

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

GIOVANA INNOCENTI STRABELI

**DIRETRIZES PARA PROJETO E DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO: EDIFÍCIOS HABITACIONAIS**

**SÃO CARLOS
2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

GIOVANA INNOCENTI STRABELI

**DIRETRIZES PARA PROJETO E DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS
EM PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS DE CONCRETO: EDIFÍCIOS HABITACIONAIS**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos como requisito para a obtenção do título de Mestre em Estruturas e Construção Civil.

ORIENTADOR: Professor PhD. Marcelo de Araújo Ferreira

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Sistemas Construtivos

**SÃO CARLOS
2015**

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar
Processamento Técnico
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S894d Strabeli, Giovana Innocenti
Diretrizes para projeto e desempenho de sistemas
construtivos em painéis pré-moldados de concreto :
edifícios habitacionais / Giovana Innocenti Strabeli.
-- São Carlos : UFSCar, 2016.
156 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de
São Carlos, 2015.

1. Concreto pré-moldado. 2. Painéis. 3. Pré-
fabricação. 4. Projeto por desempenho. 5. Habitações.
I. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Giovana Innocenti Strabeli, realizada em 27/08/2015:

Prof. Dr. Marcelo de Araujo Ferreira
UFSCar

Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho
UFSCar

Prof. Dr. Libânio Miranda Pinheiro
USP

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

*à minha mãe Dircinha, pelo seu amor incondicional por mim, por ser mãe e
pai;*

*à minha avó Dirce, bimagrinha amada, que acredita em mim acima de tudo e
de todos;*

*e à minha afilhada Luana, pela presença adorável, ainda que limitada, e pelo
carinho que me é demonstrado.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde, pela iluminação e pelas graças que me foram concedidas para a realização deste trabalho.

À minha mãe, pela onipresença e pela revisão criteriosa do texto.

À minha avó, por todas as velinhas acesas, e por confiar na minha capacidade.

Aos meus tios e às minhas primas, pela paciência, pela confiança e pela compreensão em todas as vezes que eu não podia estar presente.

À Meglaine Aparecida, pelas energias positivas e pelos carinhos infinitos, quando eu estava desmotivada.

Ao Prof. PhD Marcelo de Araújo Ferreira, pela amizade, paciência e pelo entusiasmo em incluir esta arquiteta no mundo da engenharia. Por todos os ensinamentos, esclarecimentos e por todo material disponibilizado.

Ao Prof. Dr. José Carlos Paliari, pela coordenação paternal e por toda ajuda que me foi concedida.

Ao Eng. Ms. Fabrício Tomo, pela disposição e pela disponibilidade em me fornecer o material necessário para este trabalho.

Aos meus amigos de departamento, por transformar esta etapa da minha vida, em momentos de alegria e de companheirismo.

Ao meu amigo de além mar Victor Mascarenhas, pela presença em minha vida mesmo com um oceano entre nós.

Aos meus alunos, pelo reconhecimento e pelo afeto.

Por fim À CAPES, pelo suporte financeiro, sem o qual este trabalho não poderia ser concretizado.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”. (Marcel Proust)

RESUMO

O déficit habitacional no Brasil era de 5,6 milhões em 2008, sendo 83,5% na área urbana, onde para atender esta demanda seria necessário o emprego da construção industrializada. Sistemas construtivos com painéis pré-moldados para residências foram amplamente aplicados na Europa após a Segunda Guerra Mundial, e também têm sido aplicados recentemente em países da América Latina e Ásia. Embora construtoras venham utilizando sistemas com painéis pré-moldados para habitações no Brasil desde a década de 80, a falta de normas prescritivas para projeto em painéis demanda certificações para cada sistema, que precisam atender aos requisitos de desempenho conforme a ABNT NBR 15575:2013. Com o objetivo de aumentar a aplicação de sistemas pré-fabricados, uma nova norma de prescrições brasileira, baseada em referências técnicas e normativas internacionais, foi concluída e aguarda sua aprovação final. Somente com integração entre os projetos das diferentes disciplinas é possível obter uma otimização de desempenho, construtibilidade e sustentabilidade da edificação, mas também deve haver a interação de projeto enquanto produto e produção, partindo do desenvolvimento do produto, com análise do valor agregado para cada solução de projeto até a racionalização do processo de produção, onde o nível de pré-fabricação depende do número e repetição das unidades a serem empreendidas. O objetivo desta pesquisa é identificar e sistematizar diretrizes de projeto com base no desempenho para sistemas construtivos em painéis pré-moldados de concreto, com aplicação em edifícios habitacionais. A revisão da literatura foi desenvolvida a partir das referências e normas internacionais, passando pelo estudo de normas brasileiras, incluindo o projeto de norma de painéis pré-moldados de concreto. Além disso, esta pesquisa apresenta os principais tipos de painéis e principais tipologias com potencial de aplicação para construções residenciais no Brasil. Finalmente, apresenta-se um exemplo de aplicação de avaliação de desempenho com a discussão de alguns resultados. Este estudo demonstra que arquitetos e engenheiros estruturais poderão, com a aprovação da nova normalização brasileira, desenvolver projetos com painéis pré-moldados em concreto com base em prescrições técnicas e simulações numéricas, sem a necessidade de se realizar novos ensaios para certificação para cada nova aplicação de sistemas construtivos pré-fabricados com painéis.

