revestimento mínimo do aço segundo ABNT NBR 15253

Tipo de revestimento do aço	Massa mínima de revestimento do aço ^a	Designação do revestimento do aço
Zincado por imersão a quente	275 g/m ² ABNT NBR 7008-1 (2012)	Z275 ABNT NBR 7008-1 (2012)
Alumínio-zinco por imersão a quente	150 g/m ² ABNT NBR 15578 (2008)	AZ150 ABNT NBR 15578 (2008)
^a A massa mínima refere-se ao total nas duas faces (média do ensaio triplo)		

Fonte: ABNT NBR 15253 (2014)

4.2 NORMAS NORTE-AMERICANAS

As entidades *North American Steel Framing Alliance (NASFA)* e *Cold-Formed Steel Engineers Institute (CFSEI)* desenvolveram junto à entidade da indústria do aço norte-americana, AISI, normas relativas aos perfis formados a frio, as quais estão sintetizadas no Quadro 13.

Quadro 13 - Normas AISI e ASTM para perfis formados a frio

Referência	Título da norma	Ano de publicação
AISI S100-12	<i>North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members</i>	2012
AISI S110-07-S1-09	<i>Standard For Seismic Design Of Cold-Formed Steel Structural Systems – Special Bolted Moment Frames</i>	2007 Suplemento 1
AISI S200-12	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - General Provisions</i>	2012
AISI S201-12	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Product Data</i>	2012
AISI S210-07 (2012)	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Floor and Roof System Design</i>	2007
AISI S211-07 w/S1-12 (2012)	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Wall Stud Design</i>	2007 Suplemento 1
AISI S212-07 (2012)	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Header Design</i>	2007
AISI S213-07 w/S1-09 (2012)	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Lateral Design</i>	2007 Suplemento 1
AISI S214-12	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Truss Design</i>	2012
AISI S230-07 w/S3-12	<i>North American Standard For Cold-Formed Steel Framing - Prescriptive Method for One and Two Family Dwellings</i>	2007 Suplemento 3
ASTM A1003/ A1003M – 15	<i>Standard Specification for Steel Sheet, Carbon, Metallic- and Nonmetallic- Coated for Cold-Formed Framing Members</i>	2015

Fonte: ASTM Standards e <https://shop.steel.org/c/58/2012-edition-standards> e Steel Network.
Acesso em: abril de 2015.

O comitê para normas AISI desenvolveu a norma, *Prescriptive Method for One and Two Family Dwellings*, para fornecer requisitos prescritivos relativos a estruturas de perfis a frio para casas isoladas ou geminadas. Desenvolvida por consenso entre projetistas estruturais, pesquisadores, produtores e construtores é fonte de

informação para arquitetos, engenheiros e profissionais de entidades de aprovação de projetos, ou de inspeção ou revisão de projetos para a construção residencial em estrutura em aço. A norma contempla zonas de fortes ventos e de atividades sísmicas.

A norma norte-americana ASTM A1003 / A1003M (2015) estabelece as especificações das chapas de aço carbono com revestimentos metálicos ou não metálicos utilizados para os perfis formados a frio. A norma classifica os perfis em estruturais ou não-estruturais e subdivide os perfis estruturais segundo sua ductilidade em tipo H e tipo L (*High and Low ductility*).

A ASTM A1003 / A1003M (2015) limita a utilização de perfis de baixa ductilidade (tipo L) a componentes horizontais (*purlins and girts*), como terças de telhado e de painéis de vedação vertical que suportam cargas aplicadas por flexão, enquanto que os perfis de alta ductilidade (tipo H) não sofrem limitações de uso.

Para perfis estruturais do tipo H, a ASTM A1003 / A1003M (2015) estabelece que a relação entre limite de resistência à tração (LRT) e limite de escoamento (LE) deve ser maior de 1,08. Esse valor coincide com o aquele estabelecido pela ABNT NBR 15253 (2014). A ASTM A1003 / A1003M (2015) também define as propriedades mecânicas dos aços conforme os requisitos do Quadro 14.

Quadro 14 – Propriedades mecânicas de perfis estruturais tipo H

Denominação	Limite de escoamento (LE) (MPa)	Limite de resistência a tração (LRT) (MPa)	LRT/ LE > 1,08	Alongamento (50 mm)
ST230H	230	310	1,34	10%
ST255H	255	360	1,41	10%
ST275H	275	380	1,38	10%
ST340H	340	450	1,32	10%
ST380H	380	480	1,26	10%
ST395H	395	480	1,21	10%
ST410H	410	480	1,17	10%
ST480H	480	550	1,14	10%
ST550H	550	620	1,12	10%

Fonte: Adaptado de ASTM A1003/ A1003M (2015)

Segundo AISI (2010), a primeira edição da norma norte-americana para a concepção de perfis estruturais formados a frio, contemplando os Estados Unidos, Canadá e México, foi publicada em 2001. Trata-se da norma *North American Specification for*

the Design of Cold-Formed Steel Structural Members, e posteriormente, em 2003, foi adotada pelo *International Building Code* (IBC) e reconhecida pelas entidades *American National Standards Institute* (ANSI), *Canadian Standards Association* (CSA), e pela mexicana *Camara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero* (CANACERO).

Em 2012, a entidade AISI, no âmbito do *Committee on Framing Standards*, atualizou as normas, em especial, a norma de produto S201-12 (2012b), para padronizar os requisitos de produtos em aço formado a frio (*cold-formed steel framing products*).

A AISI S200-12 (2012a) define, como elemento estrutural, aquele que resiste a cargas de projeto conforme requerido pelos códigos de edificações, e estabelece que os perfis devem estar em conformidade com a ASTM A1003 / A1003M (2015) e acrescenta aos usos permitidos para o tipo L os montantes de paredes cortinas (*curtain wall studs*).

Aparentemente, há uma contradição entre as normas ASTM A1003 / A1003M (2015) e a AISI S200-12 (2012a). Enquanto a primeira limita a utilização de perfis de baixa ductilidade - tipo L - a usos destinados a componentes como terças (*purlins and girts*), a segunda acrescenta o uso de perfis tipo L em paredes cortina (*curtain walls*), mesmo reiterando que devem ser cumpridas as exigências da primeira.

A norma norte-americana AISI S201-12 (2012c) define que, para perfis estruturais, as resistências de escoamento estão limitadas ao Grau 33 (230 MPa) e Grau 50 (340 MPa). Neste aspecto, também há uma contradição, pois, a ASTM A1003/A1003M (2015) define uma maior variedade de resistências possíveis. Quanto à espessura, a AISI S201-12 (2012c) estabelece, para perfis estruturais, as espessuras possíveis de 0,836 mm; 1,087 mm; 1,367 mm; 1,720 mm; 2,454 mm e 2,997 mm.

Em relação à proteção à corrosão, as normas AISI S200-12 (2012a) e a ASTM A1003 / A1003M (2015) estabelecem os tipos de revestimentos do aço e suas massas mínimas, considerados para condições normais de exposição. A norma AISI S200-12 (2012a) é mais restritiva em relação aos revestimentos do que a ASTM A1003 / A1003M (2015). Para a primeira, são aceitos apenas os revestimentos zinco puro, zinco ferro, liga 55% alumínio zinco e liga zinco 5% alumínio, enquanto a ASTM A1003 / A1003M (2015) aceita revestimentos alumínio, eletrogalvanizado e liga zinco alumínio manganês. Além das normas citadas na ASTM 1003/ A1003M (2015), os

revestimentos de perfis também são especificados nas normas para perfis não estruturais, como para aplicação em *drywall*, a ASTM C645 (2014), e para perfis estruturais, a ASTM C955 (2015).

O Quadro 15 apresenta os valores mínimos para os revestimentos metálicos de perfis estruturais segundo AISI S200-12 (2012a) e ASTM A1003/A1003M (2015).

Quadro 15 - Revestimentos mínimos do aço para perfis estruturais (tipos H e L) possíveis de serem utilizados em painéis leves em LSF

Tipos de revestimento	Massas mínimas (g/m ²)	Normas
Zinco Puro (Z)	180	ASTM A653/A653M (2015)
Zinco Ferro (ZF)	180	ASTM A653/A653M (2015)
55% Alumínio Zinco (AZM)	150	ASTM A792/A792M (2015)
Zinco - 5% Alumínio (ZGF)	90	ASTM A875/A875M (2013)
Alumínio (T1M)	75	ASTM A463/A463M (2015)
Eletrogalvanizado (G)	90	ASTM A879/A879M (2012)
Zinco Alumínio Magnésio (ZMM)	60	ASTM A1046/A1046M (2014)

Fonte: AISI S200-12 (2012a) e ASTM A1003/A1003M (2015)

A norma AISI S200-12-C (2012b) ainda estabelece que outros tipos de revestimentos, que possibilitem proteção à corrosão igual ou melhor podem ser aceitos e quando condições mais severas de exposição são prováveis, como ambientes industriais ou costeiros, maiores massas de revestimentos devem ser especificadas, considerando que as condições de exposição se referem a um ambiente protegido no envelope da edificação.

Segundo AISI S200-12 (2012a) e S200-12-C (2012b), não há necessidade de proteção adicional de tintas ricas em zinco nas bordas dos revestimentos metálicos, sejam eles cortados ou perfurados e recomenda que os perfis sejam protegidos do contato direto com umidade proveniente do solo ou do ambiente externo.

Além do revestimento metálico, a AISI S200-12 (2012a) permite adicionar uma pintura metálica à superfície do perfil, desde que a espessura de camada seja no mínimo de 25,4 micrometros por face da chapa, consideradas a espessura do *primer* e da camada de tinta.

O Quadro 16 resume as especificações mínimas das normas norte-americanas para perfis estruturais.

Quadro 16 - Requisitos mínimos das normas AISI e ASTM para perfis estruturais

Grau do Aço	Resistência ao escoamento	Espessura Mínima	Massas mínimas de revestimentos do aço
Grau 33 ST230H	230 MPa	0,836 mm	Zinco Z180
			Zinco Ferro ZF180
			55% Alumínio - Zinco AZM150
			Zinco – 5% Alumínio ZGF90
			Alumínio T1M75
			Eletro-galvanizado 90G
			Zinco Alumínio Magnésio ZMM60

Fonte: AISI S201-12 (2012a), ASTM A1003/A1003M (2015)

4.3 EUROCÓDIGOS

O Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço - estabelece em sua parte 1-3 as regras suplementares para os perfis e chapas perfiladas formados a frio (CEN EN 1993-1-3:2006).

Existe uma ampla variedade de graus de aço possíveis de utilização na conformação a frio. Como esta pesquisa trata de aços para aplicação em perfis de LSF, busca-se somente dados de aços revestidos por imersão contínua a quente que podem ser utilizados para conformação a frio segundo a CEN EN1993-1-3 (2006).

Esta norma define os graus do aço que atendem aos requisitos estabelecidos e os valores nominais de resistência de escoamento (f_{yb}) e de resistência a tração (f_u) (Quadro 17).

Quadro 17 – Graus do aço conforme CEN EN1993-1-3 (2006) e valores nominais de resistência ao escoamento e resistência à tração

Grau do Aço	Resistência ao escoamento (N/mm ²)	Resistência à Tração (N/mm ²)
S220GD+Z / +ZA / + AZ	220	300
S250GD+Z / +ZA / + AZ	250	330
S280GD+Z / +ZA / + AZ	280	360
S320GD+Z / +ZA / + AZ	320	390
S350GD+Z / +ZA / + AZ	350	420
DX51D+Z	140	270
DX52D+Z	140	270
DX53D+Z	140	270

Fonte: Adaptado de CEN EN1993-1-3 (2006)

Os graus de aço DX51D, DX52D e DX53D não possuem valores de propriedades mecânicas definidos pelas suas respectivas normas de produto; em função disto, a CEN 1993-1-3 (2006) estabelece os valores mínimos de 140 N/mm² e 270 N/mm² que devem ser assumidos para dimensionamento quando do uso desses graus.

Quanto às espessuras da chapa de aço, a norma CEN EN 1993 1-3 (2006) estabelece espessuras entre 0,45 mm e 15 mm. A norma permite outras espessuras, desde que, o dimensionamento seja assistido por testes.

A norma CEN EN 10346 (2015) especifica os requisitos para os aços revestidos por imersão contínua a quente, estabelecendo os revestimentos de: zinco (Z), liga de zinco-ferro (ZF), liga de zinco-alumínio (ZA), liga de alumínio-zinco (AZ), liga de alumínio-silício (AS) e liga de zinco-magnésio (ZM) com espessuras de 0.2 mm a 3.0 mm que incluem o revestimento metálico. A partir da versão de 2015, a norma CEN EN10346 passou a especificar também os graus S390GD+Z, S420GD+Z e S450GD+Z, não especificados na versão anterior.

4.4 COMPARAÇÃO ENTRE NORMA BRASILEIRA, NORMAS NORTE-AMERICANAS E EUROCÓDIGO

Os valores de limite de escoamento (230 MPa) e espessura mínima (0,8 mm) são similares nas normas brasileiras e norte-americanas.

Em relação ao CEN EN 1993 1-3 (2006), o limite de escoamento mínimo é de 140 MPa para os aços de qualidade comercial e 220 MPa para os aços de qualidade estrutural, enquanto que a espessura é definida entre 0,45 e 15 mm. Portanto, o eurocódigo é mais permissivo que as normas brasileiras e americanas ao estabelecer menor valor de resistência ao escoamento e de espessura da chapa.

Em relação à massa de revestimento, nas normas norte-americanas há menor exigência para o revestimento de zinco, permitindo-se o emprego de Z180 (180g/m²), enquanto que a brasileira adota Z275 (275g/m²). Para os revestimentos em alumínio-zinco, as duas normas adotam os mesmos valores mínimos, ou seja, AZ150 (150g/m²). As normas AISI (2012a) e ASTM (2015) estabelecem maior variedade de tipos de revestimentos do aço que a norma brasileira e europeia.

A norma CEN EN 1993 1-3 (2006), cujo objetivo é estabelecer as condições para o dimensionamento de estruturas de aço, não determina valores mínimos de revestimento, embora traga exemplos de revestimento zincado, zinco-alumínio e alumínio zinco.

O Quadro 18 traz um resumo dos valores de resistência mínima ao escoamento, de espessura mínima e revestimentos mínimos nas normas brasileira, norte-americanas e eurocódigo em aplicações para perfis de LSF.

Quadro 18 – Especificações mínimas para perfis de LSF em relação as normas brasileira, normas norte-americanas e eurocódigo

Itens	ABNT NBR 15253 (2014)	AISI (2012) e ASTM (2015)	CEN EN 1993 1-3 (2006)
Resistência ao escoamento mínima	230 MPa	230 MPa	220 MPa (aços estruturais) 140 MPa (aço qualidade comercial)
Espessura mínima	0,8 mm	0,836 mm	0,45 mm
Revestimento mínimo Zinco (Z)	Z275	Z180	(não há especificação de massa mínima)
Revestimento mínimo alumínio zinco AZ	AZ150	AZ150	(não há especificação de massa mínima)
Outros revestimentos	Sem referência	ZF180; ZGF90; T1M75; 90G; ZMM60	ZF; ZA, AS (sem especificação de massa mínima)

Fonte: ABNT (2014); CEN (2006) AISI S201-12 (2012a), ASTM A1003/A1003M (2015)

4.5 RECOMENDAÇÕES DO STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE

Em relatório técnico do Steel Construction Institute, Way e Lawson (2013) destacam que as vedações verticais externas respondem a requisitos de resistência a vento e suportam o peso das chapas de vedação. Em função disto, os sistemas necessitam ser adequadamente concebidos devendo ser formados por aços de qualidade estrutural. Segundo os autores, aços utilizados para divisórias em *drywall* como os aços DX51D, conforme CEN EN 10346 (2015), não devem ser utilizados para os painéis de fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF, uma vez que não são aços de grau estrutural. Quanto ao revestimento, os mesmos autores recomendam revestimento mínimo de Z275 ou AZ150. Ambos os revestimentos têm espessura equivalente a 0,02 mm em cada face da chapa.

O Quadro 19 traz as propriedades mecânicas dos aços recomendados pelos autores.

Quadro 19 - Graus de aço recomendados pelo SCI para perfis de LSF

Grau	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
S350GD	350	420	16
S390GD	390	470	14
S420GD	420	470	14
S450GD	450	490	14

Fonte: Way e Lawson (2013)

4.6 REVESTIMENTOS DO AÇO

Segundo AISI (2004) e Larson e Usami (2007), galvanização é um processo em que o aço é imerso em um banho de metais em fusão, em temperatura elevada, que aumenta a reação entre o aço e os metais fundidos, colaborando na formação de uma liga metalúrgica entre eles.

Segundo AISI (2004), o processo de galvanização contínua diz respeito ao desenrolamento de bobinas de aço laminadas a frio em linha contínua, com velocidade de até 200 metros por minuto, e compreende a imersão em um pote para que as duas faces da chapa da bobina recebam o revestimento metálico com controle de espessura realizado por jatos de ar.

Segundo ArcelorMittal (2013), no processo contínuo de imersão a quente (Figura 32), a espessura do revestimento é permanentemente monitorada e controlada por meio de um conjunto de facas de ar (ou nitrogênio), localizado acima do banho, onde ocorre o ajuste da espessura do revestimento conforme as especificações.

Figura 32 - Linha de galvanização contínua da ArcelorMittal Vega

Fonte: ArcelorMittal (2015)

Além do processo de imersão a quente, existem outros processos de revestimento do aço, como a eletrogalvanização, no qual o metal (zinco puro) é depositado eletroliticamente sobre a tira de aço, e ainda, os processos de deposição de revestimentos sob vácuo, como o *PVD (Physical Vapour Deposition)* e o *CVD (Chemical Vapour Deposition)* (ARCELORMITTAL, 2013).

Segundo AISI (2004), o zinco é um material reativo, podendo se corroer lentamente ao longo do tempo; assim, a proteção oferecida pelo revestimento é proporcional à sua espessura.

O zinco e outros revestimentos de sacrifício podem proteger o aço de duas maneiras: pelo efeito barreira e pela proteção catódica.

Segundo AISI (2004), no efeito barreira, o aço é fisicamente isolado do ambiente corrosivo pela presença do revestimento, como uma barreira impermeável que impede a umidade de entrar em contato com o aço. O processo de galvanização assegura que o revestimento tenha uma excelente aderência ao substrato e, em consequência, resistência à abrasão.

Segundo AISI (2004) e AISI S200-12C (2012b), na proteção catódica ou proteção de sacrifício, o zinco protege galvanicamente o aço. Quando o aço base é exposto, como em áreas onde o revestimento foi danificado (riscos, arranhões, bordas cortadas, furos

etc.) o aço é catodicamente protegido pela corrosão de sacrifício do revestimento de zinco adjacente, que é corroído preferencialmente em vez do aço, em função da eletronegatividade do zinco na série galvânica.

Segundo a AISI S200-12 (2012a), deve-se evitar o contato direto dos perfis com metais não similares para prevenir a ocorrência de ação galvânica, como, por exemplo, aplicação de um material isolante não condutivo e não corrosivo, para isolar, uma tubulação em cobre dos perfis em aço. Por outro lado, se não existir umidade, não há problema no contato entre metais não similares.

Segundo ArcelorMittal (2013), a formação de produtos das reações intermetálicas proporciona uma camada protetora que retarda a taxa de corrosão e renova a proteção das áreas expostas onde a camada de revestimento tenha sido danificada. No caso de revestimentos metálicos contendo alumínio, a passivação da superfície, pela formação de uma camada de óxido, pode ser observada. Esta camada, não porosa, fornece proteção física e impede ainda mais a corrosão do revestimento. O grau de passivação depende da acidez do ambiente e, conseqüentemente, em um ambiente rural ou industrial, a camada de óxido de alumínio é extremamente estável, mas em uma solução salina ela pode se dissolver e permitir que o alumínio desempenhe seu papel de sacrifício.

Há vários tipos de revestimentos do aço que podem ser utilizados em perfis formados a frio. A ASTM 1003/ A1003M (2015) possibilita o emprego de mais de sete tipos de revestimentos em perfis formados a frio. Esses revestimentos metálicos sobre o substrato de aço podem ser formados por uma camada de zinco puro ou por ligas de diferentes composições de zinco, de alumínio e de outros metais ou ainda de alumínio puro, possuindo diferentes padrões de acabamento.

Segundo AISI (2004), a “flor de zinco” é o padrão que resulta da fusão do zinco, quando seus grãos crescem e são cristalizados na solidificação do revestimento. A dimensão da “flor”, que pode ser controlada ou eliminada segundo as técnicas de processamento, não tem qualquer influência sobre o desempenho do revestimento.

Segundo o IZA (2011), pela necessidade de acabamento de alta qualidade, foram desenvolvidos revestimentos sem flor de zinco propiciados pela remoção do chumbo. Os revestimentos considerados livres de chumbo possuem teores de chumbo menores do que 0,01%, chegando a menos de 0,005%.

Ainda conforme IZA (2011), a ausência de chumbo não estimula o crescimento dos grãos de zinco no plano da chapa, prevenindo a formação de “flores de zinco”, resultando num revestimento aparentemente uniforme e brilhante, sem pequenas depressões na chapa geradas pelo limite dos grãos, o que propicia vantagem por não ser suscetível a falha de aderência retardada. Esta falha do revestimento pode ocorrer em ambientes úmidos, relacionado ao fato de que o chumbo se concentra no entorno das “flores de zinco” e permite a formação de pequenas células corrosivas. A aparência metálica em revestimentos livres de chumbo é brilhante e uniforme, ao contrário da aparência dos revestimentos de zinco contendo chumbo.

4.6.1 Eletrogalvanizado

Conforme ASTM A1003/A1003M (2015), é possível a utilização de aços eletrogalvanizados em perfis estruturais. Segundo ArcelorMittal (2013), aços eletrogalvanizados são geralmente disponíveis apenas com uma fina camada de revestimento, o que significa uma limitada ação contra corrosão no seu estado natural (sem pintura) e são usados quando se exige uma excelente superfície de acabamento, pois possibilitam boa aparência após a pintura.

A característica da alta qualidade da superfície de acabamento não representa uma vantagem para perfis para LSF que devem ser mantidos enclausurados e não necessitam de pintura.

4.6.2 Zinco

O termo galvanizado, segundo AISI (2004), usualmente se refere ao revestimento zinco puro, que conta com adição de 0,2% de alumínio. O alumínio é requerido no processo para inibir a reação zinco-ferro, garantindo a formação do revestimento zinco puro.

O revestimento de zinco puro, segundo ArcelorMittal (2013), é composto por três camadas. A primeira é uma camada intermetálica (Fe_2Al_5) situada na interface do revestimento com o substrato e demasiadamente fina para ser vista por microscopia

óptica pela sua espessura de aproximadamente 100 nanômetros (nm). A segunda é a camada do revestimento de zinco e, a terceira, é a camada superior, que é mais fina ainda que a camada da interface (cerca de 50 nm), formada de óxido de alumínio.

4.6.3. Liga 95% de zinco e 5% de alumínio

Revestimento composto por aproximadamente 95% de zinco e 5% de alumínio, conhecido comercialmente como galfam. Segundo AISI (2004), a resistência à corrosão geral é melhorada em relação ao padrão galvanizado. Na interface com o aço, segundo ArcelorMittal (2013), há uma fina camada intermetálica formada por FeAl_3 (<100 nm), que proporciona flexibilidade e torna o aço adequado para a produção de peças de difícil conformação.

4.6.4 Liga zinco alumínio magnésio

O revestimento de liga é composto de 93,5% de zinco, 3,5% de alumínio e 3% de magnésio e é aplicado por processo de imersão a quente oferecendo maior resistência à corrosão em ambientes agressivos, com melhor comportamento nas bordas cortadas. O teor de magnésio (3%) na liga do revestimento cria uma camada estável e durável em toda a superfície, contribuindo para melhorar a resistência à corrosão do sistema. A proteção das bordas cortadas é assegurada por uma fina película à base de zinco contendo magnésio, formada na interação com a atmosfera. A natureza desta película de proteção depende do ambiente reforçando a proteção catódica das bordas, garantindo uma resistência à corrosão até dez vezes mais elevada que o aço galvanizado com zinco puro para aplicação em atmosferas mais severas como ambientes costeiros, uso exterior e instalações industriais, podendo ser uma alternativa de baixo custo para o aço inoxidável, alumínio e pós-galvanização (ARCELORMITTAL, 2013).

4.6.5 Liga alumínio zinco

O revestimento combina as vantagens dos seus dois componentes principais: o efeito de barreira do alumínio e a proteção de sacrifício do zinco, resultando em excelente resistência à corrosão. Segundo AISI (2004), o revestimento formado com liga de alumínio (55%), zinco (43,4%) e silício (1,6%), por processo de imersão a quente, oferece proteção superior à corrosão por barreira que os galvanizados. Segundo ArcelorMittal (2013), o revestimento é formado por duas fases: uma composta de detritos de alumínio (80% volume) e a restante por uma zona interdentrítica de zinco contendo partículas de silício. Na interface com o aço, existe uma camada intermetálica AlZnFeSi (de 1 a 2 μm de espessura) e uma camada fina e transparente de óxidos de alumínio formado na superfície que oferece resistência à corrosão em temperaturas elevadas e resistência à abrasão, devido à sua dureza de superfície e excelente refletividade térmica.

4.6.6 Alumínio puro

No revestimento de alumínio puro, não há qualquer adição de liga de silício ou de outros elementos, o que gera uma considerável camada intermetálica de ferro alumínio formada na interface entre os dois metais, oferecendo adequada resistência à corrosão em ambientes urbano, industrial e marinho, e também na presença de produtos de combustão extremamente agressivos em alta temperatura (ARCELORMITTAL, 2013).

4.7 CORTES DA CHAPA DE AÇO REVESTIDA

O zinco fornece proteção catódica ao aço, particularmente para as bordas cortadas, onde o aço está exposto após o corte. A durabilidade das bordas cortadas está relacionada com o teor de zinco no revestimento em relação à espessura do aço base. Grandes espessuras da chapa e baixo teor de zinco no revestimento são desfavoráveis para a resistência à corrosão das bordas cortadas. Os limites de

espessura crítica do substrato em relação à corrosão devem ser estabelecidos em cada caso individualmente, dependendo da aplicação (ARCELORMITTAL, 2013).

A técnica de corte utilizada também influencia a corrosão. Corte a laser produz bordas cortadas com uma resistência à corrosão igual à de bordas aparadas. Corte de plasma melhora a durabilidade das arestas de corte, dada a formação de uma camada protetora de óxido de ferro após o corte. Certas técnicas de corte podem reduzir a durabilidade na região do corte de bordas, como o corte a disco que diminui a resistência à corrosão, pois o zinco é removido a partir do rebordo do corte o que produz rebarbas e um elevado grau de rugosidade.

4.8 RECOMENDAÇÕES PARA A PROTEÇÃO E DESEMPENHO À CORROSÃO DE ESTRUTURAS EM LSF

AISI (2006) investigou o potencial de corrosão de componentes revestidos utilizados em LSF ao expor amostras em diversos ambientes. Baseados nos resultados desse estudo, foram feitas recomendações para a proteção de estruturas em LSF e fixadores para áreas costeiras. O relatório analisa a concepção, construção e avaliação durante mais de dois anos de exposição de cinco protótipos que representam típicas construções em LSF situadas em áreas costeiras com diferentes condições de vento. As conclusões foram baseadas em 28 meses de inspeção visual nestas edificações situadas na ilha de Oahu, Havaí (EUA).

Segundo AISI (2006), os fatores predominantes que afetam a taxa de corrosão são o nível de cloretos presentes na atmosfera, a velocidade e a direção dos ventos e o grau de exposição dos componentes. Mesmo em condições protegidas, devem ser tomadas precauções para se evitar o transporte de cloretos para o interior da edificação. Vegetações ou outras obstruções existentes entre a linha costeira e a edificação podem reduzir o transporte de cloretos levando a uma menor taxa de corrosão. A pesquisa considerou situações protegidas quando há densa vegetação cobrindo ao menos 25 metros de distância entre a costa e o edifício ou existência de duas ou mais linhas de edifícios entre a edificação e a costa.

A pesquisa apresenta recomendações baseadas nos resultados do estudo para três categorias de exposição segundo a distância à linha de costa: extrema (categoria A); moderada (categoria B); e branda (categoria C), conforme apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 - Classificação segundo características de exposição de estruturas de LSF em relação a ventos e distância da linha de costa

Distância da linha de costa (m)	Características de exposição			
	Ventos vindos do mar		Ventos vindos do interior	
	Desprotegido	Protegido	Desprotegido	Protegido
$D \leq 200$	A	A	A	B
$200 < D \leq 500$	A	B	B	B
$500 < D \leq 1000$	B	B	C	C
$D > 1000$	C	C	C	C

Fonte: AISI (2006)

AISI (2006) recomenda que, nas três categorias de exposição, A, B e C, nenhum componente em LSF ou seus fixadores sejam expostos às condições atmosféricas e que, mesmo durante a construção, essa exposição seja controlada. Durante a construção, medidas de proteção devem ser tomadas para evitar acúmulo de cloretos nos componentes.

Mesmo em condições protegidas, como em porões ou áticos, os componentes não devem estar expostos e o plaqueamento em madeira ou gesso acartonado com juntas seladas pode ser efetivo para proteção nessas condições. As cabeças dos parafusos das placas, mesmo que permaneçam expostas, podem ser trocadas, se necessário. A pesquisa recomenda que deve haver inspeção de sinais de corrosão a cada dois anos na categoria A e cinco anos nas categorias B e C. Em vedações verticais externas deve-se utilizar barreira de vapor e todas as aberturas como janelas e portas devem estar seladas para não permitir a entrada de cloretos para o interior da vedação vertical (AISI, 2006).

Larson e Usami (2007) recomendam o armazenamento adequado dos materiais. A armazenagem de componentes em locais onde há umidade e pouca ventilação de ar pode causar a formação do hidróxido de zinco (ferrugem branca), que é um produto de corrosão, não protetor e volumoso. O hidróxido de zinco pode se formar durante

um único incidente de molhagem, pela chuva ou condensação. No entanto, uma vez que as áreas afetadas fiquem expostas é possível a secagem e pode haver baixo impacto no desempenho do aço galvanizado a longo prazo. Se as condições restritivas, como a umidade, continuarem, então a corrosão do zinco pode avançar rapidamente para o aço base. As chapas galvanizadas podem receber tratamento de superfície para ajudar a evitar a formação de manchas de umidade. Para a prevenção, os materiais devem ser guardados sem contato com o solo, em área coberta e com ventilação adequada para se evitar condensação entre os elementos.

Segundo a AISI S200-12 (2012a), quando existe contato direto dos perfis com madeira tratada, pode-se especificar tratamentos menos corrosivos para a madeira, como borato de sódio e sistemas preservativos orgânicos. Também deve ser levado em conta o contato com materiais que necessitam de água na composição inicial, bem como materiais que absorvam água durante o ciclo de vida, uma vez que essas duas circunstâncias podem acelerar a corrosão. A norma também recomenda que os perfis não sejam mergulhados em concreto, a menos que aprovados para tal aplicação, e os fixadores devem receber tratamento de proteção à corrosão ou serem fabricados a partir de materiais menos suscetíveis à corrosão.

Segundo Larson e Usami (2007), dada a baixa probabilidade de inspeções regulares nos edifícios, a reparação ou substituição de elementos é pouco viável, uma vez que, a maioria dos componentes apresenta difíceis ou impossíveis condições de reparo ou substituição e, por isso, revestimentos mais resistentes à corrosão devem ser especificados inicialmente.

Segundo CSTB (2010), os revestimentos metálicos por imersão contínua são classificados em uso com exposição direta às atmosferas externas e em usos protegidos e ventilados em relação às atmosferas externas.

No caso das fachadas em LSF, considerando-se que os perfis não estão diretamente expostos à atmosfera direta, são abordadas atmosferas classificadas pela norma AFNOR NF DTU 33.1 (2008) como E21 a E29, conforme apresentado no Quadro 21. O comportamento estético das superfícies consideradas nesses ambientes, não é levado em consideração, uma vez que as peças não estão expostas.

Quadro 21 – Utilização de massa de revestimento de zinco por imersão contínua a quente localizadas em atmosferas exteriores protegidas e ventiladas e segundo ambientes de exposição

Classificação da atmosfera	Tipo de Atmosfera	Revestimento
E ₂₁	Rural	Z275
E ₂₂	Urbana ou industrial normal	Z275
E ₂₃	Urbana ou industrial severa	Z350
E ₂₄	Marinha 10 < D < 20 Km	Z350
E ₂₅	Marinho 3 < D < 10 Km	Z350
E ₂₆	Marinho D < 3 Km	Z450
E ₂₇	Misto normal	Z450
E ₂₈	Misto severo	Z450
E ₂₉	Agressivo	Estudo específico

Fonte: Adaptado de Anexo 6 - CSTB (2010)

Segundo AISI (2007), pesquisa iniciada pelo ILZRO Research Program, em 2003, e posteriormente revista, em 2007, com objetivo de investigar o comportamento frente à corrosão de componentes de estruturas de aço galvanizado em construções residenciais, mediu a perda de massa de revestimento de amostras devido à corrosão. Essas amostras possuíam as mesmas características dos componentes de LSF, e a pesquisa, ao longo de um período de 3 anos, correlacionou as amostras às condições ambientais. Depois de completada a primeira fase dos trabalhos, o período de monitoramento foi estendido a mais 5 anos e posteriormente a 7 anos. Os resultados deste estudo confirmam a adequação dos atuais padrões de proteção oferecidos pela indústria e fornecem base adicional para promover a durabilidade das estruturas de aço formados a frio. Os revestimentos dos aços utilizados nas amostras do experimento estão descritos no Quadro 22.

Quadro 22 – Características dos revestimentos das amostras utilizadas na pesquisa

Revestimento	Especificação do revestimento	Espessura nominal de revestimento ¹ (microns)	Densidade do revestimento (g/cm ³)	Peso do revestimento ² (g/m ²)
Galvanizado (Zn)	Z180	25	7.14	273
Galfan (95% Zn, 5% Al)	ZGF 275	41	6.7	315
Galvalume (55% Al, 45% Zn)	AZ180	49	3.75	227
¹ Espessura total de revestimento para os dois lados da amostra				
² Peso total do revestimento para os dois lados da amostra				

Fonte: Adaptado de AISI (2007)

O experimento traz referências sobre a condição e a expectativa de vida dos componentes de LSF, dadas as condições de exposição. Foram escolhidas edificações em quatro localidades, situadas nos Estados Unidos e Canadá, que representam diferentes condições de agressividade de ambiente, conforme mostra o Quadro 23.

Quadro 23 - Localizações das edificações objeto do experimento

Localização	Condição do Ambiente	Distância da linha de costa	Fundação	Acabamento exterior
Miami, Florida	Úmido, interior	Vários km do Oceano Atlântico	Radier	Argamassa
Leonardtown, Maryland	Semi-marinho com verões úmidos	Menos de 22 m do rio Potomac	Porão	Vinil
Long Beach Island, New Jersey	Marinho	Menos de 400 m do Oceano Atlântico	Pilaretes em área enclausurada	<i>Siding</i> de alumínio
Hamilton, Ontario	Industrial com rigorosos invernos	Interior	Porão com pé-direito de 2,10 m	Tijolo

Fonte: Adaptado de AISI (2007)

O Quadro 24 mostra as tipologias de construção residencial analisadas.

Quadro 24 – Localizações e fotos das tipologias das edificações objeto do estudo

Localização	Foto da edificação
Miami, Florida
Leonardtown, Maryland
Long Beach Island, New Jersey
Hamilton, Ontario

Fonte: AISI (2007)

Apesar de a pesquisa AISI (207) considerar amostras localizados em vários pontos do edifício, para o interesse deste trabalho, são levados em conta apenas os dados relacionados às vedações verticais.

Na localidade de Hamilton, em vedação vertical exterior, ocorreram temperaturas de superfícies das amostras abaixo do ponto de orvalho. Mesmo assim, placas recuperadas a partir desta cavidade da vedação vertical mostraram perdas de massa média de 0,02 gramas.

Na localidade de Long Beach, as vedações verticais exteriores do segundo andar eram compostas por perfis envoltos em fibra de vidro, possuíam plaqueamento em madeira coberto com membrana de estanqueidade tipo *Tyvek* e revestimento externo em *siding* de madeira. As amostras na localidade de New Jersey foram equipadas com sensores que mediam temperatura da superfície da amostra, para cada tipo de revestimento (Galvanizado, Galfan e Galvalume), bem como a umidade relativa e temperatura ambiente.

O Quadro 25 apresenta as médias de perdas de massa de revestimento segundo o tipo de revestimento e a localidade pesquisada.

Quadro 25 - Média de perda de massa para os revestimentos em amostras de vedações externas nas localidades do estudo

Localização	Revestimento	Amostra	Média de perda de massa (em gramas)			
			Ano 1	Ano 3	Ano 5	Ano 7
Hamilton	Galvanizado	Placa	0	-	0,01	0,02
	Galvalume		0,01	-	0,01	0,02
	Galfan		0	-	0,01	0,02
Miami	Galvanizado	Perfil montante	0,01	0,01	0,01	0,02
	Galvalume		0,01	0	0,01	0,023
	Galfan		0,02	0,01	0,01	0,03
Long Beach	Galvanizado	Perfil montante	0,01	0	0,01	0,013
	Galvalume		0	0	0,01	0,013
	Galfan		0,01	0	0,01	0,013
Leonard-town	Galvanizado	Placa	0,02	0,02	0,01	0,02
	Galvalume		0	-	-	-
	Galfan		-	0,02	0,02	0,033

Fonte: Adaptado de AISI (2007)

Como resultados da pesquisa ILZRO, tem-se que vida útil estimada para as amostras foi calculada com base na duração máxima de exposição (ou seja, a exposição de sete anos) usando o método ASTM G1. A expectativa de vida estimada com base na

perda de massa máxima para as amostras variou de 258 a 964 anos, com uma média de 574 anos para todas as amostras. A maior vida útil, 964 anos, foi calculada para a amostra de Galfan localizada na cavidade da vedação vertical do sótão do sítio Hamilton e no sótão do sítio Leonardtown (perda de massa 0,02 gramas depois de sete anos de exposição) e a menor vida útil, 258 anos, foi calculada para a amostra de Galvalume localizada no sótão do sítio de Leonardtown.

4.9 ESPAÇAMENTO ENTRE PERFIS

A ABNT NBR 15253 (2014) e as normas norte-americanas não estabelecem os espaçamentos entre os perfis montantes, que é função do dimensionamento. No entanto, usualmente, empregam-se espaçamentos de 300, 400 ou 600 mm.

Segundo Way e Lawson (2013), os perfis usados no sistema são espaçados verticalmente a cada 600 mm, ou a cada 400 ou 300 mm, nos casos em que a concepção estrutural necessite de mais resistência.

As seções dos perfis devem ser especificadas segundo o projeto estrutural. Way e Lawson (2013) afirmam que o dimensionamento deve estar em conformidade com a norma CEN EN 1993 1-3 (2006d). Ainda segundo os autores, os perfis e componentes devem estar claramente identificados com o nome do fabricante e grau do aço e deve-se assegurar que as dimensões utilizadas estão adequadas ao dimensionamento da estrutura.

Segundo os autores, as dimensões internas do perfil guia devem estar em conformidade com as dimensões externas do perfil vertical, para que possa existir o encaixe adequado (Figura 33).

Figura 33 - Correspondência entre dimensões do perfil e guia

Fonte: Way e Lawson (2013)

Way e Lawson (2013) definem dimensões mínimas para os perfis guia conforme apresentadas no Quadro 26.

Quadro 26 – Dimensões mínimas para perfis guia

Tipo de guia	Largura nominal da mesa	Espessura mínima
Guia de piso	32 mm	1,2 mm
Guia de topo	60 mm	2 mm

Fonte: Way e Lawson (2013)

Segundo os autores, os perfis verticais devem ter largura nominal de alma de 70 a 250 mm e espessura mínima de 1 mm. As dimensões mais usuais para a largura nominal da alma dos perfis verticais são de 100 a 150 mm. A dimensão do enrijecedor deve ser ao menos igual à largura nominal da mesa dividido por 5, ou de ao menos 10 mm. A largura nominal da mesa nos perfis verticais deve seguir as recomendações expressas na Figura 34 e Quadro 27, que é de no mínimo duas vezes a distância recomendada pelo fabricante das chapas à borda, mais a distância entre as bordas da placa, para permitir sua expansão (junta entre chapas).

Figura 34 – Largura mínima da mesa do perfil

Fonte: Way e Lawson (2013)

Quadro 27 - Dimensões mínimas para o dimensionamento da largura nominal de mesa de perfis montantes

Impactos na largura da mesa do perfil	Chapa de Gesso	Placa Cimentícia
Distância da borda da chapa ao centro do furo	15 mm x 2	15 mm x 2
Distância entre bordas de chapas	0 mm	3 mm
Diâmetro da fixação	5 mm	5 mm
Raio do canto do perfil montante	3 mm	3 mm
Tolerância de instalação	2 mm	0 mm
Largura mínima da mesa do perfil	40 mm	41 mm

Fonte: Way e Lawson (2013)

A ABNT NBR 15253 (2014) não estabelece larguras mínimas de perfis. No entanto, a especificação deve adequar a largura ao plaqueamento utilizado, de modo que o perfil consiga suportar a furação e a distância requerida de junta.

Para placas cimentícias, segundo Cichinelli (2013), a distância mínima entre o centro do furo e a borda é de 12 mm e é de 3 mm o espaçamento entre placas. O catálogo de fabricante de placa cimentícia Eterplac²⁷ indica distância mínima de 15 mm da borda para a fixação.

Segundo o fabricante LP (2011), as placas de OSB devem ser fixadas a 10 mm da borda e a aplicação dos painéis deve ser realizada com juntas desencontradas para melhor travamento, prevendo um espaçamento mínimo de 5 mm como dilatação em todo o perímetro da chapa.

4.10 FLEXÃO NOS PERFIS

Silva e Silva (2008) apontam que perfis de seções abertas e de pequena espessura possuem baixa rigidez à torção, podendo apresentar problemas de instabilidade, deformações excessivas ou atingir os limites da resistência do aço devido a esforços de torção.

Os autores manifestam que, além dos esforços internos como momento fletor em torno dos eixos x e y, momento de torção e esforços cortantes paralelos aos eixos x e y, há também o empenamento e a distorção da seção transversal do perfil.

O Quadro 28 apresenta as seções dos perfis formados a frio quando utilizados na posição vertical e sujeitos a esforços de compressão.

²⁷ Catálogo comercial da Eterplac. Disponível em:
<http://www.eternit.com.br/downloads/catalogos/eterplac.pdf> – Acesso em: 3 de abril de 2015.

Quadro 28 – Modos de flambagem de perfis formados a frio

Fonte: European Commission. Cold-Formed Steel Design. Prof. Dan Dublina. Disponível em: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2014_07_WS_Steel/presentations/08_Eurocodes_Steel_Works_hop_DUBLINA.pdf. Acesso em: maio de 2015

Way e Lawson (2013) afirmam que, para permitir movimentações das lajes da estrutura primária sem causar indução de cargas axiais na montagem embutida, a guia superior deve permitir movimentações.

Segundo os autores, em razão da deflexão, detalhes de fixação dos perfis são necessários para restringir movimentos horizontais e permitir que a guia se mova verticalmente independente dos perfis verticais. A flecha adotada em projeto deve ser especificada pelo projetista estrutural e compatibilizada com o projeto arquitetônico e de produção dos painéis.

Ainda segundo os autores, deve existir um espaço entre o perfil vertical e a alma da guia superior para possibilitar movimentação. Esse espaço deve ser no mínimo igual aos valores estimados de deflexão. A fixação das chapas não deve ser realizada na guia superior para não comprometer a sua movimentação.

O Quadro 29 mostra valores de flechas adotadas em projetos de obras da tecnologia de vedações com chapas delgadas utilizados em obras de estruturas metálicas, de estruturas existentes de concreto (para o caso de reformas) e de estruturas novas de concreto de acordo com os vãos da estrutura primária. Os maiores valores adotados

são para as estruturas recentes de concreto em função da deformação e retração do concreto.

Quadro 29 – Flechas adotadas em projeto

Vãos da viga de borda	Flechas adotadas em projeto (mm)		
	Estrutura metálica	Obras de reformas de fachadas em edifícios de estruturas em concreto	Instalação de fachadas em estruturas de concreto moldadas <i>in loco</i> ou pré-fabricadas recentes
4 m	10	10	16
5m	10	13	20
6m	12	15	24
7m	14	18	28
8m	16	20	32

Fonte: Way e Lawson (2013)

A Figura 35 mostra furos oblongos no perfil que permitem sua movimentação.

Figura 35 – Furo oblongo no perfil montante para permitir movimentações diferenciais em relação à guia

Fonte: Kingspan Design Guide (2014)

4.11 ABERTURAS NOS PERFIS PARA PASSAGEM DE TUBULAÇÕES

Os perfis devem chegar no canteiro de obras previamente furados segundo as especificações de projeto.

A ABNT NBR 15253 (2014) especifica as dimensões máximas de aberturas em perfis de LSF, que são de 115 mm de comprimento e de 38 mm de largura para aberturas sem reforços e que devem ter bordas arredondadas. O maior eixo da abertura deve coincidir com o eixo longitudinal central da alma do perfil.

A distância entre centros de furos sucessivos deve ser no mínimo igual a 600 mm; a distância entre a extremidade do perfil e o centro do primeiro furo deve ser no mínimo de 300 mm; a distância entre a extremidade de uma abertura e a face lateral do apoio da viga deve ser de no mínimo 250 mm (Figura 36).

Aberturas com outras geometrias e dimensões podem ser executadas nos perfis, desde que devidamente consideradas no dimensionamento.

Figura 36 - Aberturas nos perfis montantes

Fonte: ABNT 15253 (2014)

Way e Lawson (2013) afirmam que, geralmente, os perfis são entregues no canteiro de obras previamente furados. A influência das furações pode ser desconsiderada no desempenho do perfil, desde que algumas recomendações mínimas sejam observadas, quais sejam:

- Sem que haja enrijecimento do perfil, o máximo comprimento de um furo não pode exceder 40% do comprimento da seção do perfil, e a largura do furo deve ser, ao menos, 3 vezes menor que o seu comprimento;
- O diâmetro do furo não pode exceder 60% da largura da alma do perfil;
- Furos devem ser posicionados no eixo longitudinal central da alma do perfil;
- Furos devem distar do limite de borda do perfil pelo menos 1,5 vez o comprimento do furo;
- Todos os furos devem ser feitos por ferramentas adequadas de perfuração.

Dimensões de aberturas maiores que as citadas requererem reforço pela adição de chapas fixadas na alma em torno da abertura ou deve ser criada uma borda com relevo (estampada).

Realizar furos no canteiro não é recomendado, mas quando necessário, eles devem ser realizados com ferramentas apropriadas para minimizar os riscos de bordas rústicas e danos à superfície galvanizada. Os furos não devem ser feitos por oxicorte.

O Quadro 30 apresenta as dimensões máximas de aberturas nos perfis e as dimensões para o posicionamento das aberturas em relação aos perfis.

Quadro 30 - Aberturas nos perfis e dimensões para seu o posicionamento

A	Largura da seção	
B	Distância da borda do furo ao limite do perfil	$B \geq 1,5 \times A$
C	Distância entre furos	$C \geq A$
D	Diâmetro dos furos circulares	$D \leq 0,6 \times A$
E	Comprimento dos furos oblongos	$E \leq 3 \times F$
F	Largura dos furos oblongos	$F \leq 0,4 \times A$

Fonte: Adaptado de Kingspan (2014)

4.12 COMPOSIÇÕES DE PERFIS PARA FORMAÇÃO DE ABERTURAS NA VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA

A Figura 37 apresenta composições de perfis que podem ser utilizadas como reforços em laterais de aberturas, nas verga e contra-vergas.

Figura 37 - Composições de perfis para reforços de aberturas para as laterais (a); para as vergas (b); e contravergas (c)

Fonte: Way e Lawson (2013)

4.13 TOLERÂNCIAS DE INSTALAÇÃO DOS PERFIS

Em alguns casos, os painéis devem ser construídos de modo que se projetem além do limite da estrutura primária, de modo que as chapas tenham continuidade na fachada.

Para que a continuidade das chapas de vedação da fachada seja possível, os perfis guia são fixados em projeção, em relação ao limite da laje. A Figura 38 apresenta a relação entre a parte do perfil apoiada na laje e a parte em projeção, considerando a largura total do perfil.

Figura 38 - Largura mínima para apoio do perfil guia

Fonte: Way e Lawson (2013)

4.14 FIXAÇÕES

Way e Lawson (2013) destacam que, geralmente, as fachadas em chapas delgadas em LSF usam o método de montagem embutido e os perfis são cortados no local. Dessa forma, as conexões são realizadas em canteiro de obra sem o uso de furos feitos previamente ou posições de furação pré-fixadas.

Os autores recomendam os seguintes itens para as fixações entre perfis:

- A distância do furo à borda do perfil deve ser ao menos 3 vezes o diâmetro de fixação, não podendo ser menor de 10 mm;
- Fixações entre o perfil guia e o perfil montante devem ser feitas de ambos os lados da vedação vertical;
- Não devem ser usados parafusos de *drywall* para as conexões dos perfis;
- Os parafusos devem ser galvanizados e apresentar documento técnico de aprovação ou avaliação realizada por organismo técnico de terceira parte.

Para a fixação dos perfis à estrutura primária do edifício, os autores recomendam:

- Para a fixação dos perfis guias à laje de concreto, utilizar parafusos tipo “tapcon” com 6 mm de diâmetro, para furos no elemento de concreto de 5 mm de diâmetro;
- Para conexão dos perfis guias a vigas de aço, utilizar parafusos tipo “TEK” ou de 3,2 mm de diâmetro do tipo de impacto;

- Espaçamento das fixações não deve exceder 600 mm;
- Fixações adicionais são necessárias nas extremidades dos perfis guia, considerando 100 mm da extremidade.

4.15 SINGULARIDADES DE INSTALAÇÃO DE PERFIS NA FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADA EM LSF

A seguir são apresentados exemplos de empreendimentos com terraços, vedações verticais curvas e parapeitos e grandes aberturas com utilização da tecnologia analisada.

4.15.1 Terraços

A Figura 39 apresenta a possibilidade de se incluir terraços na tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturada em LSF.

Figura 39 – Fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF com terraços

Fonte: Way e Lawson (2013)

4.15.2 Vedações verticais curvas

As Figura 40 e Figura 41 apresentam exemplos de fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF em curvas.

Figura 40 – Fachada com vedações verticais curvas, durante e após execução

Fonte: Way e Lawson (2013)

Figura 41 – Fachada com vedações curvas no sistema F4

Fonte: Fiche Chantier HD. Disponível em: www.isovert.fr/content/.../fiche_chantier-HD.pdf.
Acesso em: abril de 2015.

O Quadro 31 e Quadro 32 apresentam os perfis no método embutido entre lajes de concreto e fixado entre vigas metálicas.

Quadro 31 - Fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF embutida entre lajes de concreto

Fonte: Kingspan (2014)

Quadro 32 - Fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF embutida entre vigas metálicas

Fonte: Kingspan (2014)

4.15.3 Parapeitos e Grandes Aberturas

A Figura 42 e o Quadro 33 ilustram exemplos de reforços na fixação de parapeitos e bandeiras.

Figura 42 - Elementos de apoio para aberturas de janelas com grandes vãos em vedações verticais de LSF

Fonte: Kingspan (2014)

Quadro 33 – Instalação de bandeira e parapeito sobre e sob abertura

Fonte: Kingspan (2014)

4.16 CONSIDERAÇÕES

O capítulo caracteriza os perfis que estruturam a fachada em chapas delgadas em relação às normas nacionais, norte-americanas e europeia visando ao entendimento das recomendações relativas às propriedades mecânicas dos perfis, espessuras de chapas e tipos de revestimentos utilizados para a proteção do aço. São apresentadas as resistências mínimas, espessuras mínimas e massa de revestimento mínima para cada uma das normas.

São levantados os resultados de pesquisas sobre durabilidade dos perfis e de seus revestimentos e recomendações para a concepção da tecnologia de fachada de chapas delgadas estruturadas em LSF visando sua maior durabilidade.

São elencados alguns exemplos das possibilidades de aberturas nos perfis para a passagem de tubulações dos sistemas prediais e de composições de perfis para atender às solicitações estruturais causadas pelas aberturas de janelas e portas.