Palavras-chave: Concreto Pré-Moldado, Painéis, Pré-fabricação, Projeto por desempenho, Habitações, Sistemas Construtivos

ABSTRACT

The estimated housing deficit in Brazil was 5.6 million in 2008, in which 83.5% was in urban areas, wherein to meet such demand there is a need for industrialized construction. Prefabricated building systems with precast panels for residential buildings were largely applied in Europe after the Second World War and it has been applied recently in countries of Latin America and Asia. Although construction companies have been using building systems with precast panels for affordable housing in Brazil since the 80's, the absence of a prescriptive code of practice for design of precast panels demands certification for each system, which needs to meet the performance requirements according to ABNT-NBR 15575:2013. In order to increase the application of prefabricated systems a new Brazilian Code of Practice for Precast Panels, based on international codes, has been concluded and it is now waiting for final approval. In order to achieve optimum performance, constructability and sustainability of the building project there is a need for integration between architectural and structural designs, as well the interaction between product and production, starting from product development based on the analysis of added value for each project until the rationalization of the processes. The level of prefabrication depends on the number and repetition of units. The aim of this research is to identify and define design guidelines based on performance for building systems with precast concrete panels for residential buildings. The literature revision was carried out starting from international references and codes until the study of the Brazilian codes of practice, including the new code for precast concrete panels. In addition, the research presents the main types of panels and typologies for residential buildings with potential to be applied in Brazil. Finally, an example of performance based design for precast concrete panels is presented with some discussions. This study demonstrate that architects and structural engineers can now design building systems with precast panels based on the new codes of practice and numeric simulations without the need of further tests for certification.

Keywords: *Precast Concrete, Panels, Prefabrication, Performance based design, Housing, Building Systems*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Reprodução parcial dos desenhos de Lambot	18
Figura 1.2: Projeto de Conjunto Habitacional – Planta	21
Figura 1.3: Índices de consumo de concreto pré-moldado	22
Figura 1.4: Tipologia de Paredes Portantes da construtora Pedreira de Freitas	24
Figura 2.1: Tipos de seção transversal de painéis	33
Figura 2.2: Seção da estrutura de concreto com espessura t_{ef} relativa	36
Figura 2.3: Seção transversal painel maciço.	36
Figura 2.4: Seção transversal painel alveolar	37
Figura 2.5: Seção transversal painel nervurado	37
Figura 2.6: Seção transversal painel sanduíche sem ligações rígidas	38
Figura 2.7: Seção transversal painel de camada dupla	38
Figura 2.8: Comprimento equivalente (l_e)	42
Figura 2.9: Exemplo de painéis pré-moldados de concreto externos e internos	48
Figura 2.10: Representação esquemática do sistema de parede integral	50
Figura 2.11: Representação esquemática do sistema de paredes transversais – travamento	51
Figura 2.12: Representação esquemática do sistema de painéis espinhas	52
Figura 2.13: Painéis sanduíche em fachadas atuando como elementos estruturais.	53
Figura 2.14: Viga peitoril em fachadas atuando como elementos estruturais.	54
Figura 2.15: Esquema de instalação dos painéis não estruturais em fachadas	55
Figura 2.17: Vários tipos de painéis arquitetônicos de parede estruturais.	57
Figura 2.18: Tipos de arranjos utilizando painéis L e T e painéis individuais.	60
Figura 2.19: Condições de exposição conforme as regiões brasileiras	91
Figura 2.20: Zoneamento bioclimático do Brasil	93
Figura 3.1: Redução das opções e alternativas na cadeia produtiva de sistemas pré-moldados de concreto.	105
Figura 3.2: Esteiras Horizontais – tipo carrossel	106
Figura 3.3: Forma vertical – tipo bateria.	107
Figura 3.4: Ciclo Fechado	109
Figura 3.5: Ciclo Aberto	110
Figura 3.6: Influência do Projeto sobre os custos durante o ciclo do empreendimento	116
Figura 4.1: Planta arquitetônica do Pavimento tipo.	125
Figura 5.1: Dimensionamento das circulações entre mobiliário.	132
Figura 5.2: Dimensões recomendadas para circulação entre mobiliário de dormitórios.	132
Figura 5.3: Dimensões recomendadas para circulação entre mobiliário de dormitórios.	133
Figura 5.4: Dimensões recomendadas para circulação em salas de jantar.	133
Figura 5.5: Dimensionamento das portas e representação da rotação da cadeira de rodas.	134

Figura 5.6: Dimensionamento mínimo de portas.	135
Figura 5.7: Dimensões mínimas para rotação de cadeira de rodas sem deslocamento.	135
Figura 5.8: Espessuras dos painéis de vedação externos e internos de uma unidade habitacional.	137
Figura 5.9: Sistema de ligações entre os painéis de fachada e laje com a aplicação da gola.	139
Figura 5.10: Diagrama da inércia térmica.	140
Figura 5.11: Dimensões dos painéis de parede de fachada – destaque azul.	143
Figura 5.12: Espessuras mínimas de parede.	144
Figura 5.13: Dimensões dos painéis de geminação – destaque verde.	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado	35
Tabela 2.2: Recomendação de espessura do painel em função das dimensões da superfície.....	42
Tabela 2.3: Dimensões de painéis pré-moldados para sistemas de paredes (fechamento).....	47
Tabela 2.4: Vida útil de projeto.....	70
Tabela 2.5 Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço (ver nota)	75
Tabela 2.6 Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão	76
Tabela 2.7 Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento.....	77
Tabela 2.8 Impacto de corpo mole para vedações verticais internas.....	80
Tabela 2.9 Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural	82
Tabela 2.10 Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, sem função estrutural	83
Tabela 2.11 Impacto de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas)	85
Tabela 2.12 Impactos de corpo duro para vedações verticais internas.....	85
Tabela 2.13 Classificação dos materiais tendo como base o método ABNT NBR 9442	87
Tabela 2.14 Classificação dos materiais tendo como base o método EN 13823.....	88
Tabela 2.15: Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas	91
Tabela 2.16: Estanqueidade à água de vedações verticais externas (fachadas) e esquadrias.....	92
Tabela 2.17 Transmitância térmica de paredes externas.....	94
Tabela 2.18 Capacidade térmica de paredes externas	94
Tabela 2.19 Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar	95
Tabela 2.20 Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2_{m,n}T,w}$, da vedação externa de dormitório	95
Tabela 2.21 Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes	96
Tabela 3.1: Quantidade de paredes necessárias para envolver diversas formas geométricas de plantas de edifícios.	120
Tabela 3.2: Critérios para avaliação do Índice de Compacidade (I_c).....	122
Tabela 3.3: Critérios para avaliação de Densidade de Paredes (D_p).	123
Tabela 5.1: Índice de compacidade para o Edifício 1.	130
Tabela 5.2: Densidade de paredes para o Edifício 1.	130
Tabela 5.3: Classificação do edifício segundo NBR 14432 (2001).....	136
Tabela 5.4: Classificação dos painéis de parede quanto ao material, espessura e aplicação.	138
Tabela 5.5: Classificação do dimensionamento dos vãos das unidades habitacionais.	142

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Roteiro para aplicação do Índice de Compacidade (I_c).....	122
Quadro 3.2: Roteiro para cálculo do indicador de Densidade de Paredes (D_p)	123
Quadro 4.1: Roteiro para aplicação dos critérios e requisitos de desempenho em edifícios habitaçãois.	124

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BNH – Banco Nacional para Habitação.
- CBC – Centro Brasileiro da Construção.
- CII – Constructability Industry Institute.
- DATec's – Documento de avaliação técnica.
- D_p – Densidade de Paredes.
- FIB – Federação Internacional do Concreto.
- Ic – Índice de Compacidade.
- PBQP-h – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat.
- PCI – Precast/Prestressed Concrete Institute.
- PPPC – Painéis de parede pré-moldados portantes de concreto.
- SCPPC – Sistema construtivo em painéis pré-moldados de concreto.
- SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas.
- SVVE – Sistema de Vedação Vertical Externa.
- SVVI – Sistema de vedação vertical interna
- SVVIE – Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas.
- VU – *Vida Útil*
- VUP – Vida Útil de Projeto.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	VI
ABSTRACT	VII
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE QUADROS	XI
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XII
SUMÁRIO	XIII
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 A EVOLUÇÃO DO PRÉ-MOLDADO	17
1.2 JUSTIFICATIVA	22
1.3 OBJETIVOS	27
1.3.1 Objetivo Geral	27
1.3.1 Objetivos Específicos	27
1.4 METODOLOGIA	28
1.4.1 Estudo de aplicação	28
1.4.2 Diagnóstico e discussões	29
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	29
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
2.1 OS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS EM CONCRETO	30
2.2 ABNT NBR 9062:2006 – PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO	34
2.3 NBR PN_18_600_19 DE PAREDE PRÉ-MOLDADOS – DRAFT. JANEIRO, 2015	35
2.3.1 Classificação dos painéis de parede quanto a sua seção transversal	35
2.3.1.1 Painel de parede maciço	36
2.3.1.2 Painel de parede alveolar não estrutural	37
2.3.1.3 Painel de parede nervurado	37
2.3.1.4 Painel de parede sanduíche sem ligação rígida	38
2.3.1.5 Painel de parede de camada dupla	38
2.3.2 Classificação dos painéis de parede quanto à função	39
2.3.3 Classificação dos painéis de parede quanto ao acabamento	39
2.3.4 Classificação dos painéis de parede quanto ao comportamento estrutural	39
2.3.5 Requisitos de qualidade da estrutura	39
2.3.6 Requisitos da qualidade de projeto	40
2.3.7 Requisitos de durabilidade	41
2.3.8 Dimensionamento de painéis de parede	41

2.3.9 Considerações em situação de Incêndio	43
2.4 FIB (2013) – PLANNING AND DESIGN HANDBOOK ON PRECAST BUILDING STRUCTURES	44
2.4.1 Painéis pré-moldados de concreto	46
2.4.2 Sistema estrutural em painéis pré-moldados de concreto	49
2.4.2.1 Sistema de parede integral	50
2.4.2.2 Sistema de travamento por parede transversal – travamento	50
2.4.2.3 Sistema de parede espinha	51
2.4.3 Sistema de fachadas de concreto pré-moldado	52
2.4.3.1 Painéis de fachada pré-moldados estruturais	52
2.4.3.2 Painéis de fachada não estruturais	54
2.5 PCI (2007) – ARCHITECTURAL PRECAST CONCRETE	55
2.5.1 Os painéis de fachada pré-fabricados estruturais	56
2.5.2 Painéis pré-moldados de fachada não estruturais	58
2.6 DIRETRIZ Nº 2 DO SINAT – SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA	61
2.7 ABNT NBR 15575 - 1 EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO. REQUISITOS GERAIS	62
2.7.1 Avaliação de desempenho	63
2.7.2 Segurança contra incêndio	63
2.7.3 Segurança no uso e na operação	65
2.7.4 Estanqueidade	66
2.7.5 Desempenho térmico	66
2.7.6 Desempenho acústico	67
2.7.7 Desempenho lumínico	68
2.7.8 Durabilidade e manutenibilidade	69
2.7.9 Funcionalidade e acessibilidade	70
2.7.10 Conforto tátil e antropodinâmico	71
2.7.11 Adequação ambiental	72
2.8 ABNT NBR 15575 – 4 EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO PARTE 4: SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS – SVVIE	73
2.8.1 Desempenho estrutural	73
2.8.2 Segurança contra incêndio	86
2.8.3 Estanqueidade	90
2.8.4 Desempenho térmico	92
2.8.5 Desempenho acústico	95
2.8.6 Durabilidade e manutenibilidade	96
3 DIRETRIZES DE PROJETOS	98
3.1 SUSTENTABILIDADE	101
3.2 CONSTRUTIBILIDADE	102
3.3 INTEGRAÇÃO PROJETO – PRODUÇÃO	103
3.4 OS SISTEMAS INDUSTRIAIS DE CONSTRUÇÃO	107
3.4.1 Ciclo Fechado	108
3.4.2 Ciclo Aberto	110
3.4.3 Ciclo Flexibilizado	112
3.5 EFICIÊNCIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO	113
3.5.1 Modulação	117
3.5.2 Coordenação Modular	118