O capítulo também apresenta as singularidades nas instalações dos perfis para atender necessidades arquitetônicas, como terraços, vedações verticais curvas e parapeitos.

Em relação ao espaçamento entre os perfis metálicos, eles devem estar locados segundo as solicitações estruturais a que são submetidos, mas também segundo as modulações de chapas e dos componentes associados. A tecnologia, que tem alto potencial de industrialização, somente poderá alcançá-lo em função da compatibilização modular adotada.

5. AVALIAÇÃO TÉCNICA DE TECNOLOGIAS DE FACHADA EM CHAPAS DELGADAS ESTRUTURADAS EM LSF: CONTEXTO BRASILEIRO E INTERNACIONAL

5.1 INTRODUÇÃO

Os referenciais técnicos trazem informações de características de componentes, normas a serem atendidas, principais requisitos de desempenho e seus critérios de aceitação para o elemento em questão.

Nesta pesquisa são identificadas três referências técnicas, de diferentes sistemas de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, provenientes de países da Comunidade Europeia:

- Fachada F4, desenvolvido na França, pela empresa Saint-Gobain Isover, com avaliação técnica emitida pelo *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB);
- Sistema Aquapanel WM311C e WM411C, desenvolvido pela empresa de origem alemã Knauf, com avaliação emitida pelo *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya* (ITeC);
- *Kingframe Architectural Façade Systems* (AFS), da empresa de origem irlandesa Kingspan, que conta com avaliação técnica emitida por duas instituições inglesas: *Building Research Establishment* (BRE) e *British Board of Agreement* (BBA).

O Sistema Nacional de Avaliação Técnica (SINAT) estabeleceu a Diretriz SINAT nº 009 para a avaliação técnica da fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF. Até o momento de conclusão desta pesquisa, não há DATec específico para o sistema de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, isto é, até o momento, nenhum fabricante tem a homologação de seu sistema, ainda que alguns estejam em processo de condução da homologação, como é o caso dos sistemas Aquapanel e Brasilit.

Assim, as três avaliações técnicas europeias identificadas são aqui comparadas com a Diretriz SINAT nº 009, com o objetivo de compreender as semelhanças e diferenças entre exigências de cada sistema, identificar o que está sendo feito no exterior e o que se propõe fazer no Brasil em relação à tecnologia da fachada em chapas delgadas

estruturadas em LSF e, ainda, caracterizar os componentes utilizados, os requisitos de desempenho exigidos e a normalização envolvida em cada caso.

5.2 AVALIAÇÕES TÉCNICAS EUROPEIAS

Dado que as três avaliações técnicas analisadas foram emitidas por organismos europeus, a partir dos regulamentos e da legislação europeia, é feita a descrição, de forma sucinta, do contexto legislativo.

A entidade *European Organization for Technical Assessment (EOTA)* estabelece os requisitos e procedimentos de produtos e sistemas construtivos a partir dos quais são elaborados os documentos de avaliação técnica. Esses documentos provêm de organismos de terceira parte no âmbito de uma rede europeia de organizações avaliadoras acreditadas.

A Comissão Europeia define o formato da avaliação técnica, que deve contemplar: a descrição técnica do produto, a especificação da(s) utilização(ões) prevista(s), em conformidade com o respectivo Documento de Avaliação Europeu (DAE); o desempenho do produto e referências aos métodos utilizados para a avaliação; e o sistema aplicado para a avaliação e verificação da regularidade do desempenho com referência à sua base jurídica (COMISSÃO EUROPEIA, 2013).

Esse arcabouço de aprovação técnica foi estabelecido no âmbito da União Europeia e regulamentado pela Diretiva dos Produtos de Construção nº 89/106/CEE publicada em 1989. A Diretiva estabeleceu que as obras de construção civil deveriam ser concebidas e realizadas de modo a não comprometer a segurança de pessoas, animais domésticos ou bens, e dispunha sobre o sistema de aprovação técnica europeia e sobre a marca CE (CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 1989).

Em 2011 foi publicada uma nova regulamentação do setor: o Regulamento dos Produtos de Construção (RPC) nº 305/2011 da União Europeia, que estabelece as novas condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção na Comunidade Europeia. Esse regulamento não se contrapõe à Diretiva e sim, complementa, atualiza e propõe parâmetros de sustentabilidade. O novo Regulamento revogou a Diretiva 89/106/CEE. Apesar de o RPC ter sido publicado em 2011, alguns artigos do regulamento não estavam válidos até a data de 1 de julho de

2013, quando, a partir dessa data, todos os seus artigos passaram a ter plena validade (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

O RPC estabelece que as obras de construção civil, além de serem concebidas e realizadas de modo a não comprometer a segurança de pessoas ou bens, não devem degradar o ambiente e estabelece, ainda, que as obras de construção, seja no seu todo ou nas partes de que se compõem, devam estar aptas para o uso a que se destinam, contemplando a saúde e a segurança das pessoas nelas envolvidas durante todo o ciclo de vida da obra. Segundo o RPC, ainda, as obras de construção devem satisfazer, em condições normais de manutenção e durante um período de vida útil economicamente razoável, aos requisitos de: (1) resistência mecânica e estabilidade; (2) segurança contra incêndio; (3) higiene, saúde e ambiente; (4) segurança e acessibilidade na utilização; (5) proteção contra o ruído; (6) economia de energia e isolamento térmico e; (7) utilização sustentável dos recursos naturais (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

Em relação à Avaliação Técnica Europeia, o RPC permite que os fabricantes de produtos de construção emitam uma declaração de desempenho de acordo com o respectivo *European Assessment Documents* (EAD), ou, em português, Documento de Avaliação Europeu. Esse documento é válido para qualquer produto de construção não abrangido (parcial ou totalmente) por normas harmonizadas e cujo desempenho não possa ser integralmente avaliado de acordo com uma norma harmonizada (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

O Documento de Avaliação Europeu estabelecido no RCP é equivalente ao documento *European Technical Approval Guidelines* (ETAG)²⁸ estabelecido na Diretiva 89/106/EEC. De acordo com o artigo 66 do RPC, as ETAGs existentes podem ser usadas como EADs, ou em português, Documentos de Avaliações Europeus (EUROPEAN COMMISSION, 2015).

²⁸ A lista das ETAGs existentes pode ser acessada no site da EOTA. Disponível em <http://www.eota.eu/en-GB/content/etags-used-as-ead/26/>. Acesso em: fevereiro de 2015. Esta mesma lista também é apresentada na página da Comissão Europeia: *NANDO Information System (New Approach Notified and Designated Organisations - NANDO)*. Disponível em: <http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/index.cfm?fuseaction=cp.eta>. Acesso em: fevereiro de 2015

Os Documentos de Avaliação Europeus e a emissão de Avaliações Técnicas Europeias cabem aos Organismos de Avaliação Técnica (OAT), designados pelos estados membros da União Europeia (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

O RPC também rege a marcação CE no produto de construção, que responsabiliza os fabricantes pela conformidade do produto em relação ao desempenho declarado. A marcação CE foi regulamentada pela Diretiva de 1989, mas com o RPC ela deixou de ser uma declaração de conformidade para ser uma declaração de desempenho, indicando, ainda, que um determinado produto está em conformidade com a legislação da União Europeia, possibilitando a livre circulação de produtos no interior do mercado europeu. Ao apor a marcação CE em um produto, o fabricante tem a responsabilidade de que o produto satisfaça todos os requisitos legais para receber a referida marcação, o que significa que o produto pode ser vendido em todo o Espaço Econômico Europeu (EEE), mesmo não tendo sido fabricado no EEE (PARLAMENTO EUROPEU, 2011).

Em relação aos documentos de referência para a tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturadas por perfis de LSF, como os Documentos de Avaliação Europeu equivalentes às Guias para a Aprovação Técnica, ou ETAGs, a pesquisa identificou documentos que se referem a alguns dos elementos e componentes que podem também ser utilizados na tecnologia de fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF, como a utilização dos sistemas compostos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS).

No entanto, a Guia para Aprovação Técnica Europeia “ETAG 004 – *Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems*”, identifica o seu escopo, ao estabelecer que se trata de sistema de isolamento externo de vedações verticais sobre vedação de alvenaria (tijolos, blocos, pedras...) ou sobre vedação de concreto (moldado ou pré-moldado). Consequentemente, a ETAG 004 não pode ser considerada uma diretriz para sistema de vedação vertical leve (EOTA, 2008; DO ROSÁRIO, MALANHO, 2010). Portanto, não foi identificado nenhum documento ETAG ou Documento de Avaliação Europeu (DAE), que seja referente às avaliações técnicas apresentadas na pesquisa.

Quando não existe a referência do ETAG ou DAE, os Organismos de Avaliação Técnica (OAT), para emitirem seus pareceres, se baseiam nos documentos denominados *Common Understanding of Assessment Procedure* (CUAP),

documentos internos da EOTA, não disponíveis ao público (PONTIFICE, 2012; LATERNER, SILVA, HOERMANN-GAST, s. d.).

É nesse contexto legislativo que se inserem as três avaliações técnicas analisadas na pesquisa e que foram emitidas por Organismos de Avaliações Técnicas, que são membros da EOTA e, no caso das avaliações analisadas na pesquisa, referem-se aos organismos ingleses BBA e BRE, ao francês CSTB e ao espanhol ITeC.

Essas avaliações abrangem informação geral do escopo da aplicação; características essenciais relevantes para os usos pretendidos do componente ou sistema; desempenho do sistema e referências dos métodos de avaliação utilizados; avaliação e verificação da manutenção do desempenho; detalhes técnicos para atendimento ao desempenho; identificação do(s) produto(s) de construção e referências de normas, códigos de práticas e referenciais tecnológicos bem como, de outras avaliações técnicas (BBA, 2014; BRE, 2011; CSTB, 2012; ITeC, 2014).

5.3 COMPARATIVOS ENTRE SISTEMAS

Nos comparativos realizados, os sistemas são caracterizados considerando-se: a documentação técnica de cada um; as suas limitações de utilização; a caracterização de suas camadas e de seus componentes; as normas e certificações relativas aos componentes; e os requisitos de desempenho e as normas relativas à sua verificação.

Ao se justapor as características de cada sistema, o objetivo não é estabelecer qual o melhor sistema, mas possibilitar uma descrição detalhada e uma análise qualitativa dos sistemas estudados. Por se tratar de sistemas que têm basicamente os mesmos componentes, a opção pela descrição em grupo visa a facilitar a compreensão e a particularização de cada um.

Apesar de haver farto material formado pelos catálogos comerciais dos sistemas analisados, as informações dos catálogos podem não apresentar imparcialidade e, por este motivo, a pesquisa avalia e considera somente informações dos sistemas colhidas das avaliações técnicas, não tendo sido utilizado, neste capítulo, qualquer outro dado externo às avaliações, exceção feita às ilustrações dos sistemas apresentadas no Quadro 37, no Quadro 38, no Quadro 39 e no Quadro 40.

As avaliações técnicas analisadas são comparadas com a Diretriz SINAT nº 009 porque, até a finalização desta pesquisa, ainda não havia sido publicado um DATec que pudesse ser utilizado para a comparação, apesar de a Diretriz ter sido publicada em 2012 (Figura 43).

Figura 43 - Contexto de avaliação brasileiro e europeu

Fonte: autora

Os três sistemas analisados são identificados como: Fachada F4; Aquapanel WM311C e WM411C; e Kingspan.

O sistema Kingspan conta com duas avaliações de instituições inglesas: *Building Research Establishment* (BRE) e *British Board of Agreement* (BBA). A avaliação BBA para o sistema Kingspan contempla apenas a adequação à capacidade de carga do LSF e sua durabilidade. Outros aspectos de desempenho ou de outros produtos associados ao sistema não foram avaliados, apesar de a avaliação BBA indicar que o edifício deve ser concebido e construído para satisfazer todos os requisitos do Regulamento Nacional de Edificações do Reino Unido (BBA, 2014).

Em função disto, na maioria dos quadros comparativos está apenas contemplada a avaliação do sistema realizada pela instituição BRE.

Os três sistemas têm a caracterização de sua documentação técnica descrita no Quadro 34 e os seus títulos e definições descritos no Quadro 35.

Quadro 34 – Caracterização da documentação técnica dos sistemas analisados

	Fachada F4	Aquapanel WM311C e WM411C	Kingspan BBA	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Nome do documento	<i>Avis Technique</i>	<i>Documento de adecuación al uso (DAU)</i>	<i>Agrément Certificate</i>	<i>Certificate of assessment</i>	Diretrizes para avaliação técnica de produtos
Ref. do certificado	2/10-1409	09/052D	03/S034	118/06	009
Data de emissão	14/03/2012	28/01/2014	12/02/2014	01/2011	12/2012
Data de validade	31/10/2014 Duração da validade ~2,7 anos	27/01/2019 Duração da validade 5 anos	Validade ilimitada, desde que: • mantido nos níveis avaliados • revisado pelo <i>BBA</i> como e quando considerado apropriado	01/2014 Válido desde que: materiais, métodos de manufatura, e dimensionamento permaneçam os mesmos e o produto continue vistoriado	Um DATec concedido a partir de uma diretriz tem validade de 2 anos. Pode ser renovado se não houver alteração do produto ou se for submetido a novas avaliações ²⁹ .
OAT emissor	<i>CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment</i>	<i>ITeC - Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya</i>	<i>BBA - British Board of Agrément</i>	<i>BRE - Building Research Establishment</i>	Ministério das Cidades
Titular do documento	Saint-Gobain Isover	Knauf GmbH España	<i>Kingspan Steel Building Solutions</i>	<i>Kingspan Ltd. Trading as; Kingspan Profiles and Sections</i>	Ministério das Cidades
Local do titular	Paris - França	Madri - Espanha	Walsal - Inglaterra	N. Yorkshire - Inglaterra	Brasília - Brasil
Número de páginas	51	56	9	38	46

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011) e BRASIL (2012).

²⁹ Fonte: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/faq.php#zm>. Acesso em: março de 2015.

Quadro 35 – Título e definição dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BBA / BRE	Diretriz SINAT nº 009
Fachada cortina – sistema de fachada vertical com ossatura secundária em perfis leves de aço galvanizado, que recebem revestimento exterior ventilado e revestimento interior e isolamento térmico	Sistema construtivo de fechamento completo de fachada não ventilada com trama metálica autoportante e revestimento exterior contínuo	Sistema para uso em painéis entre lajes (<i>infill panels</i>) ou painéis externos (<i>oversail panels</i>) (BBA)	Diretriz para avaliação técnica de sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamentos em chapas delgadas
		Sistema arquitetônico de fachada com ossatura de parede não portante incorporando isolamento específico (BRE)	

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011) e BRASIL (2012).

Conforme títulos e definições dos sistemas do Quadro 35, a Fachada F4 trata-se de um sistema contínuo de fachada, intitulado como fachada cortina pelo seu respectivo *Avis Technique*. No sistema Aquapanel, apenas o revestimento exterior é contínuo, sua estrutura é situada entre lajes e, portanto, não contínua. No sistema Kingspan não há referência no título quanto ao revestimento ser contínuo ou não.

As limitações de utilização dos sistemas estão sintetizadas no Quadro 36, pelo qual se verifica que, nos sistemas F4 e Kingspan, a principal limitação de uso diz respeito à altura do edifício, que é caracterizada pela distância da laje mais alta até o solo. As limitações são consequência da regulamentação de incêndio dos respectivos países. O sistema Aquapanel WM311C e WM411C, bem como a Diretriz SINAT nº 009, não impõem limites de altura às edificações.

Para a facilidade de compreensão de cada sistema, ilustrações com as diferentes camadas e seus componentes estão apresentadas no Quadro 37, no Quadro 38, no Quadro 39 e no Quadro 40.

Quadro 36 – Limitações de utilização dos sistemas analisados

	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BBA e BRE	Diretriz SINAT nº 009
Domínio de aplicação	Edificações de habitação individual ou coletiva, edifícios de escritório, novos ou existentes	Sem referência aos possíveis usos dos edifícios	Sem referência aos possíveis usos dos edifícios	Edificações habitacionais
Limite da distância do piso da laje mais alta até o solo	28 m para edifícios habitacionais	Sem referência	18 m de altura do solo	Sem referência
	8 m para edifícios de escritório ou industriais			
Limite de altura do pavimento	Máximo 3,5 m	Sem referência	Sem referência	Sem referência
Tipo de estrutura que recebe o sistema	Estrutura primária de pilares sob lajes ou pilares sob vigas com laje em concreto (sem definição sobre material da estrutura primária: concreto ou metálica ³⁰)	Estruturas de concreto e estruturas metálicas	Estruturas de concreto e estruturas metálicas	Sem referência
Outras limitações	Em locais de clima de montanha, a altitude máxima permitida é de 900 metros	Sem referência	Sem referência	Os sistemas objeto dessa diretriz não se aplicam a guarda-corpos. Outras restrições devem ser registradas em DATec

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011) e BRASIL (2012).

³⁰ Nota da autora: Os dois sistemas estruturais, aço e concreto são possíveis: um exemplo, apresentado no Apêndice A, contempla o sistema F4 aplicado em edificação com estrutura metálica, e no *website* da fachada F4 há exemplos de aplicação em estruturas de concreto.

Quadro 37 – Camadas e Componentes da Fachada F4

Fonte: Placo Saint-Gobain e Isover Saint-Gobain [entre 2012 e 2013]

Quadro 38 – Componentes do Sistema Kingspan – possibilidades de camadas e de revestimentos

Fonte: Kingspan insulated panels (2013)

Quadro 39 – Camadas e componentes do Sistema Aquapanel WM311C / WM411C

<p>WM411C</p>	<p>WM311C</p>
<p>WM311C</p>	<p>Legenda</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Revestimento exterior 2 Argamassa base 3 Tratamento de juntas 4 Malha de reforço 5 Placa cimentícia Aquapanel 6 Membrana de estanqueidade 7 Guia externa 8 Perfil de aço externo 9 Isolante 10 Chapa de gesso 11 Câmara de ar não ventilada 20 mm 12 Guia interna 13 Perfil de aço interno 14 Chapa de gesso

Fonte: ITec (2014) e Knauf (2013)

Quadro 40 – Possíveis formações das camadas estabelecidas pela Diretriz SINAT nº 009

Fechamento interno com uma chapa de gesso

Fechamento interno com duas chapas de gesso

Dupla camada de perfis metálicos e chapa de gesso entre essas camadas e câmara de ar maior ou igual a 20mm

Dupla camada de perfis metálicos sem chapas de gesso entre essas camadas e câmara de ar maior ou igual a 20mm

Fonte: BRASIL (2012)

Observa-se no Quadro 39 e no Quadro 40 grande semelhança entre o sistema Aquapanel WM311C / WM411C da Knauf e as formações propostas pela Diretriz SINAT nº 009. Cabe a reflexão se a Diretriz poderia ter sido mais genérica, oferecendo parâmetros que contemplassem diferentes possibilidades de composição do sistema.

Como evidenciado nas ilustrações, os sistemas são compostos por diferentes componentes, que exercem funções específicas. Considerando-se tais funções, os componentes são aqui agrupados em cinco diferentes camadas caracterizadas na sequência: externa; impermeável; de estruturação; de isolamento; e interna.

5.3.1 Camada externa e camada impermeável

Em relação a camada externa, a Fachada F4 utiliza revestimento não aderido que deve apresentar uma avaliação técnica específica, isto é, no termo francês, um *Avis Technique* próprio. Segundo o CSTB (2012a), para cada obra, a Saint-Gobain Isover consulta o fabricante do revestimento não aderido e obtém seu acordo.

A escolha do tipo de revestimento não aderido se dá em função do nível de exposição da vedação vertical à chuva. A regulamentação francesa classifica as fachadas em expostas ou protegidas, segundo o grau de exposição aos ventos dominantes carregados de chuva. Essa classificação também considera a altura do edifício e a sua localização em relação a orla marítima (CSTB, 1983)

O sistema Kingspan foi previsto para utilização com gama variada de revestimentos, que não fazem parte do escopo do certificado BRE. No entanto, foi realizada avaliação de desempenho do sistema empregando-se alguns revestimentos, tais como: revestimento de alvenaria de tijolos, revestimento de argamassa aderido diretamente nas chapas de isolamento, revestimento não aderido ventilado, revestimento em chapas de madeira ou em pedra (BRE, 2011).

O Quadro 41 e o Quadro 42 descrevem, respectivamente, a camada externa e a camada impermeável.

Quadro 41 – Descrição da camada externa e de seus componentes dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Obrigatoriedade de utilização de revestimentos não aderidos com estrutura própria	Placa Aquapanel espessura 12,5 mm com elementos próprios de fixação (parafusos galvanizados)	Podem ser utilizados diversos sistemas de revestimentos, como tijolos, argamassa, não aderido, entre outros	Placa cimentícia Esp. Min. 12 mm coberta com argamassa
O revestimento não aderido deve possuir um <i>Avis Technique</i> próprio ou um Documento Técnico de Aplicação	Tratamento das juntas com argamassa, tela de reforço de fibra de vidro e dois tipos de fitas (para acabamento pétreo ou liso)	Alguns tipos de revestimentos são considerados na avaliação de desempenho	Tratamento das juntas com argamassa a base de cimento reforçado com polímero. Aplicação de primeira camada com 5mm, tela e segunda camada com 2mm
Densidade de massa máxima do revestimento não aderido é de 53 kg/m ²	Os acabamentos de argamassa podem ser: Argamassa acrílica, chamada de tipo pétreo – por apresentar textura (entre 6 e 9 mm) Ou Tipo liso (entre 5 e 8 mm) de base acrílica	Revestimentos utilizados sem o uso de uma camada de ar ventilada não devem ser usados, segundo os critérios da NHBC ³¹	Acabamento final que pode ser sistema de pintura, textura, revestimento cerâmico, pétreo, entre outros (acabamento final não pertence ao escopo da diretriz)
Utilização de lâmina de ar mínima de 20 mm			
Altura máxima da chapa de revestimento 2200 mm, com limite máximo de deformação longitudinal de 6,75 mm			
Larguras dos apoios das chapas podem ser de 35 ou 40 mm			
Perfis para fixação do revestimento não aderido Aço estrutural S220GD LE min.: 220 MPa Revestimento do aço Z450 CEN EN 10346 (2015) Seção “Z” ou “Omega”			

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011); BRASIL (2012).

³¹ *National Housing Building Council* (NHBC) é uma entidade inglesa para o estabelecimento de normas técnicas junto à indústria da construção habitacional visando à proteção ao consumidor com a adoção de garantias e seguros de residências novas.

Quadro 42 – Descrição da camada impermeável e das possibilidades de diferentes membranas de estanqueidade ao vapor

Itens	Fachada F4				WM311C e WM411C		Kingspan	Diretriz SINAT nº 009
Utilização	Obrigatoriedade de uso de membrana externa e interna				Opcional externa		Sem referência	Sem referência Informação da membrana deve constar do projeto e DATec específico
Localização	Externa (3 alternativas)			Interna	Externa (2 alternativas)			
Produto	1. Tyvek Toiture 60 ou VPX	2. Intégra	3. Isover ou Tyvek UV	Vario KM duplex UV	1. Tyvek StuccoWrap	2. Tyvek HouseWrap		
Composição	Nãotecido polietileno colado sobre nãotecido polipropileno	3 camadas laminadas polipropileno	Nãotecido polietileno colado sobre nãotecido polipropileno	Filme poliamida colado sobre véu nãotecido polipropileno	Sem referência	Sem referência		
Gramatura	130 g/m²	165 g/m²	195 g/m²	80 g/m²	69 g/m²	60 g/m²		
Resistência a transmissão vapor de água (Sd) ³²	0,03m	0,05m	0,04m	0,2 m a 5 m	≤0,02	≤0,025		
Resist. penetração de água CEN EN 1928 (2000)	W1	W1	W1	-	W1	W1		
Tração (N/50mm) ³³	L 345 / T 290	L 330/ T 205	L 410/ T 340	L 125/ T 115	L 345/ T 300	L 310/ T 310		
Alongamento (%)	L 14/ T 20	L 45/ T 50	L 14/ T 19	L 60/ T 55	L 21/ T 19	L 17/ T 20		
Resistência ao rasgo (N)	L 180/ T 185	L 275/ T 373	L 300/ T 340	L 50/ T 50	L 50/ T 50	L 50/ T 50		
Reação ao fogo CEN EN 13501-1 (2007) ³⁴	E			D	E			

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRASIL (2012)

³² Transmissão do vapor de água: $S_d = \mu \cdot d$ (μ = coeficiente de difusão do vapor de água) (d =espessura da membrana), medidos segundo a norma CEN EN 12572 (2001).

³³ L= Tensão longitudinal / T = Tensão transversal.

³⁴ Classificação E - Produtos capazes de resistir por um curto período de tempo ao ataque de uma pequena chama sem que ocorra propagação substancial da chama. Classificação D - Atendem a classe E, mas devem resistir por um período de tempo superior ao ataque de uma pequena chama e adicionalmente são capazes de suportar ataque térmico com queima suficientemente tardia e limitada liberação de calor.

A Fachada F4 utiliza dois tipos de membrana. A mais externa garante a estanqueidade do sistema e está posicionada junto à lâmina de ar posterior ao revestimento não aderido. A segunda membrana, aplicada junto à face posterior da camada de revestimento interno, colabora na estanqueidade ao ar, limitando o risco da entrada de parasitas ou de resíduos provenientes das lâminas de ar situadas no interior do isolante.

As propriedades higrotérmicas da membrana variam em função da temperatura e da taxa de umidade. O valor S_d varia entre 0,2 m (temperatura elevada e alta umidade relativa) a 5 m (temperatura baixa e média umidade relativa), permitindo a passagem do vapor de água no verão e atuando como membrana de estanqueidade no inverno, para limitar o risco de condensação na camada de isolamento (CSTB, 2011).

Segundo a *Agence Qualité Construction* (2015), as infiltrações de ar parasitas podem impactar a qualidade do ar no interior da edificação gerando desconforto térmico, acústico e diminuindo o desempenho térmico. As infiltrações de ar parasita têm impacto muito maior nos países de clima frio, onde a ventilação é reduzida nos períodos de inverno. O ar presente nas camadas de isolamento pode ser aspirado para o interior da edificação pelos dutos das instalações elétricas, pela descontinuidade das juntas, entre outros. Esse ar é carregado de partículas de fibras de isolantes, de compostos orgânicos voláteis (COV) e de possíveis fungos e mofo presentes na camada.