3.6 DESEMPENHO DE PROJETO	118
3.6.1 Índice de compacidade (I_c)	121
3.6.2 Densidade de Parede (D_p)	122
4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO	124
4.1 ETAPA PROJETUAL	126
4.1.1 Índice de compacidade	126
4.1.2 Densidade de parede	126
4.1.3 Durabilidade e manutenibilidade	126
4.1.4 Funcionalidade e acessibilidade	126
4.2 ETAPA CONSTRUTIVA	126
4.2.1 Desempenho estrutural	127
4.2.2 Segurança contra incêndio	127
4.3 ETAPA DE USO E OPERAÇÃO	127
4.3.1 Parede de vedação externa (fachada)	127
4.3.1.1 Estanqueidade	127
4.3.1.2 Segurança contra incêndio	128
4.3.1.3 Desempenho térmico	128
4.3.1.4 Desempenho acústico	128
4.3.1.5 Durabilidade e manutenibilidade	128
4.3.2 Parede de vedação interna (unidades)	128
4.3.2.1 Segurança contra incêndio	129
4.3.2.2 Desempenho acústico	129
5 DIAGNÓSTICO E DISCUSSÕES	130
5.1 ETAPA PROJETUAL	130
5.1.1 Índice de compacidade	130
5.1.2 Densidade de paredes	130
5.1.3 Durabilidade e manutenibilidade	131
5.1.4 Funcionalidade e acessibilidade	131
5.2 ETAPA CONSTRUTIVA	136
5.2.1 Desempenho estrutural	136
5.2.2 Segurança contra incêndio	136
5.3 ETAPA DE USO E OPERAÇÃO	138
5.3.1 Parede de vedação externa (fachada)	138
5.3.1.1 Estanqueidade	138
5.3.1.2 Segurança contra incêndio	139
5.3.1.3 Desempenho térmico	139
5.3.1.4 Desempenho acústico	142
5.3.1.5 Durabilidade e manutenibilidade	143
5.3.2 Parede de vedação interna (unidades)	144
5.3.2.1 Desempenho acústico	144
6 CONCLUSÕES	146

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	146
6.2 DOS OBJETIVOS	147
6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE APLICAÇÃO	148
6.4 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS	149
6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	149
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	151

1 INTRODUÇÃO

O concreto pré-moldado, mesmo sendo um sistema construtivo que teve sua origem no início do século XX, ainda é considerado objeto de diversos estudos que visam o aprimoramento de suas aplicações bem como de seus projetos.

Apesar de ser aplicado no Brasil apenas em grandes empreendimentos, como infraestrutura urbana, industrial e comercial, tem se verificado gradativamente o incentivo ao uso do pré-moldado em outros setores, como habitacionais.

Se por um lado a execução de obras industriais e comerciais difundiu a pré-fabricação, por outro, o sistema construtivo com pré-fabricado passou naquele momento a ser associado a obras com pouca liberdade arquitetônica. (DONIAK; GUTSTEIN, 2012)

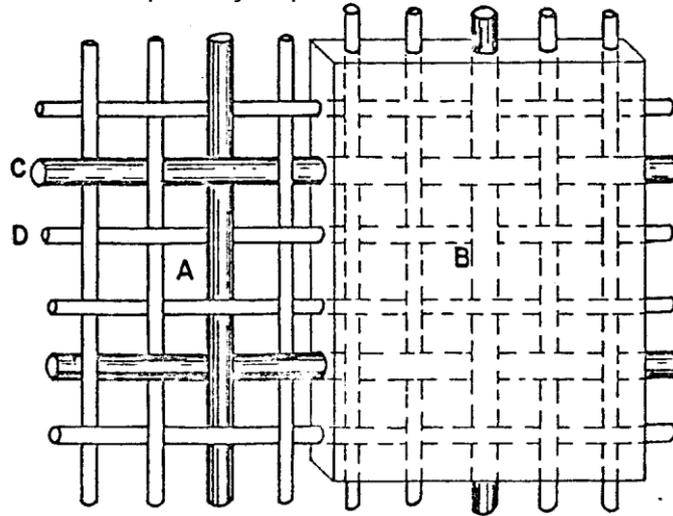
1.1 A EVOLUÇÃO DO PRÉ-MOLDADO

Desde o seu precursor – o *fercement*, esboçado por Lambot, engenheiro e construtor francês – o pré-moldado ganhou destaque e sua aplicação foi amplamente difundida a partir da Segunda Guerra Mundial já que, com os países europeus destruídos, era necessária rápida intervenção e reconstrução dos edifícios de todos os segmentos como residenciais, industriais, comerciais e institucionais.

Lambot (1856, apud HANAI¹, 1981, p. 1-2) descrevia o *fercement* (Fig. 1.1) como “uma rede ou conjunto de arames ou barras metálicas encaixadas ou cimentadas juntas com cimento hidráulico de tal maneira a formar vigas ou pranchas de qualquer tamanho desejado”. O engenheiro acreditava, também, que o material possuía características impermeáveis, aplicando-o na produção de vasos, reservatórios e, principalmente, em barcos.

¹ HANAI, João Bento de. **Construções de Argamassa Armada: Situação, Perspectivas e Pesquisas**. 1981. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

Figura 1.1: Reprodução parcial dos desenhos de Lambot



A - MALHA; B - ARGAMASSA; C - BARRA; D - TELA

Fonte: Lambot, apud Hanai, 1981, p. 1-2

Apesar de a construção civil ainda ser considerada ao longo da sua história uma indústria atrasada devido a diversos fatores, como “baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade” (AZEVEDO; SANTOS, 2010), tem se verificado constantes avanços tecnológicos que traduzem a real necessidade dos seres humanos. Vale ressaltar que esses avanços exprimem sua clara capacidade de se adaptar e, fundamentalmente, de criar novas perspectivas e artifícios que em geral resultam em desenvolvimento.

O desenvolvimento da construção civil permitiu o aprimoramento de técnicas empregadas em edificações, assim como o surgimento de novas tecnologias que, aliadas ao conhecimento técnico e científico, possibilitaram a dinamização dos processos de produção de estruturas de concreto. (PERES, 2006, p. 19.)

Segundo Ordóñez² (1974 apud PERES, 2006): “[...] a industrialização da construção é o emprego, de forma racional e mecanizada, de materiais, meios de transporte e técnicas construtivas, para se conseguir uma maior produtividade”. Koncz³ (1975 apud PERES, 2006) ainda define a pré-fabricação como “[...] um método industrial de construção em que os elementos fabricados, em grandes séries, por métodos de produção em massa, são montados na obra, mediante equipamentos e dispositivos de elevação”.

A NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado (ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2006) define elemento pré-moldado como elemento moldado previamente e fora do local de utilização definitiva na estrutura, conforme especificações estabelecidas; elemento pré-fabricado como elemento pré-moldado executado industrialmente, em instalações permanentes de empresa destinada para este fim, que se enquadram e atendem aos requisitos mínimos das especificações como a matéria-prima previamente qualificada por ocasião da aquisição e posteriormente através da avaliação de seu desempenho com base em inspeções de recebimento e ensaios. Estrutura específica para controle de qualidade, laboratório e inspeção das etapas do processo produtivo.

Chastre; Lúcio (2012) afirmam que o processo de fabricação controlado garante a qualidade e durabilidade dos elementos pré-fabricados, o que faz dessa modalidade de construção uma característica vantajosa.

Salas⁴ (1988 apud Serra et al. 2005) considera a utilização dos pré-fabricados de concreto dividida nas três seguintes etapas:

²ORDÓÑEZ, J. A. F. **Prefabricación: teoría y práctica**. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974. 2 vol.

³KONCZ, T. **Handbuch der fertigteilbauweise**. Berlin: Bauverlag, 1966.

⁴SALAS, S. J. (1988). **Construção industrializada: pré-fabricação**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

- de 1950 a 1970 – período em que, devido à falta de edificações ocasionadas pela devastação da guerra, houve a necessidade de se construir diversos edifícios, tanto habitacionais quanto institucionais e industriais. Os edifícios construídos nessa época eram compostos de elementos pré-fabricados, cujos componentes eram procedentes do mesmo fornecedor, constituindo o que se convencionou de chamar de ciclo fechado de produção.
- de 1970 a 1980 – período em que ocorreram acidentes com alguns edifícios construídos com grandes painéis pré-fabricados. Esses acidentes provocaram, além de uma rejeição social a esse tipo de edifício, uma profunda revisão no conceito de utilização nos processos construtivos em grandes elementos pré-fabricados. Neste contexto, ocorreu o início do declínio dos sistemas pré-fabricados de ciclo fechado de produção.
- pós 1980 – esta etapa caracterizou-se, em primeiro lugar, pela demolição de grandes conjuntos habitacionais, justificada dentro de um quadro crítico, especialmente de rejeição social e deterioração funcional. Em segundo lugar, pela consolidação de uma pré-fabricação de ciclo aberto⁵, à base de componentes compatíveis, de origens diversas.

No Brasil, o desenvolvimento e aplicação dos pré-moldados se deram morosamente, já que o país não sofreu as graves destruições decorrentes da guerra; então, não houve a real necessidade de reconstruir cidades “às pressas” com um novo sistema construtivo.

Segundo Vasconcelos⁶ (2002) apud Doniak; Gutstein (2012) “o primeiro marco da pré-fabricação de concreto corresponde à obra do Hipódromo da Gávea no Rio de Janeiro em 1926”. Porém, somente na década de 50 que os primeiros projetos pontuais em pré-fabricação começaram a ser desenvolvidos nas construções de galpões.