A Diretriz SINAT nº 009 recomenda a utilização da barreira impermeável, definida como “não-tecido impermeável à água e permeável ao vapor de água”. No entanto, não estabelece quais os requisitos de gramatura, passagem de vapor e absorção de água definidos para o produto, e recomenda que estes sejam especificados no DATec do sistema. A não especificação destes requisitos pode ser considerada uma lacuna em relação aos objetivos da própria Diretriz SINAT nº 009 que é o de fornecer os parâmetros para a especificação. No caso das membranas, as especificações seriam ainda mais bem-vindas considerando-se que não há normas técnicas brasileiras para esse tipo de produto.

O sistema Kingspan não dá referências das características da membrana de estanqueidade, apenas faz referência aos riscos da condensação intersticial, os quais

foram avaliados pelo BRE para grupos de fachada selecionados, de acordo com a CEN EN ISO 13788 (2002).

5.3.2 Estruturação da vedação vertical: perfis de aço

Pode-se estruturar os painéis da fachada de diferentes modos. Nos sistemas analisados, a posição dos perfis que sustentam os painéis pode variar: exterior às lajes ou posicionados entre lajes. Quando exteriores são fixados na espessura da laje, como é o caso da Fachada F4. Quando entre lajes, são empregados perfis guia como é o caso do sistema Aquapanel e também adotado na Diretriz SINAT nº 009. O sistema Kingspan pode ser constituído tanto por um quanto por outro tipo de estrutura: exterior ou interior às lajes.

As características dos perfis montantes e guia estão apresentadas no Quadro 43.

Quadro 43 – Caracterização dos perfis metálicos montantes e perfis guia nos sistemas analisados

Perfil	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan	Diretriz SINAT nº 009
Tipo do Perfil montante	“U” simples formado a frio	“U” enrijecido formado a frio	“U” enrijecido formado a frio	Não especifica
Seção do Perfil Montante				Não especifica
Dimensões do Perfil Montante (mm)	120 x 60 mm	50 x 50 mm e 75 x 50 mm	35/50/60/70/100 mm (A) 20, 35, 50, 60, 70, 100 mm (B)	Não especifica
Espessura	2,5 a 4 mm	1 mm ou 2 mm ³⁵	1,2 a 2 mm	Mínimo 0,8 mm
Grau do aço	S350GD ou S390GD ³⁶ (aço estrutural) CEN EN 10346 (2015)	DX51D CEN EN 10346 (2015) Limite de ruptura: > 270 < 500MPa	S390G (aço estrutural) CEN EN 10346 (2015)	Não especifica
Limite de escoamento	S350GD- 350 MPa S390GD- 390MPa	sem garantia de propriedade mecânica ³⁷	390MPa	Mínimo 230 MPa
Resistência a tração	S350GD- 420 MPa S390GD- 460 MPa		460 MPa	Não especifica
Alongamento	16%	22%	16%	Não especifica
Revestimento do aço	Mínimo Z275 CEN EN 10346 (2015)	Z275 e Z450 ³⁸ CEN EN 10346 (2015)	Z275 CEN EN 10346 (2015)	Mínimo Z275 ABNT NBR 7008 (2012)

Continua

³⁵ Espessura do montante depende das ações mecânicas às quais a estrutura está submetida.

³⁶ A norma CEN EN 10346 (2015) passou a integrar o grau de aço S390GD a partir da revisão de 2015. Como o documento de avaliação é anterior a essa data, há a solicitação de controle técnico de terceira parte e existência de documento de avaliação técnica europeia para esse grau (ETA-13/0257).

³⁷ O aço de grau DX51D não possui garantia de norma para o limite de escoamento e limite de ruptura, razão pela qual a autora adota o termo “sem garantia de propriedade mecânica”. O valor especificado no documento DAU para o limite de escoamento é de 140 MPa, que é o limite mínimo aceito pela CEN EN 1993. Part 1-3.

³⁸ O documento DAU indica os dois revestimentos, Z275 e Z450, mas não especifica a aplicação de cada um deles. Segundo o ITEC (2013), componentes de proteção a corrosão Z450 podem ser utilizados em condições interiores de umidade permanente e em exterior em condições de exposição com categoria com alta agressividade atmosférica (incluindo ambientes industriais e marinhos, classificados como C4 pela norma ISO 9223).

Conclusão

Perfil	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan	Diretriz SINAT nº 009
Deslocamento horizontal máximo	L/300 (estado limite de serviço)	L/250	L/360	h/350
Distância máxima entre eixos dos montantes	600 mm	600 mm (modulação padrão 400 ou 600 mm)	Não especifica ³⁹	Projeto deve determinar vãos máximos
Limite de comprimento do perfil	Limitado a altura máxima do andar: 3,5 m	Não especifica	Não especifica	Projeto deve determinar altura máxima
Momento de inércia	104,24 cm ⁴ (esp. 2,5mm) a 182,75 cm ⁴ (esp. 4mm)	Não especifica	Não especifica	Não especifica
Tensões admissíveis	Vãos de 2,5 a 3,5m 700 a 1000 Pa	Não especifica	Não especifica	Não especifica
Perfil guia	Não se aplica	“U “ 50 x 40 mm e 75 x 40 mm Espessura. 0,7 mm	“U-track“ A (largura): 74/104/129/154/ 204/254/304 mm B (alt.): 55/67 mm	Não especifica
Seção do Perfil Guia				Não especifica
Guia: Grau e revestimento	Não se aplica	Mesmas características do perfil montante		
Fixação dos perfis montantes na espessura da laje	Elementos “T” 233 x 122mm Esp. 5mm S235 Aço estrutural ⁴⁰ CEN EN10025 (2004)	Não se aplica, pois prevê fixação dos perfis entre as lajes	Elementos “L” 135/105 x 95mm Esp. 6mm ou 80/80 x 80mm Esp. 3mm	Não se aplica, pois prevê fixação dos perfis entre as lajes

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BBA (2014); BRASIL (2012).

³⁹ O sistema Kingspan não especifica a distância entre eixos dos montantes, mas as referências analisadas pela autora mostram que em todos os ensaios elaborados para acústica, resistência a fogo e valores de transmitância térmica foram considerados espaçamento de 600 mm entre eixos de montantes.

⁴⁰ Nota da autora: embora haja recomendação para revestimento Z275, o grau S235 se refere a aço estrutural laminado a quente e não aço galvanizado.

A Diretriz SINAT nº 009 não especifica o tipo de perfil montante e de perfil guia utilizados no sistema, nem seções, dimensões mínimas, limite de comprimento do perfil, nem mesmo distâncias entre eixos dos perfis. A Diretriz SINAT nº 009 recomenda resistência mínima de escoamento do aço de 230 MPa, porém não faz exigência de utilização de aço estrutural, isto é, aço com garantia de propriedades mecânicas. Portanto, não exclui que possam ser utilizados aços de qualidade comercial, ou seja, sem garantias de propriedades mecânicas. A resistência mínima de aços comerciais pode não ser a mesma ao longo da bobina e as chapas e perfis resultantes podem apresentar valores de resistência menores do que 230 MPa.

Como a fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF está sujeita a esforços mecânicos de diferentes naturezas (vento, deformação da estrutura, dentre outros) o perfil utilizado pode ser considerado como um elemento estrutural e, como tal, deve exigir o emprego de aço de qualidade estrutural. A utilização de aço de qualidade estrutural é obrigatória para aplicações estruturais (ABNT NBR 15253, 2014; ABNT NBR 14762, 2010; ABNT NBR 8800, 2008).

Em relação ao requisito de resistência mínima de escoamento, tem-se como referência a norma ABNT NBR 7008 (2012) - Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente - Parte 3: Aços estruturais. Esta norma estabelece os requisitos específicos para aços zincados destinados à fabricação de elementos estruturais, bem como compreende vários graus conforme o nível de resistência. A ABNT NBR 7008 (2012) classifica os aços conforme sua aplicação e define as qualidades do aço ou seu grau, de acordo com o uso: geral - denominado ZC; estrutural - denominado ZAR; e estampagem - denominado ZEC.

A Diretriz SINAT nº 009 não faz referência à ABNT NBR 15253 (2014), que estabelece os requisitos gerais para perfis formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações. A primeira versão dessa norma data de 2005 e a segunda versão é de 2014. Essa norma estabelece as referências de dimensões e seções dos perfis e também a obrigatoriedade de uso de aço estrutural para os painéis estruturais. Além disso, desde a sua versão de 2005, permite o uso de revestimentos zinco puro e liga alumínio-zinco conforme ABNT NBR 15578 (2008b), enquanto que a Diretriz SINAT nº 009 possibilita o uso apenas do revestimento metálico zinco puro, definido pela ABNT NBR 7008 (2012).

A Diretriz SINAT nº 009 estabelece como referência para o requisito de resistência mínima do aço a ABNT NBR 6673 (1981), que estabelece o método para ensaios de tração de produtos metálicos planos de qualquer espessura, mas especifica a resistência do aço, de acordo com seus graus. Esta especificação é estabelecida pela ABNT NBR 7008 (2012). Portanto esta norma deveria estar referenciada na caracterização da resistência de escoamento dos perfis.

Observa-se grandes diferenças de espessuras dos perfis e suas resistências mecânicas nos sistemas analisados. Comparando-se a resistência mecânica da Fachada F4 (mínimo de 350 MPa) e da proposta pela Diretriz SINAT nº 009 (mínima de 230 MPa), tem-se que a maior é 1,5 vez a menor. Em relação à espessura, tomando-se como exemplo os sistemas que requer maior espessura de chapa, a Fachada F4 (espessura min = 2,5 a 4 mm), e o que requer a menor espessura, a Diretriz SINAT nº 009 (mínimo de 0,8 mm), tem-se uma diferença da ordem de 3 a 5 vezes.

Tanto o sistema F4 quanto o sistema Kingspan especificam aços de resistência mecânica da ordem de 350 a 390 MPa de limite de escoamento, enquanto que a fachada Aquapanel WM331C/ WM 411C assim como a Diretriz SINAT nº 009 têm exigências menores de resistência mecânica. Apesar de menos exigente em relação à resistência mecânica dos perfis, e também em relação à espessura a Diretriz SINAT nº 009 e o sistema Aquapanel não impõem limites de altura às edificações, enquanto o sistema F4 e Kingspan têm limitações de altura (Quadro 36).

5.3.3 Camada de isolamento

No Quadro 44 e no Quadro 45 são apresentadas as especificações para a primeira e segunda camada de isolamento. A primeira é a que está mais externa ao sistema e está presente em todos os sistemas analisados. A segunda é posicionada mais internamente ao sistema, sendo opcional ou mesmo não aparecendo em alguns dos sistemas analisados.

Quadro 44 – Descrição da 1ª camada de isolamento dos sistemas estudados

Item	Fachada F4	Aquapanel WM311C WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Tipo de isolante	Lã de vidro com a superfície em véu de fibra de vidro	Lã mineral	Fenólicos rígidos ou poliuretano rígido	Componentes à base de fibras minerais
Espessura	120 mm	40 a 200 mm	35 a 110 mm	Cf especificação do fabricante
Massa específica aparente	Sem referência	30 -100 (Kg/m³)	Sem referência	Cf especificação do fabricante
Condutividade Térmica (W/m.K)	0,032 (Isofaçade 32) 0,035 (Isofaçade 35)	0,040	Sem referência	≤ 0,06 (W/m °C)
Resistência Térmica (m².K/W)	3,40 (Isofaçade 35) 3,75 (Isofaçade 32)	Sem referência	Sem referência	≥ 0,5
Calor específico (J/Kg.K)	Sem referência	1030	Sem referência	Sem referência
Coeficiente de difusão ao vapor de água (μ)	Sem referência	1	Sem referência	Sem referência
Absorção de água	Sem referência	Imersão parcial Curto prazo < 1,0 Imersão total Longo prazo < 5,0	Sem referência	Sem referência
Resistência fluxo de ar (kPa.s/m²)	Sem referência	≥ 5	Sem referência	Sem referência
Localização	Vazio formado pela largura dos montantes	Vazio formado pela largura dos montantes	Localizado externamente aos perfis montantes	Vazio formado pela largura dos montantes
Outras informações	Isolante mantido por garras de fixação em aço galvanizado	Pode conter lâmina de ar não ventilada esp. ≥ 20 mm ou isolante adicional de esp. ≥ 40 mm	Sem referência	Pode conter lâmina de ar não ventilada esp. ≥ 20 mm

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011); BRASIL (2012).

Quadro 45 – Descrição da 2ª camada de isolamento dos sistemas analisados

Item	Fachada F4	Aquapanel WM311C WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Utilização de 2ª camada	Obrigatória	Obrigatória	Não se aplica	Opcional
Tipo de isolante	Lã de vidro	Lã mineral		Componentes a base de fibras minerais
Espessura	60, 80 ou 100 mm	De 40 a 200 mm		Cf especificação do fabricante
Condutividade Térmica	0,032 (W/m.K)	0,040 (W/m.K)		≤ 0,06 (W/m °C)
Resistência Térmica	1,85m².K/W 60mm 2,50m².K/W 80mm 3,10m².K/W 100mm	Sem referência		≥ 0,5 m².K/W

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011); BRASIL (2012).

Deve-se considerar que os sistemas europeus analisados foram concebidos para atender regulamentações térmicas de países cujo clima e necessidades em termos energéticos são diversos em relação à realidade brasileira, dado o clima de inverno rigoroso e a necessidade de economia de energia para o aquecimento durante este período. Em especial, a Fachada F4 foi desenvolvida para responder às exigências em termos da regulamentação térmica francesa⁴¹.

5.3.4 Camada interna

No Quadro 46 são apresentadas as características da camada interior que é composta por chapa(s) de gesso acartonado.

A tecnologia do gesso acartonado é empregada nos países europeus há muitos anos, seja em divisórias internas ou como revestimentos de vedações de alvenaria ou

⁴¹ A regulamentação térmica da França é de caráter evolutivo e prevê para o ano de 2020 a obrigatoriedade, para as construções novas, de edifícios de energia positiva, isto é, que produzem mais energia do que consomem. A partir de 2012 a regulamentação térmica francesa, RT 2012 estabelece o consumo de 50 kWh/m²/ano para a habitação unifamiliar e conta com a rotulagem BBC - *Bâtiments Basse Consommation* para atender a esse objetivo. Para o atendimento a regulamentação de 2020, formulou-se a rotulagem BEPOS - *Bâtiment à Energie Positive* com objetivo de edifícios com balanço energético positivo.

concreto, a fim de aumentar seu desempenho térmico e acústico. Os três sistemas europeus analisados não estabelecem requisitos especiais em razão das chapas de gesso acartonado serem empregadas em vedações de fachada.

A Fachada F4 faz referência à norma francesa AFNOR NF DTU 25.41 (2008) que estabelece as condições para obras em chapas de gesso acartonado. Tal norma se baseia no Documento Técnico Unificado (DTU), que constitui um caderno de cláusulas técnicas aplicáveis contratualmente ao mercado da construção. O domínio de aplicação do DTU diz respeito a vedações verticais internas e não se aplica ao uso como revestimento de vedações de alvenaria ou concreto, para as quais deve haver a existência de um *Avis Technique* próprio.

Quanto ao Brasil, a tecnologia do *drywall* está normalizada quanto aos seus componentes e processos. A Diretriz SINAT nº 009 não estabelece requisitos especiais para a utilização das chapas de gesso acartonado em vedações verticais externas aplicando as normas já estabelecidas para o *drywall* conforme a ABNT NBR 14715- 1 (2010).

Quadro 46 – Descrição da camada interna dos sistemas analisados

Item	Fachada F4	Aquapanel WM311C WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Espessura da chapa de gesso	12,5 mm	12,5 mm ou 15 mm ou 18 mm	Sem referência	12,5 mm
Tipo de chapa de gesso	BA13	Standard PYL A		ABNT NBR14715 -1 (2010)
Quantidade de chapas de gesso	2	1 ou 2	Detalhes construtivos mostram uso de 2 placas	1 ou 2
Recomendações/ Características	Utilização de elementos de fixação e tratamento de juntas Ao redor de aberturas é necessário chapa de gesso com resistência ao fogo	Utilização de elementos de fixação e tratamento de juntas Opcional lâmina de alumínio PYL A + BV (12,5 ou 15 mm) Sistema WM411C emprega uma chapa de gesso no lado interno e outra entre as duas camadas de isolantes No sistema WM311C há duas chapas de gesso no lado interno	Sem referência	Utilização de elementos de fixação e tratamento de juntas Duas opções: A primeira emprega uma chapa de gesso no lado interno e a outra chapa de gesso entre as duas camadas de isolantes; e a segunda, emprega duas chapas de gesso no lado interno
Perfis para fixação das chapas de gesso da camada interna	EN14195 (2014) EN10346 (2015) outros revestimentos do aço são aceitos desde que iguais ou superiores (ex. Aluzinc)	Perfis montantes e guia (48, 70 ou 90 mm) aço de qualidade comercial (DX 51D) Revestimento Z140 Esp 0,6 mm	Sem referência	Não se aplica, pois prevê que as chapas de gesso sejam fixadas diretamente no perfil montante

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011); BRASIL (2012).

5.3.5 Especificações para esquadrias

O Quadro 47 apresenta as especificações para esquadrias de portas e janelas.

A Diretriz SINAT recomenda que os DATecs originados devam indicar formas de tratamento das interfaces com as esquadrias e os dispositivos adequados para a execução da interface e reforços em áreas específicas. Quanto às premissas de projeto, devem ser estabelecidos os detalhes construtivos para casos de parapeito.

Quadro 47 – Especificações para esquadrias dos sistemas analisados

Especificação	Fachada F4	Aquapanel	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Materiais das janelas	Madeira, PVC ou alumínio	Sem referência	Sem referência	Sem referência
Dimensões e massa máximas de janelas	1,80m (largura) x 1,40m (altura) Massa $\leq 53 \text{ Kg/m}^2$	Sem referência	Sem referência	Sem referência
Vergas	Vergas formadas pelo mesmo tipo de perfil do perfil montante	Desenhos de detalhes construtivos	Flecha máxima da verga L/360 Traz referências de desenhos de detalhes construtivos	Recomenda atenção com detalhes de reforços, vergas e contravergas na construção de vãos e portas
Parapeitos de janelas	Observar as normas sobre parapeitos e proteção em fachadas: AFNOR NF P 01-012 (1988) AFNOR NF P 01-013 (1988) AFNOR NF P 08-302 (1990)	Sem referência	Traz referências de desenhos de detalhes construtivos	Estabelecer detalhes construtivos para parapeitos de janelas Resistir a impactos de corpo mole e duro e a esforços horizontais (aplicação de carga de uso de 400N/m) e verticais (aplicação de carga de segurança de 400N/m)
Janelas e Portas Recomendações	Especifica os vários tipos de aberturas possíveis Soleira com inclinação mínima de 3%	Sem referência	Aberturas e conexões na ossatura metálica são incorporadas nas fases de concepção e de manufatura. Aberturas são incluídas nos desenhos de montagem e no detalhamento para que nenhum corte de componentes em aço seja necessário no canteiro de obras. Janelas não estão contempladas no certificado; no entanto a interface do sistema com janelas de madeira, PVC e alumínio foram avaliadas para estanqueidade e hidrotérmica e foram consideradas satisfatórias	Documentos devem informar tratamento das interfaces com as portas Para portas: Resistir a 10 operações de fechamento brusco sem apresentar falhas e para impactos de corpo mole até 240J no centro da folha não ocorrer deslocamento do marco

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BBA (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

5.4 NORMAS E CERTIFICAÇÕES DOS COMPONENTES

Os sistemas apresentam os requisitos considerados para especificação de seus componentes e normas ou certificações que balizam essa especificação, as quais estão apresentadas no Quadro 48.

O sistema Kingspan, porém, não apresenta os requisitos de seus componentes, exceto para perfis metálicos, que possuem a marcação CE, conforme a declaração de desempenho nº CPR-2013.SFS.001.

O sistema Kingspan apresenta requisitos para placas cimentícias de fechamento que podem ter função complementar no contraventamento, de acordo com a norma CEN EN 634-2 (2007), grau T2, de espessura de 10 a 12 mm, ou em OSB/ 3, de acordo com a CEN EN 300 (2006) e com espessura de 9 mm.

Por não apresentar requisitos de componente, o sistema Kingspan não está contemplado no Quadro 48.

Quadro 48 – Normas e certificações dos componentes dos sistemas analisados

Componentes	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Diretriz SINAT nº 009
Argamassa de revestimento da placa cimentícia	Não se aplica	Marcação CE CEN EN 998-1 (2010)	ABNT NBR 13281 (2005)
Placa cimentícia	Não se aplica	Marcação CE cf ETA 07/0173 CEN EN 12467 (2012) Classificação fogo B-s1, d0 cf DB SI2 (CTE)	Classe A ABNT NBR 15498 (2014)
Parafusos fixação placa cimentícia	Não se aplica	Não há norma do componente, mas do material	ABNT NBR 10041 (2010) Resistência 240/480/720 horas (função do ambiente)
Argamassa para tratamento de juntas da placa cimentícia	Não se aplica	Não há norma de componente, mas várias normas de ensaios de propriedades	Sem referência
Telas para tratamento de juntas dissimuladas da placa cimentícia	Não se aplica	Não há norma de componente	ABNT NBR 15758 (2008)
Argamassa de acabamento tipo pétreo	Não se aplica	Não há norma de componente, mas várias normas de ensaios de propriedades	Não é objeto da diretriz
Pintura lisa GRC	Não se aplica	EN1062-3 (2008)	Não é objeto da diretriz
Revestimento não aderido	Avaliação Técnica ou Doc. Téc. Aplicação	Não se aplica	Não se aplica
Perfis metálicos (para fixação do revestimento não aderido)	CEN EN 10346 (2015)	Não se aplica	Não se aplica
Membrana de estanqueidade	Marcação CE cf CEN EN13859-1 (2014) Segundo Cahier CSTB 1833 para os tipos XIV e XIII (CSTB, 1983)	Marcação CE cf CEN EN13859-2 (2014) CEN EN 1848-2 (2001)	Não há norma de componente

Continua

Continuação

Componentes	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Diretriz SINAT nº 009
Perfis montantes	CEN EN 10346 (2015) Para o aço S390 – marcação CE e ETA 13/0257	CEN EN 10346 (2015)	ABNT NBR 7008 (2012)
Parafusos de fixação dos perfis montantes	CEN EN10025 (2004)	Marcação CE CEN EN14566 (2008) Rebites CEN EN- ISO15981	ABNT NBR 10041(2010)
Perfis metálicos para fixação das chapas de gesso da camada int.	Marcação CE CEN EN 14195 (2014) AFNOR NF DTU 25.41(2008)	Marcação CE CEN EN14195 (2014)	ABNT NBR 7008 (2012)
Isolante (1º camada)	Marcação CE CEN EN13162 (2012) Certificado ACERMI Certificados WS e Euroclasse A1	Marcação CE CEN EN13162 (2012) Certificados WS e Euroclasse A1	ABNT NBR 11356 (1989)
Isolante (2º camada)	Marcação CE CEN EN 13162 Certificado ACERMI (Isolante diverso do adotado na 1º camada)	Marcação CE CEN EN13162 (Mesmo isolante se for utilizada duas camadas)	(Mesmo tipo de isolante se for utilizada duas camadas)
Membrana hidro reguladora	Avis Technique 20/10- 188 (CSTB, 2011b) e 20+9/10-184 (CSTB, 2011a) Certificação CE cf CEN EN 13984 (2013)	Não contemplada pelo sistema	Não contemplada pelo sistema
Chapas de gesso	CEN EN520 (2004) AFNOR NF DTU 25.41(2008)	Marcação CE CEN EN520 (2004) CEN EN14190 (2014) placas corta fogo	ABNT NBR 14715-1 (2010)
Argamassa e fitas para tratamento de juntas da face interna	certificado <i>CSTBat</i> AFNOR NF DTU 25.41(2008) CEN EN 13963 (2014)	Marcação CE CEN EN 13963 (2014)	ABNT NBR 15758 (2008)
Perfis de PVC para juntas de dilatação e para acabamentos	Não se aplica	Não se aplica	Não há norma do componente, mas de ensaios de suas propriedades
Parafusos de fixação das chapas de gesso	Sem referência	Marcação CE CEN EN14566 (2008)	ABNT NBR 10041(2010) Resistência 96 ou 240 horas (função do ambiente)

Continua

Conclusão

Componentes	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Diretriz SINAT nº 009
Janelas	Certificado Acotherm AFNOR NF P 20-302 (2008) e AFNOR NF P 20-501 (2008) e classificação A do FD P20-301 Prevenção quedas AFNOR NF P 01-012 (1988) e AFNOR NF P 01-013 (1988)	Sem referência	Sem referência
Elemento de proteção ao fogo ao redor das janelas	CEN EN520 (2004) edifícios de 3º família (legislação incêndio)	Sem referência	Sem referência
Elemento corta lâmina de ar	Cahier 1833 (CSTB, 1983)	Não se aplica	Não se aplica
Elemento de apoio em janelas de madeira	CEN EN335-2 (2006)	Sem referência	Sem referência
Nota: Os sistemas Aquapanel W311 e W411 possuem marcação CE conforme Documento de Idoneidade Técnico Europeu - ETA 13/0312 (ITEC, 2013)			

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRASIL (2012).

5.5 REQUISITOS DE DESEMPENHO

Os requisitos e critérios a seguir descritos abrangem os principais itens de desempenho comuns aos quatro sistemas.

Em relação às vedações verticais externas, os principais requisitos são desempenho: (1) à Segurança (desempenho estrutural, de segurança contra o fogo e de segurança no uso e operação); (2) à Habitabilidade (desempenho térmico, desempenho acústico e estanqueidade à água e ar); (3) à Sustentabilidade (durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental).

Como delimitação de aplicação, a análise do desempenho se refere exclusivamente às vedações externas sem função estrutural e exclui as vedações internas.

Dos requisitos acima citados, não são analisados os relacionados à segurança no uso e operação e ao impacto ambiental dos quatro sistemas.

5.5.1 Desempenho estrutural

Os requisitos de desempenho estrutural estão apresentados no Quadro 49 e apresentam as informações das ações devidas ao vento, a sismos, a impactos de corpo mole e a impactos de corpo duro, entre ações externas.