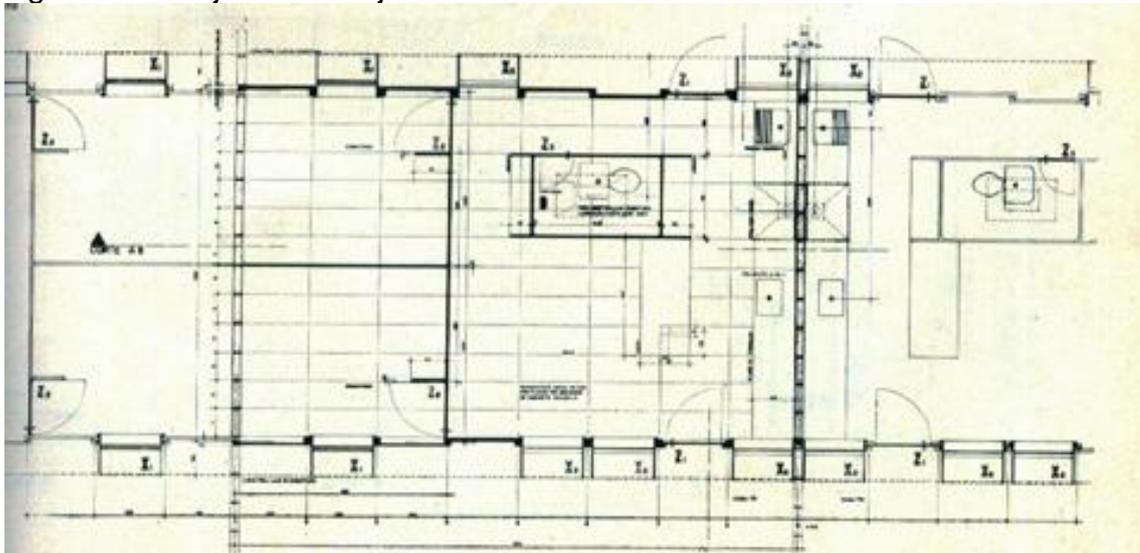
⁵Segundo BRUNA (1976, apud SERRA, 2005), “a industrialização de componentes destinados ao mercado e não, exclusivamente, às necessidades de uma só empresa é conhecida como ciclo aberto”.

⁶VASCONCELOS, A. C. **O concreto no Brasil**. v. 3: Pré-Fabricação – Monumentos – Fundações. São Paulo: Studio Nobel, 2012

É importante ressaltar que essa caracterização da indústria da construção civil como retrógrada e artesanal se dá pelo fato de que, até a década de 70, esse setor era financiado pelo Estado, sem nenhum incentivo ao desenvolvimento ou ao progresso continuado; fator aliado ao fato de que a mão de obra nos canteiros era formada por operários sem qualquer qualificação e, na sua grande maioria, analfabetos, o que dificultava ainda mais o caminho para as inovações.

No início da sua atuação, o BNH – Banco Nacional para Habitação adotou uma política de desestímulo à pré-fabricação no setor da habitação, tentando privilegiar a geração de empregos. E, na segunda metade dos anos 70, o banco adotou novas diretrizes para o setor, reorientando sua atuação para o atendimento das camadas de menor poder aquisitivo, passando a estimular (ainda que timidamente) a introdução de novas tecnologias, como a construção com elementos pré-fabricados de concreto. (Figura 1.2) (OLIVEIRA, L. A. 2002, p. 06).

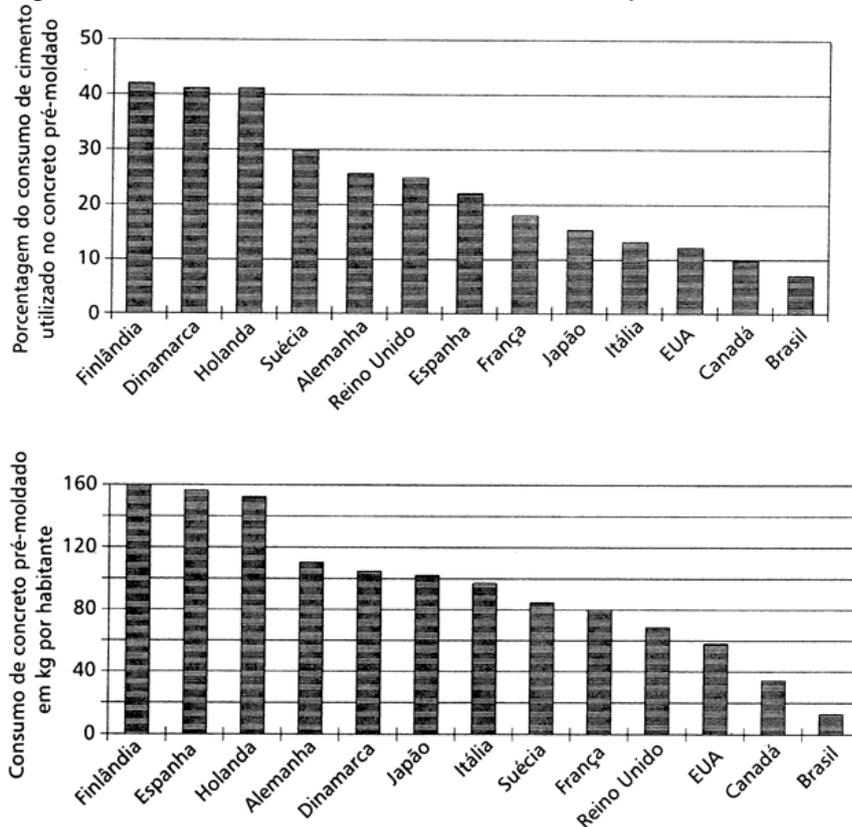
Figura 1.2: Projeto de Conjunto Habitacional – Planta.



Fonte: Unidade...(2015)

Entretanto, o Brasil ainda se mostra na última posição em porcentagem de consumo desse sistema construtivo, como mostra a Figura 1.3:

Figura 1.3: Índices de consumo de concreto pré-moldado



Fonte: Tupamaki,⁷ (1992, apud EL DEBS, 2000).

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Maria Salette de Carvalho Weber (2011), coordenadora do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat – PBQP-h, o déficit habitacional estimado em 2008 é de 5,6 milhões de habitações, sendo 4,6 milhões na área urbana, o que representa 83,5% dessas unidades.

⁷ TUPAMAKI, O.(1992). **Moving towards componentes system building (CSB)**. In: HOGESLAG, A. J.; VAMBERSKY, J. N.; WALRAVEN, J. C. (eds.). Automation and logistics in precast concrete (Proc. Int. Symp. Of Delft Precast Concrete Institute, Delft, The Netherlands, October 22-23, 1992) Delft, Delft University Press, p. 67-80.

Weber (2011) denota que entre 2008 e 2010 foram construídas 1 milhão de unidades habitacionais dentro do Programa Minha Casa Minha Vida, e para a segunda fase desse programa, iniciada em 2011 com previsão de término em 2015, a proposta do governo é de 2 milhões de habitações, com investimento de 80,5 bilhões de dólares distribuídos entre subsídios e financiamentos.

A constante demanda populacional aliada ao crescente incentivo econômico do governo brasileiro à aquisição do imóvel próprio são as principais motivações para esta pesquisa que visa à aplicação de um sistema construtivo, aplicado há muitos anos em projetos de grandes empreendimentos como comerciais, industriais e institucionais.

Vale destacar que em muitos países esse sistema construtivo já é aplicado em grande escala e que, apesar de condições climáticas e geomorfológicas serem diferentes, muitas das normas internacionais podem oferecer informações e detalhamentos importantes, e servirem como alicerces para as normas nacionais.

No Brasil já existem alternativas de sistemas com painéis pré-moldados de concreto, tendo inclusive construtoras certificadas pelos principais órgãos como o PBQP-h através do Sistema Nacional de Avaliações Técnicas – SINAT, e pela Caixa Econômica Federal com o Selo Azul; porém, a inexistência de normas prescritivas específicas para a tipologia de painéis restringe a maioria das empresas. À vista disso, foi formada uma comissão técnica da ABNT para desenvolver a nova norma de painéis que organizará os principais requisitos e critérios de desempenho fomentando engenheiros e arquitetos na expansão de projetos com este sistema construtivo.

O sistema construtivo em painéis pré-moldados de concreto – SCPPC pode significar, em muitos aspectos, diversas vantagens como, por exemplo, no Projeto Arquitetônico: a flexibilidade passa a ser palavra-chave. Os indivíduos buscam a todo momento produtos únicos que os diferenciem dos demais e, principalmente, que representem sua personalidade.

O SCPPC possibilita isso, uma vez que a compartimentação interna das unidades habitacionais pode ser diferenciada conforme as necessidades dos clientes e, ainda, ser solucionada integrando outros sistemas construtivos, como o *drywall* e até mesmo a alvenaria convencional. Outro ponto crucial que evidencia os benefícios do objeto deste estudo é a versatilidade no arranjo dos painéis e da abertura de vãos nas fachadas, garantindo mais uma vez a flexibilidade.

As tipologias empregadas no Brasil são, em sua grande maioria, no sistema total de paredes em que todas elas são estruturais (Figura 1.4), inclusive as utilizadas na compartimentação das unidades. Esse repertório acarreta maior custo ao empreendimento, graças ao adensamento de paredes.

Figura 1.4: Tipologia de Paredes Portantes da construtora Pedreira de Freitas



Fonte: Caderno de recomendações de Painéis Portantes – Pedreira de Freitas, 2010.

Portanto, do ponto de vista do Projeto Estrutural, a melhor proposta seria o uso racional dos painéis, ou seja, reduzir o número de paredes estruturais, já que para cumprir com o seu desempenho e atingir os critérios exigidos pelas normas, como resistência contra incêndio, estanqueidade e isolamento térmico e acústico, a espessura mínima do painel deve ser entre 10 e 12 cm e, quando se trata de painéis maciços de concreto, esse fator pode se tornar um inconveniente desde o seu transporte e instalação até ao uso e ocupação do cliente. O ideal seria desenvolver o projeto destinando esses painéis estruturais ao limite periférico das unidades e, ainda, às caixas de escadas e serviços, o que possibilitaria a planta livre sem compartimentação; ressalta-se, ainda, que quando aliados às lajes alveolares protendidas – que podem cobrir grandes vãos – é possível observar a otimização da estabilidade global do edifício, já que elas oferecem melhor eficiência mecânica e maior inércia, graças ao concreto protendido e sua armadura ativa.

No âmbito da produção, a construtibilidade desse empreendimento se dará através de alguns pontos fundamentais, como a integração entre estrutura e subsistemas como esquadrias e sistemas prediais. Característica inerente a projetos racionalizados e ao sistema construtivo pré-moldado, a coordenação modular contribui consideravelmente com a padronização dos elementos e igualmente para a redução de painéis. Esses fatores combinados favorecem a diminuição de estoques em fábricas e canteiros e, também, o número de ligações entre os elementos.