Quadro 49 - Desempenho estrutural dos sistemas analisados

Item	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BBA e BRE	Diretriz SINAT nº 009
Concepção	AFNOR NF DTU 33.1 (2008) Fachadas Cortina	DB-SE do CTE (2007) Documento Básico de Segurança Estrutural	CEN EN 1991-1-7 (2006) (Ações acidentais) CEN EN 1993-1-3 (2006) (Concepção estruturas em aço)	ABNT NBR 15575-1-4 (2013)
Ações devidas ao vento	CEN EN 1991-1-4 (2005) 1: Ações em estruturas Parte 1-4: Ações Gerais – Ações do vento	Resistência ao vento < 1800Pa (resultado máx. obtido em ensaios) Para o cálculo das ações de vento, levar em conta que os extremos das fachadas ou cantos salientes expostos geram esforços duas vezes superiores ao do centro do pano. Coeficiente mínimo de majoração de ações (peso próprio e vento) $\gamma_Q = 1,50$	CEN EN 1991-1-4 (2005) CEN EN 13116 (2001) (Paredes Cortina) Resistência 2400Pa causando deflexões menores de 1/360 do vão	ABNT NBR15575-4 (2013) ABNT NBR 6123 (1988) Limitação de deslocamentos horizontais a: $d_h \leq h/350$ $d_{hr} \leq h/175$ d_h - deslocamento horizontal instantâneo d_{hr} - deslocamento horizontal residual
Ações devidas a sismo	Classificação sísmica conforme categorias de importância dos edifícios. Para zona 1 – categoria I a IV Zona 2 – categoria I e II Decretos (França, 2010)	As ações devidas a sismos se ponderam com coeficiente mínimo $\gamma_s = 1,30$	Sem referência	Sem referência

Continua

Continuação

Item	Fachada F4	WM311C / WM411C	Kingspan BBA e BRE	Diretriz SINAT nº 009
Contraventamentos	Sem referência ⁴²	Sem referência	Tipicamente uso de painéis OSB/3- 9 mm CEN EN300 (2006) ou placa cimentícia de 10 ou 12 mm CEN EN 634-2 (2007)	Projeto deve detalhar os contraventamentos necessários
Recomendações de projeto	Dimensionamento e memórias de cálculo efetuadas por um projetista de fachadas segundo as regras em vigor e limitando deformações cf AFNOR NF DTU 33.1 (2008)	Justificar perante cálculo que as soluções adotadas resistem às ações previstas para a função de fechamento. Compatibilidade com os movimentos da estrutura	Cada projeto utilizando o sistema deve ser concebido e detalhado por Kingspan Ltd. ou por consultores aprovados	Detalhes para o sistema não absorver deformações da estrutura Detalhes de como tratar desvios de prumo
Solicitações de cargas em peças suspensas face interna ou externa	Face interna permite a fixação dos equipamentos usuais nas condições previstas pela Avaliação Técnica do sistema Optima (CSTB, 2012)	Sem referência	Sem referência	$d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2500$
Impactos de corpo mole	Resistência aos impactos exteriores é determinada em função do sistema de revestimento não aderido aplicado	Categoria de impacto: sistema pode ser classificado na categoria IV em caso de uso de chapa de gesso intermediária com espessura mínima de 15 mm	Sem referência	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Para energia de impacto 240J $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq h/625$ (para impactos até 720J não deve haver ocorrência de ruína)

Continua

⁴² O sistema F4 não apresenta referência ao contraventamento da subestrutura do sistema, mas, como observado no Quadro 43, os perfis montantes do sistema são os mais robustos, devido a maior espessura e a resistência do aço, e ainda em relação a limitação de altura do andar.

Conclusão

Item	Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BBA e BRE	Diretriz SINAT nº 009
Impacto de corpo duro na face externa	Resistência aos impactos exteriores é determinada em função do sistema de revestimento não aderido aplicado	Categoria II: zonas propensas a impactos de objetos arremessados contra a fachada em locais públicos e que a força do impacto possa ser limitada em relação à altura localizada ou em níveis mais baixos do edifício onde se possa controlar a força do impacto	Sem referência	Não ocorrências de falhas para impactos de 3,75J Não ocorrência de ruína para impactos de 20J
Impacto de corpo duro na face interna	Sem referência	Categoria I: zonas acessíveis onde exista elevado controle de riscos de impacto sobre a vedação vertical ou má utilização desta	Sem referência	Não ocorrências de falhas para impactos de 2,5J Não ocorrência de ruína para impactos de 10J
Ancoragens	Projeto deve definir a ancoragem à estrutura primária (do edifício)	Determinar em projeto a quantidade e a disposição das fixações das guias à estrutura portante Como referência para cálculo considerar $\gamma_{anc} = 3$	Ancoragens em estrutura de concreto devem apresentar certificação CE	Verificar durante a montagem posicionamento e fixação dos perfis guia, incluindo a verificação da interface dos perfis guia com o sistema estrutural ⁴³

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BBA (2014); BRASIL (2012).

⁴³ Nota da autora: Não há referência de dimensionamento ou tipo de produto a ser utilizado para ancoragem

A Diretriz SINAT nº 009 salienta que o sistema não tem função estrutural e que pode ser fornecida uma tabela de pré-dimensionamento como referência inicial e que “para cada implantação deve ser elaborado um cálculo estrutural com a respectiva memória de cálculo” (BRASIL, 2012, p.15). Devem também ser detalhados os vãos máximos, reforços, vergas e contravergas em portas e janelas.

A Diretriz exige, ainda, que sejam informadas as alturas máximas a serem vencidas pelos montantes e que se apresentem detalhes de cortes e emendas, e que sejam considerados detalhes para garantir que o sistema não absorve 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.

Todos os sistemas trazem poucas referências quanto às ancoragens da sua estrutura à laje de concreto usualmente feitas por meio de chumbadores. A Diretriz SINAT nº 009, que estabelece várias exigências em relação aos parafusos, não traz exigências para os chumbadores dos perfis guias à laje.

A Diretriz SINAT nº 009 faz referência à fixação de peças suspensas na fachada como letreiros, luminosos, etc. e estabelece que, sob a ação das cargas máximas previstas nos manuais, o sistema não deve apresentar fissuras, deslocamentos instantâneos horizontais $> h/500$ ou residuais $> h/2500$ (válido também para cargas internas) e ainda estabelece que a carga de uso ou de serviço seja igual ao menor dos valores: $1/3$ da carga de ruptura e carga que provocar deslocamento horizontal $> h/500$.

Para o requisito de estabilidade e resistência estrutural dos sistemas de vedação vertical internos e externos, a ABNT NBR 15575 (2013) recomenda que sejam apresentados níveis de segurança considerando-se as combinações de ações passíveis de ocorrerem durante a vida útil do sistema e que deve ser realizada verificação analítica ou ensaio de cargas laterais uniformemente distribuídas, visando a simular as ações horizontais devidas ao vento.

Em edificações baixas com vedações espessas, as cargas devidas ao vento não apresentam problemas; porém, em estruturas esbeltas, essas cargas passam a ser uma das ações mais importantes a se determinar em projeto. A ABNT NBR 6123 (1988) rege a determinação e dimensionamento das ações de vento. O vento sempre atua perpendicularmente à superfície que obstrui sua passagem. Os acidentes, devidos às ações de vento podem ocorrer em construções leves, principalmente de

grandes vãos livres, e suas principais causas são: a) falta de ancoragem; b) contraventamento insuficiente; c) fundações inadequadas; d) vedações inadequadas; e) deformabilidade excessiva da edificação (CHAMBERLAIN, sem data).

5.5.2 Segurança contra incêndio

As limitações dos sistemas F4 e Kingspan são devidas às legislações de segurança contra incêndio de seus respectivos países.

A Fachada F4 tem suas limitações de utilização definidas principalmente em função da legislação de incêndio da França que, no caso dos edifícios habitacionais, é baseada no Decreto de 31 de janeiro de 1986, que classifica as edificações em quatro famílias⁴⁴ (FRANÇA, 1986). Para edifícios industriais e de escritórios, a limitação do sistema se dá em função do código do trabalho francês, que traz referências de segurança classificando as edificações segundo a altura do seu último pavimento, situado a menos ou a mais de 8 metros do solo em razão do agravamento dos riscos devidos à altura da edificação. Disposições particulares se aplicam para alturas superiores à referenciada (FRANÇA, 2015).

Quanto ao sistema Kingspan, a legislação do Reino Unido define os tempos requeridos de resistência a fogo (TRRF) em relação à altura do piso do pavimento mais alto. Os edifícios, cujos pisos do último andar estejam situados em alturas maiores do que 18 metros em relação ao solo, terão aumentados os tempos requeridos de resistência ao fogo. Edifícios de até 18 metros de altura (contados do solo ao piso mais alto do edifício) têm o tempo de resistência a fogo de 60 minutos, com exceção de edifícios de escritórios com *sprinkler*, para os quais há redução para

⁴⁴ Segundo a legislação francesa, a classificação contempla quatro famílias :

- Edifícios de 1ª família se referem a casas térreas (geminados ou não);
- Edifícios de 2ª família se referem a residências unifamiliares de até 3 andares (geminados ou não);
- Edifícios de 3ª família (A e B) se referem a edifícios cujo piso do último pavimento dista até 28 metros do solo, com o máximo de 8 pavimentos (térreo + 7) e no qual a distância da fachada mais recuada do edifício em relação à rua deva ser menor do que 50 m, considerada como a máxima distância para o acesso do caminhão de bombeiro;
- Edifícios de 4ª família dizem respeito a habitações em que o piso mais alto está situado entre 28 a 50 m do nível do solo, sendo acessível aos equipamentos de luta contra incêndio.

30 minutos, e edifícios industriais e de armazenagem sem *sprinklers*, para os quais o tempo é aumentado para 90 minutos (BSCA, 2013).

A Diretriz SINAT nº 009 considera que os sistemas “devem atender à ABNT NBR 14432 (2001), quanto ao tempo requerido de resistência ao fogo, considerando a altura da edificação e seu uso”. A Diretriz também afirma que no caso de “edificações térreas, assobradadas ou até 5 pavimentos, os sistemas devem atender à ABNT NBR 15575-4 (2013), ou seja, a resistência ao fogo mínima deve ser de 30 minutos”.

No entanto, pode haver incoerências entre as duas normas, pois, de acordo com a ABNT NBR 14432 (2001), as edificações, cujas alturas são maiores que 12 metros e menores ou igual a 23 m, são classificadas na Classe P₃, na qual a exigência de TRRF (Tempo Requerido de Resistência ao Fogo) é de 60 minutos.

Devem ser consideradas as Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo que têm impacto sobre a fachada e, mesmo sendo instruções estaduais, podem se apresentar como referências para todo o país.

Segundo a IT - 08, para a categoria de ocupação e uso residencial, o TRRF é função das alturas das edificações conforme Quadro 50.

Quadro 50 – TRRF em função da altura do edifício

Altura do edifício	TRRF
até 12 metros	30 minutos
de 12 a 23 metros	60 minutos
de 23 a 30 metros	90 minutos
de 30 a 120 metros	120 minutos
de 120 a 150 metros	150 minutos
de 150 a 250 metros	180 minutos

Fonte: Corpo de Bombeiros (2011)

A IT 08/2011 também estabelece no subitem 5.7.2 que:

os elementos de compartimentação (externa e internamente à edificação, incluindo as lajes, as fachadas, paredes externas e as selagens dos *shafts* e dutos de instalações) e os elementos estruturais essenciais à estabilidade desta compartimentação, devem ter, no mínimo, o mesmo TRRF da estrutura principal da edificação, não podendo ser inferior a 60 min, inclusive para as selagens dos *shafts* e dutos de instalações. (CORPO DE BOMBEIROS, 2011, p. 194)

Portanto, a IT 08/2011 amplia os TRRF para fachadas para, no mínimo, 60 minutos, mesmo para alturas de edificações inferiores a 12 metros.

Em relação à compartimentação vertical na envoltória do edifício, a Instrução Técnica nº 9/2004 do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo recomenda o atendimento das condições para dificultar a propagação vertical do incêndio pelo exterior dos edifícios e determina:

Quando a separação for provida por meio de vigas e/ou parapeitos, estes devem apresentar altura mínima de 1,2 m separando aberturas de pavimentos consecutivos (CORPO DE BOMBEIROS, 2004, p.221). (Figura 44)

Figura 44 - Compartimentação vertical (verga e peitoril) da envoltória do edifício para dificultar a propagação vertical do incêndio

Fonte: Corpo de Bombeiros (2004)

O comparativo quanto aos requisitos de desempenho em relação à segurança contra incêndio está apresentado no Quadro 52.

Quadro 51 – Requisitos de Desempenho – Segurança contra Incêndio

Item	Fachada F4	WM311C WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Atendimento a legislação	França (1986) e França (2010b) Habitação deve atender classificação 1ª, 2ª e 3ª família A e B; Edifícios não-habitacionais atendem ao Código do Trabalho Francês	Atende SI1 DB SI SI2 DB SI (CTE)	<i>UK Building Regulations</i>	ABNT NBR 14432 (2001)
Limitações de altura do edifício perante a legislação	Habitação até 8 pavimentos (térreo + 7) Edifícios não-habitacionais limitado a última laje situada a até 8 m acima do solo.	Não especifica	Distância do piso da laje mais alta até o solo – 18m	Não especifica
Tempo requerido de resistência ao fogo	Sem referência	60 min 90 min 120 min ⁴⁵ CEN EN13501-2 (2007)	60 min 90 min 120 min ⁴⁶ CEN EN1365-1 (2012) CEN EN 476 part 21 (1987)	30 min até 5 pavimentos ABNT NBR 15575-4 (2013)
Classificação a fogo dos materiais	Em relação ao isolamento pelo lado interno o processo atende ao artigo 16 do Decreto 31 de janeiro de 1986 (França, 1986) e ao Caderno CSTB 3231 (CSTB, 2000)	Chapas de gesso Face interna: A2-s1, d0 Face externa: B-s1, d0 RD 842/2013 (ESPANHA, 2013)	Sem referência	Face interna: chapas de gesso incombustível ISO1182 (2010) Isolantes térmicos I, II A ou III A Face externa: chapa cimentícia I a II B ABNT NBR 9442 (1986), ASTM E662 (2015), CEN EN13823 (2010), CEN EN ISO 11925-2(2010)

Continua

⁴⁵ Classes de resistência ao fogo mudam em função dos componentes como isolante, número de chapas de gesso utilizadas e de sua qualidade (espessura e resistência a fogo). A classificação EI 120 se refere ao sistema com três chapas de gesso com 15mm cada de espessura e de qualidade com maior resistência a fogo.

⁴⁶ Tempos de resistência variam em função das composições do revestimento.

Conclusão

Item	Fachada F4	Aquapanel WM311C WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Componentes de proteção ao fogo	Elemento corta-fogo em perfil em aço galvanizado de espessura 0,75 mm aplicado a cada dois pavimentos conforme Figura 45 (edifícios de 3ª família)	Sem referência	Sem referência	Sem referência
	Na camada interna, aplicação de 2 chapas de gesso com resistência a fogo ao redor das aberturas, conforme Figura 46 (edifícios de 3ª família)			
	Elemento de proteção ao fogo ⁴⁷ aplicado ao redor das janelas cf Figura 47 (edifícios de 3ª família)			

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

Figura 45, a Figura 46 e a Figura 47 referem-se as informações do Quadro 53.

Figura 45 – Elemento corta-fogo do sistema F4

Fonte: CSTB (2012a)

⁴⁷ Trata-se de uma peça de madeira (classe de emprego 2) de espessura mínima de 25 mm ou de chapa de gesso Glasroc F (chapa de gesso classificada A1 e armada de fibra de vidro) com espessura mínima de 15 mm conforme a AFNOR NF EN 520. O componente é aplicado no entorno da esquadria no caso de edifícios da 3ª família A e B no contexto da regulamentação incêndio.

Figura 46 – Aplicação de duas chapas de gesso resistente a fogo ao redor das aberturas

Fonte: CSTB (2012a)

Figura 47 – Tratamento da interface da abertura com a vedação vertical (corte)

Fonte: CSTB (2012a)

5.5.3 Desempenho térmico

5.5.3.1 Desempenho térmico segundo a Diretriz SINAT nº 009

A Diretriz SINAT nº 009 apresenta os requisitos de desempenho térmico em conformidade à ABNT NBR 15575 (2013), que prevê avaliação para o SVVE considerando o procedimento simplificado de análise e, caso o SVVE não atenda aos critérios analisados conforme o procedimento simplificado, deverão ser considerados os procedimentos de simulação computacional do desempenho térmico ou a realização de medições em campo.

O requisito de adequação de vedações verticais externas é apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem o desempenho térmico mínimo estabelecido de acordo com cada zona bioclimática definidos na ABNT NBR 15220-3 (2005). Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das vedações verticais externas estão apresentados no Quadro 52.

Quadro 52 - Transmitância térmica U ($W/m^2.K$) das vedações verticais externas

Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha \leq 0,6$	$\alpha > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
α é absorptância à radiação solar da superfície externa da parede		

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575 (2013).

A fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF possui baixa capacidade térmica (CT), há dificuldade no atendimento ao requisitado pela norma que é de mínimo 130 $kJ/(m^2.K)$ para todas as zonas térmicas, com exceção da zona 8 (Quadro 53).

Quadro 53 – Capacidade térmica de vedações verticais externas

Zona 1,2,3,4,5,6 e 7	Zona 8
$\geq 130 \text{ kJ}/m^2.K$	Sem requisito

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15575 (2013)

Akutsu e Brito (2014) afirmam que não há exigência de valores mínimos de capacidade térmica para a zona bioclimática 8, por se tratar de região com clima “quente úmido”, que possui baixa amplitude térmica. A maior parte do território

nacional apresenta amplitude de variação de temperatura atingindo patamares acima de 8° C.

Quanto ao cumprimento do desempenho térmico referente a capacidade térmica de vedações leves, Uribe (2013) destaca a necessidade de atualização da norma ABNT NBR 15220 (2005) quanto a este requisito, uma vez que a norma considera a massa da vedação vertical como um fator térmico, sem considerar a inserção de materiais leves com elevadas capacidades isolantes (EPS, lã mineral) no miolo.

Para os casos nos quais não é possível o atendimento ao valor mínimo de capacidade térmica pelo procedimento simplificado de análise, a comprovação do desempenho deve ser realizada por simulação computacional. O programa Energy Plus é um dos programas que podem ser utilizados na simulação computacional.

No procedimento de simulação do desempenho térmico podem ser consideradas condições de ventilação e de sombreamento, conforme ABNT NBR 15575-1 (2013). Soluções arquitetônicas também devem ser utilizadas, como, por exemplo, o uso de sombreamento das janelas com a utilização de venezianas e o favorecimento da renovação do ar.

Há também de se considerar o benefício térmico da utilização de revestimentos não aderidos, ou de revestimentos ventilados, que possam sombrear fachadas expostas ao sol, e assim, colaborar nas trocas de calor por meio do efeito chaminé que se dá na camada de ar do sistema, influenciando no resfriamento da fachada.

A ABNT NBR 15575 (2013) estabelece que, para vedações que tenham na sua composição materiais isolantes térmicos de condutividade térmica menor ou igual a 0,065 W/(m.K) e resistência térmica maior que 0,5 (m².K)/W, o cálculo da capacidade térmica deve ser feito desprezando-se todos os materiais voltados para o ambiente externo, posicionados a partir do isolante ou espaço de ar.

No caso da ventilação, podem ser consideradas as condições “padrão”, com taxa de 1ren/h (uma renovação de ar por hora), ou “ventilada”, com taxa de 5ren/h (cinco renovações de ar por hora). Para o sombreamento das aberturas, podem ser consideradas as condições “padrão”, na qual não há nenhuma proteção da abertura contra a radiação solar, e “sombreada”, na qual há proteção que corte pelo menos 50% da radiação incidente.

O requisito de aberturas para ventilação nas fachadas das habitações estabelece dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes. Este requisito só se aplica aos ambientes de longa permanência: salas, cozinhas e dormitórios, que devem ter aberturas para ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, incluindo Códigos de Obras, Códigos Sanitários e outros e, quando não houver exigências de ordem legal, para o local de implantação da obra, devem ser adotados os valores conforme a zona climática.

Segundo Kappaun (2012), a ABNT NBR 15575 (2013) exige valores de capacidade térmica acima de um valor limite e a ABNT NBR 15220 (2005) especifica valores de atraso térmico abaixo de um valor limite. Estas diferenças são apontadas no Quadro 54, que relaciona as recomendações das normas ABNT NBR 15220 (2005) e ABNT NBR 15575-4 (2013) para a zona bioclimática 2, conforme apresentado por Grigoletti (2007)⁴⁸ apud Kappaun (2012, p. 47).

Quadro 54 - Diferenças entre ABNT NBR 15220 e ABNT NBR 15575 no que se refere ao desempenho térmico para a zona climática 2

Itens	Vedações Verticais	
	ABNT NBR 15220 (2005)	ABNT NBR 15575-4 (2013)
Transmitância Térmica (W/C.m ²)	≤ 3,0	≤ 2,5
Coeficiente de absorção α	Sem especificação (ver fator solar)	Sem especificação para zonas 1 e 2
Capacidade Térmica (KJ/m ² .K)	Sem especificação explícita (ver atraso térmico)	≥ 130 kJ/m ² .K
Aberturas para ventilação médias por área de piso	15% < A < 25%	A ≥ 8
Fator solar FS= 4.α.U (%)	≤ 5	Sem especificação
Atraso térmico (h)	≤ 4,3	Sem especificação (ver. capacidade térmica)

Fonte: Adaptado de GRIGOLETTI (2007) apud KAPPAUN (2012)

⁴⁸ GRIGOLETTI, G. **Contribuição para avaliação de desempenho higratérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre (RS)**. 2007.

Tese (Doutorado). Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

5.5.3.2 Desempenho térmico segundo as avaliações técnicas europeias

Os sistemas europeus buscam responder às regulamentações térmicas dos diferentes países atreladas às maiores exigências de economia de energia e condições de inverno rigoroso do continente.

O Quadro 55 apresenta referências quanto ao desempenho térmico dos sistemas. Nota-se o altíssimo desempenho quanto ao requisito de transmitância térmica (U), que no pior dos casos atinge o valor de $0,54 \text{ W/m}^2\text{.K}$. Esse valor representa diferença maior do que 4 vezes face ao menor valor exigido pela norma brasileira, que é de $2,5 \text{ W/m}^2\text{.K}$.

Destaca-se que não valores fixados para a capacidade térmica dos sistemas, mas sim para a propriedade de transmitância térmica.

Quadro 55 – Desempenho Térmico dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
<p>Atende às exigências da Regulamentação Térmica para edificações habitacionais, que se exprimem em valores máximos admissíveis em relação ao:</p> <p>1) Cálculo do fator solar da fachada (cf as regras Th-S)</p> <p>2) Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da superfície levando-se em conta a estimativa dos valores de pontes térmicas segundo o documento <i>Avis Technique</i>⁴⁹</p> <p>Transmitância Térmica “U” (parte opaca)⁵⁰ (W/m².K)</p> <p>De 0,14 a 0,20 W/m².K</p> <p>80 mm – 0,20</p> <p>100 mm – 0,17</p> <p>120 mm – 0,16</p> <p>140 mm – 0,14</p>	<p>Atende às exigências da regulamentação HE1 DB HE do CTE (2006)</p> <p>CEN EN ISO 10456 (2007)</p> <p>Para espessura de vedação vertical⁵¹ de 180 mm foi obtida resistência térmica de:</p> <p>2,58 m².K/W em regime estacionário</p> <p>Resistência Térmica de 1,75 a 4,08 (m².K/W)</p> <p>Em regime dinâmico o coeficiente de transmitância térmica está em 0,43W/m².K</p> <p>Transmitância Térmica “U” (parte opaca)⁵² (W/m².K)</p> <p>De 0,24 a 0,54 W/m².K</p>	<p>Atende às exigências das diversas regulamentações de edificações do Reino Unido</p> <p>Avaliação contempla o cálculo dos valores de transmitância térmica “U” para os elementos da fachada segundo o método de cálculo da CEN EN ISO 6946 (2007)</p> <p>Dependendo do revestimento e do isolamento utilizado, valores de transmitância térmica variam de 0,19 a 0,34 W/m².K</p> <p>Transmitância Térmica “U” (parte opaca)⁵³ (W/m².K)</p> <p>60 mm – 0,30</p> <p>70 mm – 0,26</p> <p>80 mm – 0,22</p> <p>90 mm – 0,21</p> <p>105 mm – 0,19</p>	<p>Valores admissíveis de transmitância térmica das vedações “U” conforme a zona climática</p> <p>U W/m².K</p> <p>$U \leq 2,5 \text{ W/m}^2.\text{K}$ (zonas 1 e 2)</p> <p>Zonas 3 a 8:</p> <p>$U \leq 3,7$ se $\alpha^a \leq 0,6$</p> <p>$U \leq 2,5$ se $\alpha^a > 0,6$</p> <p>Valores admissíveis de capacidade térmica:</p> <p>Zona 8 (sem exigência)</p> <p>Zonas 1 a 7:</p> <p>$\geq 130 \text{ kJ/m}^2.\text{K}$</p>

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

⁴⁹ O documento *Avis Technique* apresenta os coeficientes de perdas térmicas para as pontes térmicas entre perfis e isolante; fachada e laje; e fachada e caixilhos.

⁵⁰ Valores de transmitância térmica da vedação calculados segundo a espessura do isolante interno e considerando-se espessura de isolante no lado externo de 120 mm.

⁵¹ Considerando vedação de placa Aquapanel (12,5 mm) + membrana + isolante (75 mm) + chapa de gesso (12,5 mm) + membrana de ar (20 mm) + isolante (48 mm) + chapa de gesso (12,5 mm)

⁵² Valores para resistência e transmitância térmica segundo a composição da vedação e segundo o método de ensaio utilizado na avaliação

⁵³ Variação segundo a espessura do isolante tipo Kingspan K15 (chapa rígida fenólica com compósito *foil* em ambas as faces). Não foi levada em consideração a contribuição do revestimento não aderido e as pontes térmicas originadas da fixação das chapas de revestimento.

5.5.4 Desempenho acústico

O Quadro 56 mostra referências do desempenho acústico dos sistemas europeus baseados no índice de redução sonora (R_w), os quais atingem valores superiores a 60dB. A Diretriz SINAT nº 009 adota o índice de diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m, nT, w}$) que varia segundo a classe de ruído do local da edificação.

A Diretriz SINAT nº 009 não estabelece exigências específicas para a vedação vertical externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, especificando níveis de ruído apenas para a vedação vertical externa de dormitórios.

Quadro 56 - Desempenho Acústico dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Isolamento de fachada que considera as zonas de ruído, isolamento aos ruídos aéreos entre unidades e nível de absorção nas zonas de circulação Cf (França, 1986)	Justificar por meio de cálculo que a solução atende a exigências e ruído aéreo cf DB HR (CTE) Ensaio cf CEN EN 140-3 (1995) CEN EN 717-1 (2013)	Avaliações de isolamento acústico foram realizadas para configurações com diferentes revestimentos Ensaio cf CEN EN 140-3 (1995) CEN EN 717-1 (2013)	Valores mínimos do índice para níveis de ruído admitidos na vedação vertical externa de dormitório segundo classe de ruído Ensaio cf ISO 140-5 (1998); ISO 717-1 (2013)
Resultados de ensaios de vedações com valores de Índice de redução sonora (R_w) com revestimento não aderido: Laminado melânico $R_w = 59\text{dB}$ Cerâmica extrudada $R_w = 57\text{dB}$	Resultados de ensaios de vedações com valores de Índice de redução sonora R_w variando de: $R_w = 58$ a 65dB , Valores calculados em relação à massa por unidade de superfície	Resultados de ensaios de vedações verticais externas com valores de Índice de redução sonora R_w variando de: $R_w = 43$ a 62dB	Resultados segundo a classe de ruído que varia conforme a localização da edificação Classe I $D_{2m, nT, w} \geq 20\text{dB}$ Classe II $D_{2m, nT, w} \geq 25\text{dB}$ Classe III $D_{2m, nT, w} \geq 30\text{dB}$

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

5.5.5 Estanqueidade (água e ar)

As referências de estanqueidade à água, mas também ao ar, estão fortemente relacionadas com o tratamento de juntas e com a utilização da membrana de estanqueidade. A garantia de estanqueidade evita o risco de condensação, principalmente nos países de clima frio, nos quais as janelas ficam fechadas grande parte do tempo. O Quadro 57 mostra referências de estanqueidade à água, o Quadro 58 ao ar, o Quadro 59 traz referências para o tratamento de juntas e o Quadro 60 referências acerca de riscos de condensação.

Em relação à Diretriz SINAT nº 009 e o atendimento à ABNT NBR 15575-4 (2013), esta norma não define condições de ensaio para vedações SVVE em edificações multiandares. Portanto, em relação à norma de desempenho, os requisitos de estanqueidade são os mesmos para qualquer número de pavimentos acima de dois andares.

Para esquadrias externas devem ser atendidas as especificações da ABNT NBR 10821 (2011). Essa norma considera a altura do edifício até 90 m de altura e determina pressões de ensaio e segurança em função da altura.

Como premissas de projeto, a ABNT NBR 15575-4 (2013) manifesta que devem ser indicados os detalhes construtivos para as interfaces e juntas entre componentes, a fim de facilitar o escoamento da água e evitar a sua penetração para o interior da edificação. Esses detalhes devem levar em consideração as solicitações a que os componentes da vedação vertical externa estarão sujeitos durante a vida útil de projeto da edificação habitacional. O projeto deve contemplar também obras de proteção no entorno da construção, a fim de evitar o acúmulo de água nas bases da fachada da edificação.

O segundo requisito de estanqueidade é evitar a umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel e não permitir infiltração de água através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas.

Quadro 57 – Estanqueidade à água dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
<p>Recomendação de cuidados particulares na aplicação da membrana para-chuva e da membrana de estanqueidade ao ar, principalmente na ligação das tiras de membrana entre si e com as esquadrias</p>	<p>Colocação da membrana de estanqueidade é opcional</p> <p>Avaliações cf HS1 DB HS CTE (2015) para níveis C, R</p> <p>Absorção de água por capilaridade em relação a espessuras de vedação vertical Atendem aos níveis: C1 esp.< 240 mm e C2 esp.> 240 mm</p> <p>Resistência do revestimento a água de chuva nível R3</p> <p>Ensaio de ciclos de calor chuva de 80 ciclos de 6 horas e ciclos de calor-frio de 5 ciclos de 24 horas</p>	<p>Resistência a penetração de água até 900 Pa em acordo com a CEN EN12154 (2000) atingindo a classe RE900</p>	<p>Traz valores de pressão de vento adotadas em ensaios de infiltração de água de chuva em vedações verticais externas para edifícios de até 5 pavimentos e acima de 5 pavimentos</p> <p>Recomenda atenção ao tratamento de juntas e nas interfaces com as esquadrias, aos cortes na parte externa para fixação de equipamentos de obra ou de sistemas prediais e exige que sejam explicitadas as formas de instalação de pingadeiras e acabamentos</p> <p>Traz recomendações de projeto para evitar infiltração de água na área da vedação vertical externa em contato com piso de áreas molháveis e molhadas</p> <p>Ensaio de estanqueidade: dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e choque térmico (com água) e com resistência ao deslocamento horizontal < h/300 (sem ocorrências de fissuras e destacamentos)</p>

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

Quadro 58 – Estanqueidade ao ar dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
<p>Ensaio de estanqueidade ao ar, à água e resistência ao vento de acordo com relatório do CSTB referenciado no documento <i>Avis Technique</i></p> <p>(Nota: Resultados do relatório não estão publicados no documento)</p>	<p>Ensaio de estanqueidade ao ar segundo norma EN12153 (2000) em combinação com outros ensaios para pressão de até 600Pa</p>	<p>Estanqueidade ao ar Classe AE até 900Pa para teste de pressão de acordo com a CEN EN 12152 (2002)</p>	<p>Não há referência à estanqueidade ao ar</p>

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

Quadro 59 – Tratamento das juntas dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
<p>Produtos utilizados para o tratamento de juntas das chapas de gesso (interiores) são conformes a norma de produto EN13963 (2014) e às especificações complementares definidas na norma AFNOR NF DTU 25.41 P1-2(2008)</p> <p>Sistemas de tratamento de juntas são objeto de certificação CSTBat</p> <p>Chapas são cortadas 1 cm menor que a altura da vedação vertical</p> <p>As bordas são refiladas para receber a argamassa</p> <p>A primeira chapa é parafusada a cada 60 cm na vertical e as chapas seguintes são parafusadas a cada 30 cm</p>	<p>As juntas verticais das placas devem sempre coincidir com montante</p> <p>Prever juntas de dilatação horizontais e verticais a cada 15m</p> <p>As chapas de gesso (interiores e intermediárias) devem ser colocadas em posição vertical, enquanto as placas Aquapanel (exteriores) devem ser colocadas em posição horizontal</p> <p>Caso necessário mais de uma placa interior para cobrir a altura, as juntas horizontais entre placas contíguas não devem ser coincidentes e estarão defasadas no mínimo em 400 mm</p> <p>Recomenda-se que as juntas entre placas não coincidam com as quinas das aberturas</p> <p>Correta execução das juntas entre placas e dos encontros das placas com outros elementos da edificação como janelas e portas e encontros com a estrutura</p> <p>Juntas de encontros devem estar seladas, as espessuras das placas Aquapanel não devem estar em contato com ambiente exterior</p>	<p>Detalhes de juntas foram avaliadas pelo <i>BRE</i> para desempenho térmico e de estanqueidade ao ar. As juntas estão certificadas pelo <i>BRE</i> e há mais de 30 combinações de juntas avaliadas, para diferentes composições de produtos.</p>	<p>Admite diferentes tratamentos como: fita embutida na massa e dissimulada na face interna do sistema; perfis em PVC usados em junta de dilatação em estruturas de reforço de cantos e execução de acabamentos e pingadeiras; tela embutida na argamassa e dissimulada na face externa</p> <p>Solicita que sejam apresentados documentos técnicos que devem indicar as formas corretas de tratamento das juntas e as instruções para a execução das interfaces com esquadrias</p> <p>Verificar espaçamento previsto em projeto nas juntas de dilatação e nas juntas dissimuladas nas faces exterior e interior</p>

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

Quadro 60 - Riscos à Condensação nos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BRE	Diretriz SINAT nº 009
Em certos períodos do ano há risco de condensação superficial sobre o quadro metálico das janelas	Condensações superficiais dependem do isolamento térmico e condensações intersticiais dependem do isolamento e da estanqueidade ao vapor de cada um dos componentes. Pode-se aplicar barreira de vapor na face quente do fechamento. Parte dessa barreira pode ser atribuída eventual presença de lâmina de alumínio da chapa de gesso. Em algumas zonas climáticas pode ser necessário reforçar a barreira de vapor	Avaliação contempla o risco de condensação intersticial e verifica o potencial de atendimento aos diversos códigos de edificações do Reino Unido. CEN EN ISO 13788 (2002) BSI BS 5250 (2011) BRE Report BR 262	Sem referência

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

5.5.6 Durabilidade e manutenibilidade

O Quadro 61 aborda os aspectos de durabilidade e o Quadro 62 os aspectos de manutenibilidade.

Ainda com relação à estanqueidade, mas também à durabilidade e manutenibilidade, a Diretriz SINAT nº 009 recomenda um ensaio para que a vedação vertical externa, que depois de aprovada nos testes de estanqueidade, seja submetida a dez ciclos sucessivos de exposição de calor e resfriamento por meio de jato de água, e que não deve apresentar deslocamento horizontal superior a $h/300$, onde h é a altura da vedação vertical. Além disso, não deve haver ocorrências de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloração e outros danos.

Quadro 61 – Durabilidade dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan	Diretriz SINAT nº 009
<p>Levada em consideração a proteção constituída por um revestimento não aderido, a durabilidade é considerada satisfatória</p>	<p>A partir dos ensaios de comportamento hidrotérmico e de compatibilidade de revestimento sobre a placa exterior considera-se que o sistema tem adequada durabilidade</p> <p>Recomendações aos tratamentos de juntas</p>	<p>Cita a durabilidade da estrutura em aço e estima vida útil de pelo menos 60 anos quando o envelope é concebido segundo o princípio do isolamento pelo exterior <i>warm frame</i> nas classificações C1, C2 e C3 segundo CEN EN-ISO14713-1 (2009)</p>	<p>Sistema deve apresentar vida útil de 40 anos desde que submetido a manutenções preventivas e, se necessário, corretivas.</p> <p>Estabelece critérios de estanqueidade para ensaios de calor e choque térmico e de envelhecimento natural</p>
	<p>Se necessário, pode-se aplicar aos componentes metálicos uma proteção adicional de pintura, em especial, em perfis cortados, segundo EN- ISO12944 (2007)</p> <p>No caso de ambientes agressivos deve ser analisada se a proteção galvânica é adequada ao ambiente.</p> <p>As ancoragens devem ser de materiais protegidos contra a corrosão.</p>		

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

Quadro 62 – Manutenabilidade dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C / WM411C	Kingspan BBA	Diretriz SINAT nº 009
Referência à manutenção do revestimento não aderido registrado nas respectivas avaliações técnicas ou documentos técnicos de aplicação	Os sistemas devem ser objeto de inspeções periódicas ⁵⁴ Cf. HS1 DB HS (2015)	Como a ossatura de aço está confinada na edificação e tem adequada durabilidade, a manutenção da ossatura não é requerida desde que todos os componentes da edificação estejam concebidos e construídos para prevenir umidade nas superfícies em aço, devido à precipitação ou condensação	Manutenções preventivas e, quando necessário, corretivas
Qualquer degradação do sistema de estanqueidade ao ar deve ser seguida de reparo; fechar eventuais entalhes com produtos do sistema, como fita adesiva e mástique	Operações de inspeção devem observar: possíveis perdas de planicidade entre placas e perfis verticais; penetração de água nas juntas de encontros dos elementos como janelas, rodapés e elementos de coroação; e manchas de umidade		Especificar em projeto: interface com esquadrias e demais componentes para garantir estanqueidade
	Observar indícios de corrosão nos componentes da estrutura		Recomendações para prevenção de falhas (fixação de cargas suspensas com massa incompatível, aberturas para sistemas prediais)
			Registro de inspeções e manutenções, com menções às normas aplicáveis

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BRASIL (2012)

5.6 QUALIDADE DE INSTALAÇÃO

Segundo Way, Lawson (2013), os sistemas de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, são instalados por empresas homologadas como instaladoras pelo fornecedor do sistema.

As características de instalação e controle de qualidade dos sistemas analisados estão apresentadas no Quadro 63.

⁵⁴ Não há referência ao período de tempo recomendado para as inspeções.

Quadro 63 – Qualidade da instalação dos sistemas analisados

Fachada F4	Aquapanel WM311C /WM411C	Kingspan BBA BRE	Diretriz SINAT nº 009
<p>A coordenação das diversas intervenções dos prestadores de serviços deve ser do coordenador da obra</p> <p>No andar térreo, uma malha anti-intrusão pode ser fixada nas espessuras das lajes (não há referência ao tipo de malha)</p> <p>A instalação é realizada por dois tipos de prestadores de serviços, um responsável pela fachada e outro responsável pela instalação das chapas internas</p> <p>Há detalhamento de 22 etapas para a instalação de todos os componentes do sistema</p>	<p>Equipes de montadores devem contar com pelo menos duas pessoas qualificadas na instalação do sistema</p> <p>Detalha nove etapas de aplicação de componentes, segundo ordem cronológica de execução</p>	<p>O desempenho do sistema depende da correta instalação, que deve estar estritamente de acordo com os requisitos deste certificado e de acordo com as instruções dos instaladores certificados</p> <p>O sistema deve ser construído num curto período de tempo. Ele será estanque quando receber o revestimento externo e a cobertura, o que deve ocorrer assim que for praticável. Deve ser dada proteção a elementos suscetíveis a danos</p> <p>Qualquer instalação deve seguir os detalhes e informação contida nos detalhes construtivos preparados pelo detentor do Certificado que oferece treinamento ao instalador</p> <p>A qualidade da instalação no canteiro de obras não é coberta por este certificado e é recomendável que um responsável avalie a operação</p>	<p>Traz instruções para: controle e aceitação de materiais e componentes;</p> <p>controle e inspeção das etapas de montagem, com recomendações de 25 itens das principais atividades a serem verificadas durante a montagem</p>

Fonte: CSTB (2012a); ITeC (2014); BRE (2011); BBA (2014); BRASIL (2014)

5.7 CONSIDERAÇÕES

O capítulo apresenta sistemas que atingiram níveis de desempenho comprovados por avaliação e ensaios técnicos. As avaliações técnicas de sistemas construtivos de fachada, a normalização técnica envolvida e as certificações de produtos para a construção, como a marcação CE, identificado nos produtos europeus, pode ser uma referência para o desenvolvimento da tecnologia no Brasil por parte da cadeia produtiva.

O alinhamento existente entre a estrutura de avaliação dos sistemas europeus e da Diretriz SINAT nº 009 evidencia que as avaliações europeias foram o padrão para o estabelecimento dessa diretriz. Notou-se que há aspectos na Diretriz que suscitam reavaliação e propostas de incrementos, como do requisito de capacidade térmica das vedações leves, da adequação dos perfis à norma ABNT NBR 15253 (2014), das avaliações para adoção de novos revestimentos do aço nos perfis e da necessidade de parâmetros para a utilização de membranas de estanqueidade.

O sistema SINAT, seja em relação à Diretriz estabelecida ou aos documentos de avaliação técnica DATec, deve acompanhar as evoluções das novas tecnologias para atendimento às necessidades dos usuários. Novos organismos avaliadores e uma estrutura de laboratórios para ensaios devem atender às dimensões do país.

Os componentes industrializados são utilizados na produção de edifícios de ciclo aberto, na qual os sistemas têm flexibilidade para serem montados por componentes de diferentes fabricantes, produzindo sistemas com alto grau de especificação e que podem ser combinados ainda com outros sistemas construtivos. A complexidade de se atingir o desempenho adequado e de sua comprovação traz novos desafios às equipes de concepção e execução dos empreendimentos. Os sistemas e tecnologias baseados em sistemas de produto, conforme os exemplos apresentados, trazem maior facilidade na comprovação do desempenho, o que colabora para a utilização da tecnologia pelo mercado. O sistema de produto pode colaborar na garantia para o usuário da comprovação de desempenho, o que não seria possível se os mesmos materiais, que no caso são de diferentes fabricantes, fossem utilizados isoladamente sem estarem inseridos num sistema de produto.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Resultados Alcançados

Em face ao objetivo propostos nesta pesquisa, de sistematizar e analisar o conhecimento relacionados à tecnologia construtiva de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, pode-se afirmar que o trabalho reúne um conjunto de informações, cuja análise mostrou parâmetros e especificações para o emprego da tecnologia.

A partir de extensa revisão bibliográfica, é possível identificar diversas referências nacionais e internacionais que ajudam a estabelecer o estado da arte da tecnologia, permitindo também a localização de normas e publicações que indicam critérios de desempenho para a tecnologia.

São analisadas as instâncias de atuação da cadeia produtiva e os entraves para a utilização da tecnologia, evidenciando que não cabem somente ações de agentes específicos, mas sim da cadeia produtiva como um todo, como ações junto ao sistema de crédito e financiamento, ações ligadas às políticas tributárias, científica e tecnológica, à difusão da educação e à qualificação da mão de obra, entre outras.

Há a caracterização das camadas e suas funções, com ênfase na camada estrutural e na caracterização do perfil de aço, evidenciando-se as possibilidades de revestimento do aço e as recomendações para a maior durabilidade do perfil e, consequentemente, do subsistema.

Quanto à análise de sistemas e referenciais técnicos da tecnologia de fachada existentes no exterior, o levantamento efetuado e a consequente análise são uma contribuição trazida por este trabalho. Os sistemas identificados e que possuem avaliações técnicas estão alinhados com o conceito de sistema de produto. A partir dos referenciais, são caracterizados os componentes e a normalização envolvida, e elencados os requisitos de desempenho estrutural, térmico, acústico, de segurança contra incêndio, estanqueidade e durabilidade e manutenibilidade.

Essas informações podem ser de grande valia para a análise dos sistemas empregados no Brasil e para o estabelecimento de referências para as avaliações a serem realizadas.

O trabalho permite verificar que o desenvolvimento de sistemas de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF deve ser precedido por amplo estudo dos referenciais normativos e de desempenho, para que possam ser alcançados os benefícios que se esperam dos sistemas inovadores para o aumento da produtividade da construção e da qualidade e do desempenho das edificações com custos competitivos e menores prazos.

A complexidade e variedade dos materiais utilizados na tecnologia e a busca por desempenho reforçam a necessidade de trabalho integrado em equipes multidisciplinares em projetos e execução das edificações, com participação de representantes das diferentes indústrias de materiais envolvidas.

6.2 Trabalhos futuros

Quanto ao histórico da tecnologia, novas pesquisas podem evoluir para a compreensão da implantação da tecnologia de painéis leves com estudos sobre os exemplos do uso de painéis leves, principalmente em edifícios reticulados em estrutura metálica, para contribuir no conhecimento dos campos de aplicação a partir da análise do uso e aprendizado com erros cometidos.

Em relação às ações da cadeia produtiva para o desenvolvimento da tecnologia alinhada com o conceito de sistema de produto, novas pesquisas podem buscar exemplos da atuação em rede e na complementaridade entre os agentes para que os sistemas de produto e de produção possam ser implantados, fazendo-se um paralelo com o desenvolvimento de sistemas complexos de produção.

Quanto à normalização, deve-se evoluir em relação a componentes da tecnologia construtiva que não estão normalizados, como é o caso da barreira impermeável. O Brasil não tem norma técnica para esse produto que traga parâmetros mínimos de gramatura, de passagem de vapor e de absorção de água.

Quanto ao desempenho da barreira, existem vários estudos sobre a utilização de barreiras impermeáveis em países de clima frio, mas há pouca pesquisa em relação à condensação e à estanqueidade ao vapor em países de clima tropical.

As pesquisas realizadas sobre a tecnologia construtiva em países de clima frio não são referências suficientes para o desempenho térmico no Brasil, em função das diferentes condições climáticas. A baixa capacidade térmica dos sistemas leves é um desafio para o atendimento ao desempenho, especialmente para responder ao fator importante, que diferencia o Brasil dos países de clima frio, que é a grande amplitude térmica da maior parte das regiões brasileiras, aonde edificações de alta inércia térmica propiciam condições satisfatórias de conforto térmico. Novas pesquisas devem ser realizadas para demonstrar a eficiência de variáveis como elementos de sombreamento, ventilação dos ambientes e isolamento térmico em fachadas.

Em relação ao conforto acústico, também há que se evoluir em pesquisas que tragam parâmetros de redução sonora e isolamento acústico em fachadas em chapas delgadas estruturadas em LSF, principalmente nas interfaces com aberturas, com sistemas prediais e vedações horizontais.

Em relação à durabilidade dos perfis e de seus revestimentos metálicos e sobre recomendações para a sua concepção de modo a garantir a durabilidade, a pesquisa traz dados bibliográficos de trabalhos realizados no exterior, sendo que pesquisas que tragam parâmetros do comportamento à corrosão de amostras de perfis de diferentes revestimentos e em diferentes atmosferas realizadas no Brasil poderão colaborar para a sua especificação segura.

Em relação à economia de recursos e de matérias primas na construção civil, é necessário aprofundar pesquisas quanto à possibilidade de desmontagem do sistema de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF. A medição dos resíduos gerados no processo de execução e a medição de consumo de materiais podem orientar práticas de desmaterialização.

Quanto ao sistema de produção da tecnologia estudada, novas pesquisas podem contribuir para a melhor eficiência do modo de produção dos painéis, sejam estes montados no canteiro de obras ou produzidos em instalações fabris, podendo-se verificar a adequação de fabricantes de esquadrias à fabricação de painéis prontos, dada uma possível similaridade entre os tipos de serviços.

O entendimento e estabelecimento das competências e treinamentos necessários para a qualificação dos agentes responsáveis por esses serviços, da fachada (instalação dos perfis, chapas e acabamento externo), e das chapas internas, em parte desenvolvido pelos instaladores de *drywall*, pode ser objeto de novas pesquisas.

Pesquisas do tipo avaliações pós-ocupação das obras realizadas podem ser um excelente instrumento para a compreensão da eficácia e desempenho do sistema e indicação de melhorias e adequações.

Quanto à desmaterialização e redução da solicitação da estrutura e das fundações, novas pesquisas podem avaliar se há alívio nas solicitações da estrutura principal devido ao menor peso próprio da fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF, dado que, a necessidade de retirada da viga de borda pode ter como consequência o aumento da espessura média da laje, levando, assim, a uma possível redução da solicitação da estrutura.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D.; GANCIA, G.; ZILIBOTTI, F. Competing engines of growth: Innovation and standardization. **Journal of Economic Theory**, 2010. 44 p.

AGENCE QUALITÉ CONSTRUCTION. **Fiches Pathologies. Infiltrations d'air parasites.** Disponível em: <http://www.qualiteconstruction.com/outils/fiches-pathologie/infiltrations-air-parasites.html>. Acesso em: fevereiro de 2015.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil.** 1ª edição. São Paulo: Editora E. Blücher, 2011. Série Sustentabilidade. Coordenador José Goldemberg. 2011. 141 p.

AKUTSU, M.; BRITO, A. C. Desempenho térmico. **Revista Notícias da Construção.** São Paulo: Julho de 2014. p. 44 – 45.

AMANCIO et al. Capítulo 2. O sistema brasileiro de avaliação técnica de produtos inovadores para a Construção Civil. In: FABRÍCIO, M. M.; ONO, R. (organizadores). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários.** Porto Alegre: ANTAC, 2015. Livro eletrônico. 159 p.

AMANCIO, R. C. A; FABRICIO, M. M. Capítulo 3. Avaliação técnica do produto de construção inovador: contexto brasileiro e internacional. In: FABRÍCIO, M. M.; ONO, R. (organizadores). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários.** Porto Alegre: ANTAC, 2015. Livro eletrônico. 159 p.

AMANCIO, R. C. A; FABRICIO, M. M.; MITIDIERI FILHO, C. V. **Avaliações técnicas de produtos de construção inovadores no Brasil.** Engenharia para a sociedade. Investigação e inovação. Cidades e desenvolvimento. Jornadas LNEC. Lisboa, 2012. 7 p.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI). **Cold- Formed Steel in Building Construction.** 2010. 29 p. Disponível em: <http://www.steel.org/~media/Files/SMDI/Construction/Construction%20-%20Overview%20of%20CFS%20Apps%20in%20Bldg%20Const%20-%202010%20Update.pdf> . Acesso em: maio de 2015.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE (AISI). **Corrosion of Galvanized Fasteners used in Cold-Formed Steel Framing.** Research Report RP 04-4. Final report. Steel Framing Alliance and University of Hawaii at Manoa. December, 2004. Revision on 2006. 181 p.

_____. **Durability of Cold-Formed Steel Framing Members.** Design Guide. Second Edition. September 2004. Steel Framing Alliance. Washington. DC.16 p.

_____. **Galvanized Steel Framing for Residential Buildings.** Research Report RP 06-1. NAHB Research Center, Inc. International Lead Zinc Research Organization, Inc. (ILZRO). May 2007. Revision 1. Steel Framing Alliance. Washington. DC.79 p.

____. **S200-12:** North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – General Provisions. Edition 2012 (2012a) First Printing. 2013. 18 p.

____. **S200-12-C:** Commentary on North American Standard for Cold-Formed Steel Framing – General Provisions. Edition 2012 (2012b) First Printing. April 2013. 16 p.

____. **S201-12:** North American Standard for Cold-Formed Steel Framing - Product Data. Edition 2012. (2012c) First Printing. 2013. 37 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM A463 / A463M-15:** Standard Specification for Steel Sheet, Aluminum-Coated, by the Hot-Dip Process, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. 2015. 6 p.

____. **ASTM A653/ A653 M- 15:** Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy-Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process. West Conshohocken, PA, USA. 2015. 13 p.

____. **ASTM A792 / A792M-10:** Standard Specification for Steel Sheet, 55 % Aluminum-Zinc Alloy-Coated by the Hot-Dip Process. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA. 2015. 6 p.

____. **ASTM A875 / A875M-13:** Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-5 % Aluminum Alloy-Coated by the Hot-Dip Process, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. 2013. 8 p.

____. **ASTM A879 / A879M-12:** Standard Specification for Steel Sheet, Zinc Coated by the Electrolytic Process for Applications Requiring Designation of the Coating Mass on Each Surface, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. 2012. 3 p.

____. **ASTM A1003/ A1003 M- 15:** Standard Specification for Steel Sheet, Carbon, Metallic- and Nonmetallic- Coated for Cold-Formed Framing Members. West Conshohocken, PA, USA. 2015. 9 p.

____. **ASTM A1046 / A1046M-14:** Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Aluminum-Magnesium Alloy-Coated by the Hot-Dip Process, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014. 7 p.

____. **ASTM C645-14:** Standard Specification for Nonstructural Steel Framing Members. West Conshohocken, PA, USA. 2014. 6 p.

____. **ASTM C955-15:** Standard Specification for Load-Bearing (Transverse and Axial) Steel Studs, Runners (Tracks), and Bracing or Bridging for Screw Application of Gypsum Panel Products and Metal Plaster Bases. West Conshohocken, PA, USA. 2015. 4 p.

____. **ASTM E662-15:** Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA. 2015. 25 p.

ANAUATE, M. **Visão e Atuação da Caixa Econômica Federal sobre Sistemas Construtivos Industrializados**. In: Reuniões do GT Construção Industrializada do Programa Compete Brasil. Apresentações. FIESP. 2014. 12 p. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/gt-construcao-industrializada-do-programa-compete-brasil-apresentacoes/>. Acesso em: setembro 2014.

ARANTES, C. M. F. **Diretrizes para produção e instalação de painéis pré-fabricados arquitetônicos para fachadas**. 2009. 233 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

ARCELOR. **European Lightweight Steel-Framed Construction**. Publisher Arcelor, LSK. 2004. Based in “Hauser in Stahl –Leichtbauweise”. Document 560, first edition 2002. 88 p.

ARCELORMITTAL. **Catálogo de Produtos Laminados**. ArcelorMittal Aços Planos América Latina – Brasil. Edição 2015. Janeiro de 2015. 100 p.

_____. **Mettalic coated steel. User Manual**. ArcelorMittal. Flat Carbon Europe. 2013. 58 p. Disponível em: http://www.arcelormittal.com/fce/repository/fce/Brochures/Metalliccoated_usermanual_EN.pdf . Acesso em: março de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO & FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS PROJETOS (ABRAMAT/ FGV). **A cadeia produtiva da construção e o mercado de materiais**. Agosto, 2007. 30p. Disponível em: <http://www.abramat.org.br/files/Estudo%20%20Cadeia%20Produtiva%20-%20Abramat%20.pdf>. Acesso em: junho 2014.

_____. **Tributação, Industrialização e Inovação Tecnológica na Construção Civil**. Coordenação: Ana Maria Castelo. Fevereiro de 2013. 44 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988. 66 p.

_____. **NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio. Padronização**. Rio de Janeiro, 2012. 36 p.

_____. **NBR 6673: Produtos planos de aço - Determinação das propriedades mecânicas à tração**. Rio de Janeiro, 1981. 14 p.

_____. **NBR 7008-1: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente - Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2012. 10 p.

_____. **NBR 7008-3: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente - Parte 3: Aços estruturais**. Rio de Janeiro, 2012. 3 p.

_____. **NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008. 237 p.

_____. **NBR 9442:** Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 15 p.

_____. **NBR 10041:** Elementos de fixação – Parafusos auto atarraxante com cabeça escareada e fenda cruzada – Dimensões. Rio de Janeiro, 2010. 4 p.

_____. **NBR 10412:** Isolantes térmicos de lã de vidro feltros de lamelas- Especificação. Rio de Janeiro, 2013. 4 p.

_____. **NBR 10821:** Esquadrias externas para edificações. Partes 1 a 3. Rio de Janeiro, 2011. 84 p.

_____. **NBR 11356:** Isolantes térmicos à base de fibras minerais: painéis, mantas e feltros - Determinação das dimensões e massa específica aparente - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1989. 2 p.

_____. **NBR 11361:** Mantas termoisolantes à base de lã de rocha. Rio de Janeiro, 2014. 4 p.

_____. **NBR 11362:** Feltros termoisolantes à base de lã de vidro. Rio de Janeiro, 2013. 4 p.

_____. **NBR 11722:** Feltros termoisolantes à base de lã de rocha. Rio de Janeiro, 2014. 4 p.

_____. **NBR 13281:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2005. 7 p.

_____. **NBR 14432:** Exigência de resistência ao fogo de elementos de construção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

_____. **NBR 14715-1:** Chapas de gesso para drywall. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2010. 7 p.

_____. **NBR 14762:** Dimensionamento de estruturas de aço constituídas de perfis conformados a frio. Rio de Janeiro, 2010. 87 p.

_____. **NBR 15220-2:** Desempenho térmico de edificações. Parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005. 34 p.

_____. **NBR 15220-3:** Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005. 30 p.

_____. **NBR 15253:** Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014. 24 p.

_____. **NBR 15498:** Placa de fibrocimento sem amianto - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014. 23 p.

_____. **NBR 15575-1:** Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013. 51 p.

_____. **NBR 15575-4:** Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013. 51 p.

_____. **NBR 15578:** Bobinas e chapas de aço revestidas com liga 55% alumínio - Zinco pelo processo contínuo de imersão a quente – Especificação. Rio de Janeiro, 2008. 8 p.

ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION (AFNOR). **NF DTU 25.41 P1-1: Travaux de bâtiment — Ouvrages en plaques de plâtre —** Partie 1-1: Cahier des clauses techniques (indice de classement : P 72-203-1-1). 2008. 91 p.

_____. **NF DTU 33.1 P1-1:** Façades rideaux. Partie 1-1: Cahier des clauses techniques types. Partie 1-2: Critères généraux de choix des matériaux. 2008.

_____. **NF P 01-012:** Dimensions des garde-corps - Règles de sécurité relatives aux dimensions des garde-corps et rampes d'escalier. 1988.

_____. **NF P 01-013:** Essais des garde-corps - Méthodes et critères. 1988.

_____. **NF P 08-302:** Murs extérieurs des bâtiments - Résistance aux chocs - Méthodes d'essais et critères. 1990.

_____. **NF P 20-302:** Caractéristiques des fenêtres. 2008.

_____. **NF P 20-501:** Méthodes d'essais des fenêtres. 2008.

BARROS, M. M. S. B. **Metodologia para implementação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios.** 1996. 422 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

_____. **Tecnologia de produção de contrapisos para edifícios habitacionais e comerciais.** 1991. 265 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

BASTOS, M. A. J.; ZEIN, R. V. **Brasil: Arquiteturas após 1950.** São Paulo: Editora Perspectiva, 2011. 1ª edição. 429 p.

BONIN, L. C. Prefácio. In: FABRÍCIO, M. M.; ONO, R. (organizadores). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários**. Porto Alegre: ANTAC, 2015. Livro eletrônico. 159 p.

BOUGRAIN, F.; CARASSUS, J. **Bâtiment: de l'innovation de produit a l'innovation de service**. Paris: PUCA. Plan Urbanisme Construction Architecture. Innover Ensemble, avril 2003. 71 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Diretriz SINAT 003 – **Sistemas construtivos estruturados em perfis de aço conformados a frio, com fechamento em chapas delgadas**. Brasília, 2010. 42 p.

_____. Diretriz SINAT 009 – **Sistema de vedação vertical externa, sem função estrutural, em perfis leves de aço, multicamadas, com fechamento em chapas delgadas**. Brasília, 2012. 49 p.

_____. **Sistema Nacional de Avaliações Técnicas - SINAT** – Disponível em: http://www4.cidades.gov.br/pbqp-h/projetos_sinat.php. Acesso em: fevereiro de 2014.

BRITISH BOARD OF AGREEMENT (BBA). **Agrément Certificate 03/S034**. February 2014. 9 p. Disponível em: <http://www.bbacerts.co.uk/CertificateFiles/S0/S034PS1i2.pdf> . Acesso em: agosto/2014.

BRITISH CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION (BCSA); TATA STEEL. **Fire Protection**. September 2013. 40 p. Disponível em: http://www.tatasteelconstruction.com/file_source/StaticFiles/Construction/supplements/Fire_Protection_Supplement.pdf . Acesso em: janeiro 2015.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (BSI) **BS 5250**: Code of practice for control of condensation in buildings. 2011. 100 p.

BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (BRE). **Certificate number 118/06**. Certificate of Assessment. Reissued January 2011. Amended October 2011. 38 p.

CAMPOS, P. E. F. ABNT/CB-02 e os novos desafios do Setor da Construção Civil. In: **Encontro Nacional da Indústria da Construção**. 84º ENIC. 2012. Belo Horizonte. 23 p. Resumo dos trabalhos. Disponível em: http://www.cbic.org.br/sites/default/files/9-CB-02_Paulo_Campos_Comat_84ENIC.pdf. Acesso em: abril 2014.

CARDOSO, F. F. Capítulo II: A Dimensão Organizacional da Construção Civil. In: ABIKO, A. K et al. **Setor de construção civil**: segmento de edificações. Brasília: SENAI/ DN. 2005. p. 71-124. (Série Estudos Setoriais nº5).

CARDOSO, L. R. A. et al. **O futuro da construção civil no Brasil**. Resultados de um estudo de prospecção tecnológica da cadeia produtiva da construção habitacional. Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo, dezembro de 2003. 126 p. Disponível em:

http://www.desenvolvimento.gov.br/arquivos/dwnl_1196943902.pdf. Acesso em: abril 2014.

CASTELO, A. M.; BROERING, L. Fim de um ciclo. **Revista Conjuntura da Construção**, São Paulo, FGV/IBRE e Sinduscon-SP. Ano XII, n. 3, p. 13 -16, outubro de 2014.

CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; CRISTO, C. M. P. N. Cadeia Produtiva: Marco Conceitual para Apoiar a Prospecção Tecnológica. In: **XXII Simpósio de Gestão da Prospecção Tecnológica**. Salvador, novembro de 2002. 14 p. Disponível em: www.mdic.gov.br/arquivos/dwnl_1197031881.pdf. Acesso em: abril 2014.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013. 300 p.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (CSTB). Annexe 6. Définition des atmosphères extérieures. Protection contre la corrosion . In : **Ossature bois et isolation thermique des bardages rapportés faisant l'objet d'un avis technique ou d'un constat de traditionalité**. Cahier 3316_V2 Decembre 2010. 40 p. (e-Cahiers du CSTB).

_____. **Avis Technique 2/10-1409** – Façade F4 - Secrétariat de la commission des avis techniques. Groupe Spécialisé n° 2 - Constructions, Façades et Cloisons Légères . Mars 2012a. 51 p.

_____. **Avis Technique 9/11-946**. Système d'habillage ISOVER OPTIMA. Commission chargée de formuler des Avis Techniques. Groupe Spécialisé n°9. 2012b. 22 p.

_____. **Avis Technique 20+9/10-184**. Vario Mur. Procédé d'isolation thermoacoustique incluant un système d'étanchéité à l'air. Commission chargée de formuler des Avis Techniques. Groupe Spécialisé n° 9 et n°20. 2011a. 28 p.

_____. **Avis Technique 20/10-188**. Vario Toiture. Système d'isolation thermique de combles et d'étanchéité à l'air. Commission chargée de formuler des Avis Techniques. Groupe Spécialisé n°20 - Produits et procédés spéciaux d'isolation. Janvier 2011b. 47 p.

_____. **Conditions générales d'emploi des systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur faisant l'objet d'un avis technique. Cahier 1833**. Cahier des Prescriptions Techniques. Commission chargée de formuler des Avis Techniques. Groupe Spécialisé n°20 - Produits et systèmes d'étanchéité et d'isolation complémentaires des parois verticales. Mars 1983. 9 p.

_____. **Guide de l'isolation thermique par l'intérieur des bâtiments d'habitation du point de vue des risques en cas d'incendie**. Guide technique. Cahier CSTB 3231. Juin 2000. 21 p.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA) & INSTITUTO DE METAIS NÃO FERROSOS (ICZ). **Cenário dos Fabricantes de Perfis Galvanizados para Light Steel Framing e Drywall**. Rio de Janeiro, outubro 2015.

CICHINELLI, G. Saiba como executar paredes de painéis cimentícios. **Revista Equipe de Obra**. Editora Pini. Edição 65 - Novembro/2013. Disponível em: <http://equipededeobra.pini.com.br/construcao-reforma/65/paredes-com-paineis-cimenticios-fixacao-dos-parafusos-e-tratamento-300272-1.aspx>. Acesso em: abril 2015.

CLETO et al. Códigos de práticas: uma proposta de documentos técnicos de referência de boas práticas para a construção de edifícios no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 7-19, abr./jun. 2011. 13 p.

CLETO, F. R. **Referenciais tecnológicos para a produção de edifícios**. 2006. 212 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). **Documento Básico DB-HE. Ahorro de Energía**. 2006.

_____. **Documento básico DB HR. Protección frente al ruido**. 2009.

_____. **Documento básico DB HS. Salubridad**. 2015.

_____. **Documento básico de Seguridad Estructural. DB-SE**. Oficina de vivienda. Comunidad de Madrid. 2007. 165 p.

COMISSÃO EUROPEIA. **Regulamento de execução (UE) Nº 1062/2013 da Comissão de 30 de outubro de 2013 relativo ao formato da Avaliação Técnica Europeia para produtos de construção**.

Jornal Oficial da União Europeia. L 289, 31.10. 2013, p. 42-43. Disponível em: http://www.lnec.pt/qpe/marcacao/RPC_JOUE_PT_Modelo_de_ETA.pdf.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Directiva 89/106/CEE do Conselho de 21 de Dezembro de 1988 relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos Estados-Membros no que respeita aos produtos de construção**. Jornal Oficial das Comunidades Europeias. OJ L 40, 11.2.1989, p. 12-26.15p. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:31989L0106&from=PT>. Acesso em: fevereiro de 2015.

CORPO DE BOMBEIROS - Instrução Técnica - **IT nº 08/2011** – Resistência ao fogo dos elementos de construção. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo, 2011. 12 p.

_____. Instrução Técnica - **IT nº 09/2004** – Compartimentação horizontal e compartimentação vertical. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. 2004. 14 p.

CUNHA R; COSTA, S. G. A importância de ações coordenadas na edificação. **Revista Conjuntura da Construção**, São Paulo, FGV/IBRE e Sinduscon-SP. Ano XII, n. 3, p. 8 -10, outubro de 2014.

DIAS, L. A. M. **Estruturas híbridas e mistas de aço e concreto**. 1º Edição. São Paulo: Zigurate Editora, 2014. 280 p.

DO ROSÁRIO VEIGA, M.; MALANHO, S. **Sistemas Compósitos de Isolamento Térmico pelo Exterior (ETICS): Comportamento global e influência dos componentes**. 2010. 12p.

ENERGIE+. **La résistance à la diffusion de vapeur d'une paroi**. Architecture et Climat, Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (LOCI). Université Catholique de Louvain (Belgique), réalisé avec le soutien de la Wallonie - DGO4. Disponível em: <http://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=17041>. Acesso em: setembro de 2015.

ESPANHA. **RD 842/2013**. Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego. 2013. 36 p.

EUROPEAN COMMISSION. **Implementation of CPR Art 66 (3) using ETAGs as EADs**. Enterprise and Industry Directorate – General. Sustainable Growth and Europe 2020. Sustainable Industrial Policy and Construction. 3 p. Disponível em: http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/nando/index.cfm?fuseaction=cp.hs_pdf&etag=1&dummy=6&view=1. Acesso em: fevereiro de 2015.

_____. **Innovative technologies for buildings**. EU-funded research to transform the construction sector. EUR 24023 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 2009. 24 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (CEN) **EN ISO 140-3: Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Laboratory measurement of airborne sound insulation of building elements**. 1995 Replaced by EN 10140 (2010).

_____. **EN ISO 140-5: Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Field measurements of airborne sound insulation of facade elements and facades**. 1998. Replaced By : EN ISO 16283-1:2014.

_____. **EN 300: Oriented strand boards (OSB). Definitions, classification and specifications**. 2006. 24 p.

_____. **EN 335-2: Durability of wood and wood-based products. Definition of use classes. Application to solid wood**. 2006. 16 p.

_____. **EN 476-21: Fire tests on building materials and structures. Methods for determination of the fire resistance of loadbearing elements of construction**. 1987. 22 p.

_____. **EN 520:** Gypsum plasterboards. Definitions, requirements and test methods. 2004. 58 p.

_____. **EN 634-2:** Cement-bonded particleboards. Specifications. Requirements for OPC bonded particleboards for use in dry, humid and external conditions. 2007. 12 p.

_____. **EN ISO 717-1:** Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Airborne sound insulation. 2013. 30 p.

_____. **EN 998-1:** Specification for mortar for masonry. Rendering and plastering mortar. 2010. 28 p.

_____. **EN 1062- 3:** Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior masonry and concrete. Determination of liquid water permeability. 2008. 12 p.

_____. **EN 1928:** Flexible sheets for waterproofing. Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing. Determination of watertightness. 2000. 12 p.

_____. **EN 1365- 1:** Fire resistance tests for loadbearing elements. Walls. 2012. 28 p.

_____. **EN 1848-2:** Láminas flexibles para impermeabilización. Determinación de la longitud, de la anchura, de la rectitud y de la planeidad. Parte 2: Láminas plásticas y de caucho para la impermeabilización de cubiertas. 2001. 8 p.

_____. **EN 1991-1-4:** Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Wind actions. 2005. 152 p.

_____. **EN 1991-1-7:** Eurocode 1. Actions on structures. General actions. Accidental actions. 2006. 76 p.

_____. **EN 1993-1-3:** Eurocode 3. Design of steel structures. General rules. Supplementary rules for cold-formed members and sheeting (incorporating corrigendum November 2009). BSI, 2006. 127 p.

_____. **EN ISO 6946:** Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method. 2007. 38 p.

_____. **EN 10025:** Hot rolled products of structural steels. General technical delivery conditions. 2004. 36 p.

_____. **EN ISO 10346:** Continuously hot-dip coated steel flat products for cold forming - Technical delivery conditions. 2015. 46 p.

_____. **EN 10456:** Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values. 2007. 32 p.

_____. **EN ISO 11925-2:** Reaction to fire tests. Ignitability of building products subjected to direct impingement of flames. Part 2: Single flame source test. 2010.

_____. **EN 12152:** Curtain walling. Air permeability. Performance requirements and classification. 2002. 14 p.

_____. **EN 12153:** Fachadas ligeras. Permeabilidad al aire. Método de ensayo. 2000.

_____. **EN 12154:** Curtain walling. Watertightness. Performance requirements and classification. 2000. 10 p.

_____. **EN 12467:** Fibre-cement flat sheets. Product specification and test methods. 2012. 58 p.

_____. **EN 12524:2000:** Building materials and products. Hygrothermal properties. Tabulated design values. 14 p.

_____. **EN 12572:** Hygrothermal performance of building materials and products. Determination of water vapour transmission properties. 2001. 37 p.

_____. **EN ISO 12944-5:** Paints and varnishes. Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. Protective paint systems. 2007. 40 p.

_____. **EN 13116:** Curtain walling. Resistance to wind load. Performance requirements. 2001. 6 p.

_____. **EN 13162:** Thermal insulation products for buildings. Factory made mineral wool (MW) products. Specification. 2012. 52 p.

_____. **EN 13501-1:** Fire classification of construction products and building elements. Classification using test data from reaction to fire tests. 2007. 56 p.

_____. **EN 13501-2:** Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. 2007. 84 p.

_____. **EN 13788:** Características higrótérmicas dos elementos e componentes da edificação. Temperatura superficial interior para evitar umidade superficial crítica e condensação intersticial. Métodos de cálculo. 2002. 40 p.

_____. **EN 13823:** Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item. 2010. 104 p.

_____. **EN 13859-1:** Flexible sheets for waterproofing. Definitions and characteristics of underlays. Part 1: Underlays for discontinuous roofing. 2014. 38 p.

_____. **EN 13859-2:** Flexible sheets for waterproofing - Definitions and characteristics of underlays. Part 2: Underlays for walls. 2014. 36 p.

_____. **EN 13963:** Jointing materials for gypsum boards. Definitions, requirements and test methods. 2014. 44 p.

_____. **EN 13984:** Flexible sheets for waterproofing. Plastic and rubber vapour control layers. Definitions and characteristics. 2013. 32 p.

_____. **EN 14190:** Gypsum board products from reprocessing. Definitions, requirements and test methods. 2014. 36 p.

_____. **EN 14195:** Metal framing components for gypsum board systems. Definitions, requirements and test methods. 2014. 50 p.

_____. **EN 14566:** Mechanical fasteners for gypsum plasterboard systems. Definitions, requirements and test methods. 2008. 34 p.

_____. **EN 14713-1:** Zinc coatings. Guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures. General principles of design and corrosion resistance. 2009. 24 p.

_____. **EN 15981:** Openend blind rivets with break pull mandrel and protruding head. AIA/AIA. 2002. 16 p.

EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHNICAL APPROVALS (EOTA). ETAG 004. **Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering.** EOTA, Brussels, March 2000. Amendement June 2008. 143 p.

FLEURY, A. **A Tecnologia Industrial Básica (TIB) como condicionante do desenvolvimento industrial na América Latina.** CEPAL, Naciones Unidas, Santiago de Chile, 2007. 45 p.

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

FRAMPTON, K. Adolf Loos e la crisi della cultura 1896- 1931. In____: **Storia dell'Architettura Moderna.** Bologna: Zanichelli Editore.. 1982. cap. 8, p. 96-102.

FRANÇA. **Code du Travail.** Versão consolidada em 4 de janeiro de 2015. Disponível em :

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do?dateTexte=20150125&cidTexte=LEGITEXT000006072050&fastReqId=142976762&fastPos=1&oldAction=rechCodeArticle>.

Acesso em : janeiro/ 2015.

_____. **Arrêté du 31 janvier 1986 relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation.** Legifrance.1986.

_____. **Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.** Legifrance. 2010a.

_____. **Arrêté du 24 mai 2010 portant approbation de diverses dispositions complétant et modifiant le règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public.** Legifrance. 2010b.

_____. **Technologies clés 2015.** Direction Générale de la Compétitivité de l'Industrie et des Services. Ministère de l'Industrie, de l'Énergie et de l'Économie Numérique. Mars, 2011. 63 p.

FROTA, A.B.; SCHIFFER, S.T.R. **Manual de conforto térmico.** São Paulo: Editora Nobel. 1988

GONÇALVES, R; BROERING, L. O desafio global da produtividade. **Revista Conjuntura da Construção**, São Paulo, FGV/IBRE e Sinduscon-SP. Ano XIII, n. 1, p. 14-16, março 2015.

INSTITUT DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓ DE CATALUNYA (ITeC). **Documento de adecuación al uso 09/052D.** Edición D. Jan, 2014. 56 p.

_____. **Documento de Idoneidad Técnica Europeo.** DITE 13/0312. Kits para los sistemas de fachada AQUAPANEL WM111.C; WM211.C; WM311.C; WM411.C; WM111.G; WM211.G; WM311.G; WM411.G. 30.05.2013. 89 p.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Mercado Brasileiro de Aço.** Análise Setorial e Regional. Edição 2015, Outubro 2015.

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

INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION (IZA). **Flor de Zinco em Chapa de Aço Galvanizado por imersão a quente.** GalvInfoNote. Processos de Revestimento e Tratamentos de Superfície. Revisão 1.3 Agosto de 2011. 6 p.

JOHN, V. M; CREMONINI, R. A. Manutenção dos edifícios: uma visão sistêmica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO, 10., 1989, São Paulo. **Anais.** p. 115- 128.

KAPPAUN, K. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2 brasileira.** 2012. 125 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

KINGSPAN INSULATED PANELS. **Kingframe. Steel Framing Systems. Design Guide.** United Kingdom. 2013. 88 p. (08/2013). Disponível em: http://images7.kingspanpanels.co.uk/file/asset/12584/original/UK_SBS_SFS_Design_Guide_2014.pdf. Acesso em: janeiro de 2015.

_____. **Kingframe. Steel Framing Systems. Technical Manual.** Version 5.2. December 2014. 120 p. Disponível em: http://images4.kingspanpanels.co.uk/file/asset/9398/original/UK_SBS_SFS_Technical_Manual_v-5-2.pdf. Acesso em: abril de 2015.

KNAUF. **WM.es. Knauf Tabiques de Fachada**. 4/2013. 32 p.

KOSKELA, L. J.; VRIJHOEF, R. **The prevalent theory of construction is a hindrance for innovation**. In: 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 17th - 19th July 2000, Brighton, UK. 11 p.

KUPFER, D.; TIGRE, P. Capítulo 2: Prospecção Tecnológica. In: CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. (organizadores). **Modelo SENAI de Prospecção: Documento Metodológico**. Montevideu: OIT/CINTERFOR. 2004.

LAMBERTS, R. et al. (Ed.). **Casa eficiente: Bioclimatologia e desempenho térmico**. v. 1. Florianópolis: UFSC/LabEEE. 2010. 123 p.

LP. **Manual CES**. Construção Energitêmica Sustentável. Steel Frame, Wood Frame. Catálogo Comercial LP. 2011. 36 p. Disponível em: www.lpbrasil.com.br/inc/download.asp?caminho=materiais...CES... Acesso em: maio 2014.

LATERNER, K; SILVA, J.; HOERMANN-GAST, A. **European Provisions for the Testing, Assessment and Design of Anchors in Concrete and Masonry**. Sem Data. 22 p. Disponível em: <http://www.icc-es.org/news/pdf/europeanprovisions.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2015.

LARSON, J; USAMI, A. **Corrosion protection for cold-formed steel framing in coastal areas**. Technical note on cold-formed steel construction D200-07. Cold-Formed Steel Engineers Institute (CFSEI). January 2007. 6 p.

LAWSON, R. M. **Light Steel Residential Buildings**. ED 011 Technical information sheet. SCI Document ED011. Ascot: Steel Construction Institute (SCI). 2012. 8 p.

MACHADO, A. L. A. **Diretrizes de projeto para revestimentos não aderidos de fachada constituídos de placas cerâmicas extrudadas**. 2012. 206 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2012.

MAUGARD, A. **Regards sur le Bâtiment: Entretiens avec Alain Maugard**. Paris: Éditions du Moniteur, 2007. 180 p. (CSTB. Le futur en construction).

MEDEIROS, J. S. **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. 1999. 458 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

MEDEIROS, J. S. et al. **Tecnologia de vedação e revestimento para fachadas**. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil / CBCA, 2014. 128p. (Série Manual de Construção em Aço).

MELLO, L. C. B. B.; DE AMORIM, S. R. L. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação à União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009.

METSEC. SFS. **Specification Manual**. Voestalpine Group. October 2011. 40 p. (CI/SfB (28) Hh2). Disponível em <http://www.metsec.com/steel-framing/literature-downloads/>. Acesso em: novembro 2014.

MOURA, E. Fachadas respirantes. **Revista Técnica**. São Paulo, edição 144, março 2009. Disponível em: <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/144/artigo287636-2.aspx>. Acesso em: novembro 2014.

NABUT NETO, A. C.; SPOSTO, R. M. **Sustentabilidade energético ambiental de fachadas aplicada ao sistema steel frame**. In: VI Encontro Nacional e IV Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Vitória. 2011. 9 p.

NOWAK, M. **Thermal Design and Code Compliance for Cold- Formed Steel Walls**. 2015 Edition. Design Guide. Washington, DC: American Iron and Steel Institute (AISI) and Steel Framing Alliance. March 2015. 37 p.

O' BRIEN, M. J. **Hybrids on the Way to the Western Platform Frame: Two Structures in Western Virginia**. Preservation Education & Research. Volume Three, 2010. 19 p.

OLIVEIRA, C. A.; FERRETI, L. Contribuição ao estudo sobre uso e manutenção de sistemas construtivos inovadores: Light steel framing e paredes de concreto com formas de PVC incorporadas. In: FABRÍCIO, M. M.; ONO, R. (organizadores). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: manutenção e percepção dos usuários**. Porto Alegre: ANTAC, 2015. Livro eletrônico. 159 p.

OLIVEIRA, L. A. **Metodologia para desenvolvimento de projeto de fachadas leves**. 2009. 267 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

_____. **Tecnologia de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto para emprego em fachadas de edifícios**. 2002. 175 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

OLIVEIRA, L. A.; SOUZA, J. C. S.; MITIDIERI FILHO, C. V. **O desenvolvimento de projetos e edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais**. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), 2010. 9 p.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO ECONÔMICA E DESENVOLVIMENTO (OCDE). **Manual de Oslo**. Proposta de Diretrizes para Coleta e Interpretação de Dados sobre Inovação Tecnológica. Tradução FINEP, 2004.136 p.

PALIARI, J. C.; SOUZA, U.E.L.; ANDRADE, A. C. **Estudo sobre consumo de argamassa de revestimentos interno e externo nos canteiros de obras**. In: Simpósio Brasileiro de Gestão da Qualidade e Organização do Trabalho no Ambiente Construído, 2º, 2001, Fortaleza, CE.12 p.

PARLAMENTO EUROPEU; CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Regulamento (UE) nº 305/2011 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 9 de março de 2011, que estabelece condições harmonizadas para a comercialização dos produtos de construção e que revoga a Directiva 89/106/CEE do Conselho. Texto relevante para efeitos do EEE.** Jornal Oficial da União Europeia. OJ L 88, 4.4.2011, p. 5-43. 39p. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32011R0305>. Acesso em: fevereiro 2015.

PLACO SAINT-GOBAIN e ISOVER SAINT-GOBAIN. Façade F4. **Solution de façade pour les batiments BBC, BEPOS et HQE.** [Entre 2012 e 2013]. 24 p. Disponível em: <http://www.facadef4.fr/content/download/288/1745/file/FacadeF4-Doc.VDEF.pdf>. Acesso em: novembro 2013.

PLACO SAINT-GOBAIN e ISOVER SAINT-GOBAIN. Façade F4. **Paroles de chantier.** Abril 2013. 8 p. Disponível em: <http://www.facadef4.fr/Telechargements>. Acesso em: novembro 2013.

PRATELLI, A. Presentazione. In: **Architettura del Baroccio da Vignola.** Concernente i cinque ordini. Riproduzione anastatica. Bologna: Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, 1984. p.V- XLI.

PONTIFICE, P. **Avaliação Técnica Europeia.** Laboratório Nacional de Engenharia Civil. LNEC. In: Seminário “Regulamento dos Produtos da Construção. O que muda em 2013”. Ordem dos Engenheiros. Lisboa, 27 de setembro de 2012.

RADAVELLI, G. F. **Avaliação experimental da perda de transmissão sonora em paredes externas de light steel frame.** 2014. 158 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

RAVAZZINI, G. **Dizionario di Architettura.** Reprint delle edizione Hoepli di 1936. Ristampa anastatica autorizzata dall'editore Ulrico Hoepli. Milano: Istituto Editoriale Cisalpino-Goliardica. 1982. 250 p.

REIS, M. N. **Esquadrias de alumínio: análise dos critérios de escolha desses componentes em edifícios de apartamentos, padrão médio-alto, na cidade de São Paulo.** 2011. 257 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIBAS, R. A. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados.** 2013. 222 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2013.

RIBEIRO, F. A. **Especificação de juntas de movimentação em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios: levantamento do estado da arte.** São Paulo, 2006. 175 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos - formulação e aplicação de uma metodologia.** 1989. 207 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

_____. O processo de produção das vedações leves de gesso acartonado. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais (1º. :1998: São Paulo). **Anais**; ed. por Sabbatini, Barros, Medeiros. São Paulo, EPUSP/ PCC, 1998. 308 p.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. B.; MEDEIROS, J. S. Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais (1º. :1998: São Paulo). **Anais**; ed. por Sabbatini, Barros, Medeiros. São Paulo, EPUSP/ PCC, 1998. 308 p.

SABBATINI, F. H. et al. **Desenvolvimento tecnológico de métodos construtivos para alvenarias e revestimentos: recomendações para a construção de paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo, EPUSP. 1988. (Projeto EP/EN-1).

SANTIAGO, A. K. **O uso do sistema Light Steel Framing associado a outros sistemas construtivos como fechamento vertical externo não-estrutural**. 2008. 153p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Minas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2008.

SANTOS, P; SIMÕES DA SILVA, L.; UNGUREANU, V. **Energy efficiency of Light-Weight Steel-Framed Buildings**. Technical Committee14. Sustainability & Eco-Efficiency of Steel Construction. Nº 129, 1º edition, 2012. 175 p. European Convention for Constructional Steelwork. (ECCS).

SIQUEIRA JR, A. A. **Tecnologia de fachada-cortina com placas de grês porcelanato**. 2003. 199 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, E. L.; SILVA, V. P. **Dimensionamento de perfis formados a frio conforme NBR 14762 e NBR 6355**. Rio de Janeiro: IBS/ CBCA, 2008. (Série Manual de Construção em Aço). 119 p.

SOARES, R. C. **Estratégia para a elaboração e disseminação de códigos de práticas voltados ao processo de produção de edifícios de múltiplos pavimentos com estruturas de aço**. 2010. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOUZA, J. C. S. **Metodologia de análise e seleção de inovações tecnológicas na construção de edifícios: aplicação para a vedação vertical de gesso acartonado**. São Paulo, 2003. 205 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOUZA, J. C. S.; SABBATINI, F. H. Desenvolvimento tecnológico de vedações internas de placas de gesso acartonado. In: Seminário Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios: Vedações Verticais (1º. :1998: São Paulo). **Anais**; ed. por Sabbatini, Barros, Medeiros. São Paulo, EPUSP/ PCC, 1998. 308 p.

SOUZA, R. **A contribuição do conceito de desempenho para a avaliação do edifício e suas partes: aplicação a janelas de uso habitacional**. São Paulo, 1983. 181p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

_____. **O conceito de desempenho aplicado às edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, Julho 2015. 28 p.

SOUZA, R. D. F. Tecnologia Industrial Básica como fator de competitividade. 2009. **Parcerias estratégicas**, v. 5, n. 8, p. 103-126.

SOUZA, U. E. L. et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. In: **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33- 46, out./dez. 2004.

SQUICCIARINI, M.; ASIKAINEN, A.L. A value chain statistical definition of construction and the performance of the sector. **Construction Management and Economics**, 29, July 2011, p. 671-693. 2011.

STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE (SCI). **Infill walling**. SteelConstruction.info: The free encyclopedia for UK steel construction information. Disponível em: http://www.steelconstruction.info/Infill_walling. Acesso em: abril de 2015.

TANIGUTI, E. K. **Método construtivo de vedação vertical interna de chapas de gesso acartonado**. 1999. 293 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

TEIXEIRA, F; GUERRA, O. **Redes de aprendizado em sistemas complexos de produção**. 2002. RAE, v. 42, n. 4, 2002.

URIBE, P. C. D. **Análise Térmica e Energia Incorporada de Vedações para Habitações de Interesse Social. Estudo de Caso com Utilização do Steel Frame no Entorno do DF**. 2013. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

WAY, A. G. L.; LAWSON, R. M. **Design and instalation of light steel external wall systems**. Technical Report. SCI Document ED017. Ascot: Steel Construction Institute (SCI). 2013. 43 p.

WAY, A. G. L. **Durability of Light Steel Construction**. Technical information sheet. SCI Document ED022. Ascot: Steel Construction Institute (SCI). 2014. 4 p.

WARNOCK, A. C. C. **Estimation of Sound Transmission Class and Impact Insulation Class Rating for Steel Framed Assemblies**. 2008 Edition. Research Report. RP- 08 7. Washington, DC: American Iron and Steel Institute (AISI) and Steel Framing Alliance. November 2008. 49 p.

WESTPHAL, F.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. **Isolantes Térmicos e Acústicos para a Construção Civil**. LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações. Sem data. 51 p.
Disponível em: <http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/243.pdf>. Acesso em: dezembro de 2013.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205 p.

YU, M. **Skins, envelopes, and enclosures: concepts for designing building exteriors**. 1^o published. New York: Routledge, 2014. Taylor & Francis. 266 p.

APÊNDICE A

Levantamento de empreendimentos que utilizaram a tecnologia de fachada em chapas delgadas estruturadas em LSF e informações colhidas junto a profissionais do segmento

O quadro a seguir apresenta os empreendimentos visitados pela autora que fizeram uso da tecnologia de fachada em chapas delgadas e para os quais foi possível obter informações relevantes para o desenvolvimento deste trabalho. Outras informações foram acessadas por *websites* ou mesmo obtidas pelo contato com profissionais do mercado ou trazidas de referências bibliográficas.

Informações básicas dos empreendimentos

Data visita	Empreendimento	Tipologia	Tipo de estrutura	Vedação Horizontal	Equipam. utilizado
10/2014	E1	Residencial 7 andares	Concreto	Lajes planas	Andaime fachadeiro Elevador cremalheira
11/2014	E2	Hotel 9 andares	Concreto	Lajes protendidas	Balancins elétricos
8/2015	E3	Hotel	Metálica	<i>Steel Deck</i>	Plataforma cremalheira
8/2015	E4	Residencial 12 andares	Concreto	Lajes maciças	Balancins elétricos
3/2012	E5	Residencial 4 andares	<i>Light Steel Framing</i> e perfis laminados	Laje seca	Andaime fachadeiro
11/2013	E6	Residencial	Metálica	<i>Steel deck</i>	Andaime fachadeiro

Fonte: Autora

No Brasil, a maior parte das edificações que utilizaram a tecnologia estudada adotou a solução de placa cimentícia com tratamento de juntas. Por outro lado, nas avaliações

técnicas dos sistemas europeus se verificou o uso de revestimentos não aderidos, que ainda não é prática usual no mercado imobiliário brasileiro.

Na maior parte dos empreendimentos nos quais foram adotadas a tecnologia construtiva de chapas delgadas estruturadas em LSF, também foram adotadas outras inovações, como a ausência de vigas de borda, para o caso de estrutura de concreto. Ocorre também a utilização de algumas inovações arquitetônicas, como a utilização de esquadrias piso teto, piso box, *shafts* de sistemas prediais, entre outras. Não se pode afirmar que a utilização desses elementos sejam uma inovação, mas, se trata usos não comuns na tipologia do mercado imobiliário de padrão médio residencial. Pode-se também considerar inovador os equipamentos utilizados na execução de empreendimentos que empregaram a tecnologia estudada como, por exemplo, as plataformas cremalheiras, que não são práticas usuais nos canteiros de obras.

Em relação à vedação horizontal, notou-se que a adoção das fachadas leves, na maioria dos casos, foi vinculada à adoção de lajes planas, maciças ou protendidas. Esse sistema estrutural facilita a utilização do sistema de fachada leve em razão da ausência de vigas de borda permitindo maior produtividade. Ocorre também a utilização de lajes *steel deck*.

COMPONENTES E MÉTODO DE MONTAGEM

O empreendimento E1 utilizou os seguintes componentes, do externo para o interno: revestimento de 6 mm de *basecoat* + placa cimentícia de 12,5 mm + perfil de aço de 120 mm de largura + 1 placa de OSB + 1 chapa de gesso (15 mm), totalizando 163 mm de espessura de vedação vertical.

O empreendimento E4 contou com os seguintes componentes, do externo para o interno: revestimento de 6 mm de *basecoat* + placa cimentícia de 12,5 mm + perfil de aço de 120 mm + 2 chapas de gesso (15 mm cada), totalizando 168,5 mm de espessura de vedação vertical.

No empreendimento E1, os perfis guia de 120 mm foram instalados em balanço de 30 mm em relação à face externa da laje, para que o “plaqueamento” em chapas cimentícias fosse instalado de maneira contínua na fachada. O ajuste de prumo da

fachada foi realizado a partir de elemento de ancoragem fixado na estrutura de concreto. A colocação de perfis guias e montantes só foi iniciada após a finalização da estrutura de concreto para permitir a verificação do prumo e poder se adotar medidas de correção do prumo na instalação dos perfis, caso fosse necessário.

EQUIPAMENTOS DE OBRA UTILIZADOS PARA A FACHADA

Empreendimento E1 - Edifícios envoltos pelos andaimes fachadeiros e tela de proteção e utilização de elevador cremalheira

Fonte: foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E2 - Utilização de balancim elétrico e plaqueamento instalado de forma contínua

Fonte: Construtora Mazzini Gomes (junho de 2014)

Empreendimento E4 - Balancins elétricos utilizados somente em partes da fachada que não contavam com sacadas diminuindo a necessidade de equipamento de sustentação. O plaqueamento foi instalado de forma contínua

Fonte: Foto de Leonardo Andretta (agosto de 2015)

Empreendimento E3 - Utilização de plataforma cremalheira de grande extensão que, em relação aos balancins, por ser biapoada, gera menor impacto do vento, e pode gerar maior produtividade na instalação dos componentes da fachada e instalação de esquadrias

Fonte: Medabil - Vinicius Costa (outubro de 2011)

Empreendimento E3 - Perfis guias e perfis montantes em projeção em relação a laje e estrutura metálica com utilização de plaqueamento contínuo

Fonte: Medabil - Vinicius Costa (outubro de 2011)

INTERFACE COM SISTEMAS PREDIAIS

Empreendimento E1 - O projeto previu recolhimento de água pluvial do terraço e, em função desta tubulação, foi adotada viga de borda somente no vão do terraço, para permitir que a tubulação de água ficasse embutida em forro de gesso.

Fonte: foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Tubulação de drenagem do ar-condicionado instalada entre montantes e não no seu interior para evitar que a tubulação pudesse ser furada por parafusos no momento do plaqueamento

Fonte: foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Adoção de laje plana e chicotes elétricos. A adoção de lajes planas colaborou para a facilidade de instalação do sistema elétrico. Entretanto, a solução exigiu a instalação de forro em todo o andar e, para isto, foi utilizado o forro de chapas de gesso acartonado

Fonte: foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Tubulação de elétrica antes da aplicação das placas de fechamento e do forro

Fonte: <http://www.inovatecconsultores.com.br/portfolio>. Acesso em: setembro 2015

Empreendimento E4 - Abertura para instalação da tampa do sistema central de aspiração de pó

Fonte: foto da autora (agosto de 2015)

TRATAMENTOS DAS ABERTURAS E INTERFACE COM ESQUADRIAS

Os projetos de fachada dos empreendimentos E1, E3 e E4 são de autoria da Inovatec Consultores Associados cujo diretor é o Eng. Jonas Silvestre Medeiros.

Cada projeto contém a paginação das placas cimentícias, considerando-se o seu adequado posicionamento em relação aos vãos das janelas e das aberturas de ar condicionado. O projeto especificou tela de reforço em torno dos vãos de janelas, para evitar fissuras, perfis montantes duplos na extremidade desses vãos e fita de

isolamento acústico no encontro do pilar com o montante. Além disso, o projeto previu detalhes de interfaces das esquadrias com a fachada, tais como pingadeiras, platibandas, arremate no andar térreo, dentre outros detalhes necessários.

Projeto de detalhamento da fachada - Elevação de vedação vertical

Fonte: MEDEIROS et al. (2014)

Empreendimento E1 - Cantoneiras e telas para reforço nas arestas das aberturas de janelas

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Membrana de estanqueidade vista pelo lado interno das aberturas das janelas e do ar condicionado visando a proteger o interior do edifício da entrada de água de chuva, durante a obra. A instalação da membrana de estanqueidade e das placas cimentícias foi feita continuamente pelas aberturas. Os vãos das janelas e do ar condicionado foram abertos posteriormente.

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Pingadeira incorporada à esquadria de PVC

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E5 - A esquadria de alumínio contém uma moldura incorporada que visa a garantir a estanqueidade e facilitar sua instalação e fixação no sistema

Fonte: Foto da autora (março de 2012)

Empreendimento E5 - Utilização de placa OSB na fachada com aplicação de membrana de estanqueidade do lado externo e sobre a membrana *siding* vinílico

O empreendimento E2 - Pingadeira de granito associada à esquadria em PVC

Fonte: foto da autora (novembro de 2014)

Empreendimento E4 - Esquadria e peitoril em alumínio

Fonte: Foto da autora (agosto de 2015)

Empreendimento E4 - Utilizadas portas balcões até o teto com a consequente eliminação de execução de pequenas áreas de painéis aumentando a produtividade da fachada

Fonte: Foto da autora (agosto de 2015)

Empreendimento E1 - Chapas OSB utilizadas na camada interna dos painéis de fachada em toda a extensão das vedações de fachada para que o usuário possa fixar peças suspensas sem que haja necessidade de reforços adicionais permitindo maior liberdade ao usuário seja para a instalação de mobiliário ou de itens de decoração.

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

INTERFACE DA VEDAÇÃO VERTICAL COM A VEDAÇÃO HORIZONTAL

Empreendimento E1 - Trecho de placa cimentícia aplicada ao perfil guia para permitir a aplicação do contrapiso sobre a laje previamente à instalação da camada interna do painel de fachada. A barra impede que a argamassa úmida preencha a cavidade do perfil guia. Essa medida possibilita a instalação dos perfis em LSF antes da finalização do contrapiso nos andares superiores.

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Situação dos serviços para recebimento das divisórias internas: contrapiso, painel de fachada e esquadrias executados

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Base em concreto formando um “rodapé” de aproximadamente 25 cm no térreo do edifício para proteção dos painéis da ação da água de chuva. A elipse destaca a localização da banda acústica nas interfaces do perfil guia com as lajes inferior e superior, e na interface de perfis montantes com pilares

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E1 - Utilização de banda acústica entre guia inferior e “rodapé” de concreto que na foto é a área mais escura entre o topo da base da vedação vertical, o “rodapé” em concreto e o perfil galvanizado.

Fonte: Foto da autora (outubro de 2014)

Empreendimento E4 - Impermeabilização da base da vedação vertical de painel leve junto ao terraço para proteção contra umidade

Fonte: Foto de Leonardo Andretta (agosto de 2015)

PROTEÇÃO CONTRA INCÊNDIO

Os empreendimentos E1 e E4 utilizaram proteção ao fogo *fire-stop* em lã de rocha no topo das lajes.

Empreendimento E2 – Utilização de chapa de gesso resistente ao fogo (RF)

Fonte: Foto da autora (novembro de 2014)

TRATAMENTO DE JUNTAS

Empreendimento E2 - Junta aparente entre o plaqueamento na altura do 4º andar do edifício

Fonte: Foto da autora (novembro de 2014)

Empreendimento E1 – Tratamento de junta com tela entre a base da vedação vertical em concreto e a vedação vertical em placa cimentícia

Fonte: <http://www.inovateconsultores.com.br/portfolio>. Acesso em: setembro 2015

PRODUTIVIDADE

No empreendimento E4, segundo o engenheiro da obra e a arquiteta representante da empresa fornecedora de placa cimentícia, 8 pessoas trabalharam na fachada durante 7 meses para realizar 2.000 m² de fachada. Para a implantação de todo o sistema de fachada foram necessários 20 dias por andar, divididos em:

- 5 dias para a fixação dos perfis (instalados do piso até a face inferior da laje do piso superior);
- 2,5 dias para a aplicação da membrana de estanqueidade;
- 2,5 dias para a instalação da placa cimentícia;
- 5 dias para o tratamento de juntas e;
- 5 dias para a aplicação do *basecoat* e colocação da malha.

BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DA FACHADA

Também no empreendimento E4, o sistema de fachada colaborou para a logística da obra pela facilidade de armazenamento dos componentes nos andares, diminuindo a necessidade de áreas de estoque no térreo, que era limitada em função das dimensões do terreno. O sistema propiciou baixa emissão de resíduo particulado, melhorando a relação com a vizinhança, e menor desperdício na atividade de revestimento.

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS OU CAUSADORAS DE PROBLEMAS ESTÉTICOS

Fachada com chapas delgadas com revestimento em *siding* vinílico em Bragança Paulista (SP). A foto da direita mostra presença de fungos nas fachadas sem insolação direta.

Fonte: OLIVEIRA; FERRETI, 2015

Condensação na fachada e efeito “fantasma”

A figura seguinte mostra o “desenho” dos elementos da estrutura em LSF na superfície da camada externa do painel leve. A fotografia foi registrada em manhã de inverno bastante fria com baixa nebulosidade. Segundo representante da empresa fornecedora da placa cimentícia, o fenômeno é devido ao esfriamento da superfície externa da vedação vertical durante a noite, com temperatura na superfície da vedação mais baixa que a temperatura do ar, causando a condensação nas vedações

verticais. O fenômeno é comum em vedações verticais de camadas delgadas e reforçado pelo isolamento térmico. Ainda segundo a empresa, o efeito de “raio X” dos perfis é temporário, gerando uma consequência estética, sem nenhum efeito negativo sobre o edifício.

Fenômeno de condensação “fotografando” os perfis de aço

Fonte: Foto da autora (agosto de 2015)

EMPREENDIMENTO E6 EXECUTADO COM SISTEMA DE FACHADA F4

O empreendimento é um volume de dois andares construído em estrutura metálica em sobreposição a uma edificação existente.

Fonte: Foto Arquiteto René Deleval (fevereiro de 2012)

Conectores metálicos são fixados a estrutura existente para posterior fixação dos perfis galvanizados que suportam as chapas delgadas da fachada.

Fonte: Foto Arquiteto René Deleval (abril de 2012)

Lado interior do fechamento antes e depois da aplicação das chapas de gesso

Fonte: Foto Arq. René Deleval (2012 e 2013)

Vista externa da edificação com aplicação de chapas de revestimento não aderido

Fonte: Foto Arq. René Deleval (2013)

Estrutura em alumínio que recebe as chapas do revestimento não aderido.

Fonte: Foto Arq. René Deleval (2013)

APÊNDICE B

Organismos de desenvolvimento tecnológico da construção em aço

1. Organismos Nacionais

O Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) é uma entidade gerida pelo Instituto Aço Brasil cuja missão é “promover e ampliar a participação da construção em aço no mercado nacional realizando ações para sua divulgação e ampliando o desenvolvimento tecnológico”⁵⁵. O CBCA também promove a normalização no setor da construção civil e atua na divulgação das empresas da cadeia produtiva do aço.

2. Organismos Internacionais

American Institute of Steel Construction (AISC) é entidade não-lucrativa (fundada em 1921) para servir a comunidade da engenharia estrutural e aos agentes do setor da construção em aço nos EUA, incluindo especificação e desenvolvimento de códigos, pesquisa, educação, treinamento, assistência técnica, certificação, normalização e desenvolvimento de mercado.

American Iron and Steel Institute (AISI), que congrega e representa as empresas produtoras de aço norte-americanas, é uma entidade acreditada pelo *American National Standards Institute (ANSI)* para o desenvolvimento de normas e especificações e atua nas ações de desenvolvimento de mercado por meio do *Steel Market Development Institute (SMDI)*.

Canadian Sheet Steel Building Institute (CSSBI) é uma associação da indústria responsável pelo desenvolvimento de mercado e disseminação das boas práticas da construção com aços planos e provê consultoria para o público e fabricantes canadenses.

⁵⁵ CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO (CBCA). **Relatório de Atividades 2014**. 40 p. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/upfiles/downloads/relatorios/CBCA-Relatorio-de-Atividades-2014.pdf>. Acesso em: setembro 2015.

Certified Steel Stud Association (CSSA) é dedicada à certificação de perfiladores para assegurar que o mercado norte-americano receba produtos que cumpram as exigências das recentes normas e códigos das edificações. A certificação é dada por um organismo de terceira parte: *International Code Council Evaluation Service (ICC-ES)*.

Cold-Formed Steel Engineers Institute (CFSEI), também norte-americano, que reúne os projetistas estruturais de perfis formados a frio e tem como missão promover as boas práticas de projeto de estruturas em perfis formados a frio.

European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) é uma organização internacional composta das associações europeias estabelecida em 1955. O *ECCS* promove o uso do aço no setor da construção pelo desenvolvimento de normas e informação técnica e por participação em comitês ligados à normalização europeia, pesquisa e educação.

Steel Construction Institute (SCI) é uma entidade inglesa independente que atua na produção de informação e consultoria em engenharia e para a disseminação das melhores práticas no setor da construção em aço há 25 anos. A entidade presta consultoria para a indústria manufatureira e para a concepção de projetos. A entidade atua fortemente no desenvolvimento de material técnico. Por meio do *website Steel Construction Info*, dissemina informações sobre os sistemas construtivos em aço.

Steel Framing Alliance, também chamada de *North American Steel Framing Alliance (NASFA)*, é composta por profissionais da construção, fabricantes de perfis, produtores de aço, distribuidores, entre outros agentes da cadeia produtiva. A associação publica notas técnicas, guias de projeto e fornece assistência técnica e treinamento para construtores.

Steel Framing Industry Association (SFIA) é dedicada ao desenvolvimento do mercado para perfis em aço formados a frio nos EUA por meio de programas e iniciativas que promovam a sustentabilidade e sua eficácia em termos de custos.

Steel Stud Manufacturers Association (SSMA) atua nos EUA no desenvolvimento e manutenção das normas e especificações de qualidade de produto.