Em suma, a concepção racionalizada de projetos arquitetônico e estrutural e a organização na produção são itens imprescindíveis ao sucesso do empreendimento, visto que a combinação desse repertório promove a redução do peso da estrutura, fator que agrega valor ao projeto, além de baratear o transporte, facilitar e acelerar a montagem, entre outros. Outro ponto crucial a ser considerado é o número de unidades que serão empreendidas, já que a eficiência da racionalização depende consideravelmente das repetições das peças que serão produzidas.

Weber (2011) afirma que o desafio da sustentabilidade nas habitações é o equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica para a redução do déficit habitacional e requalificação urbana, fator que remete a outro aspecto relevante no emprego dos sistemas racionalizados de construção, já que em seu processo controlado de produção é possível minimizar os impactos ao meio ambiente através de projetos e materiais específicos. Schokker⁸ (2010 apud DONIAK; GUTSTEIN, 2012) enumera uma série de benefícios obtidos através da construção racionalizada, entre elas:

- a possibilidade de reutilização e reciclagem de elementos pré-moldados;
- redução de formas e resíduos em canteiro;
- otimização de peças através de melhor dimensionamento graças ao concreto protendido;
- melhorias na eficiência energética do edifício, entre outras.

Assim, é de vital importância que haja uma reprogramação da mentalidade de projetistas que reconhecem os projetos em pré-moldados como inflexíveis e padronizados, visto que, com a evolução das tecnologias e com um planejamento interdisciplinar, é possível propor soluções criativas e personalizadas.

Esta pesquisa propõe-se a solucionar alguns dos problemas mais frequentes relacionados à adoção desse sistema construtivo, como:

- projeto: desenvolvimento, especificação e defesa;
- mentalidade dos projetistas: padronização x personalização;
- ausência de normas: nacionais e específicas;
- adequação de parâmetros: durabilidade e desempenho;
- sustentabilidade e funcionalidade, construtibilidade e preço.

⁸ SCHOKKER, A. J. **The Sustainable Concrete Guide – Applications**. 2 ed. Farmington Hills: US Green Concrete Council (USGCC), 2010.

A hipótese inicial desta pesquisa seria estudar alternativas onde a tipologia construtiva empregaria paredes estruturais somente no contorno dos apartamentos, com paredes internas de *drywall* ou outro sistema. Além disso, através do diagnóstico de projetos de SCPPC, e com o devido conhecimento de normas e especificações inerentes a esse sistema, seria possível inovar e ampliar a sua aplicação a edifícios habitacionais, como já é empregado em diversos países.

É importante ressaltar que esta pesquisa tem como foco principal a realização de um diagnóstico das principais aplicações dos Painéis Pré-moldados de concreto, bem como o estudo de suas características e normas disponíveis nos âmbitos nacional e internacional. Ademais, este trabalho objetiva propor uma série de diretrizes de projeto que fomentem profissionais da área da construção civil, como arquitetos, engenheiros e projetistas, a empreender novos edifícios de caráter habitacional, dispondo dos grandes benefícios da construção industrializada.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

A pesquisa objetiva, primordialmente, identificar e sistematizar diretrizes de projeto para Sistemas Construtivos em Painéis Pré-Moldados de Concreto, fundamentadas no desempenho, a fim de favorecer e fomentar a escolha desse sistema construtivo.

1.3.1 Objetivos Específicos

- Fazer uma revisão teórica sobre os sistemas construtivos em painéis pré-moldados, executando levantamento sobre as principais referências técnicas e normalizações, nacionais e internacionais, a respeito do sistema construtivo eleito nesta pesquisa, incluindo como referência o texto em elaboração da norma de painéis pré-moldados no Brasil;

- identificar tipologias e sistemas de painéis pré-moldados internacionais com potencial de aplicação na área habitacional, condensando as características desse sistema construtivo.
- relacionar os aspectos de projeto, levando em conta a integração projeto-produção (produto-processo) visando a racionalização construtiva (construtibilidade), almejando a sustentabilidade e agregação de valor, tanto para clientes intermediários (empreendedor) quanto para os clientes finais.
- sintetizar critérios e diretrizes de desempenho para o projeto de sistemas com painéis pré-moldados, com base na diretriz nº 2 do SINAT, na ABNT NBR 15575:2013 e na nova norma de painéis no Brasil.

1.4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento dessa dissertação, serão realizadas pesquisas exploratórias em caráter qualitativo, por intermédio do método dedutivo, abordando as seguintes técnicas:

Documentação indireta: levantamento teórico, principalmente na Biblioteca da Universidade Federal de São Carlos, bem como em banco de dados virtuais:

- pesquisa documental: leis, normas e manuais;
- pesquisa bibliográfica: livros, artigos e periódicos.

1.4.1 Estudo de aplicação

A fim de parametrizar as diretrizes de projeto para SCPPC, esta pesquisa realizará um estudo de aplicação em um edifício habitacional, propondo, para tal, um roteiro de avaliação que abordará as três principais etapas de um empreendimento – projetual, construtiva e uso e operação, estabelecendo dessa maneira algumas relações de desempenho entre os elementos que compõe o processo conceitual e produtivo de uma obra desse setor.

1.4.2 Diagnóstico e discussões

A partir da avaliação de desempenho abordada no estudo de aplicação, serão demonstrados os diagnósticos e as suas discussões pertinentes.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

- Capítulo 1: Introdução – evidencia de forma resumida a proposta de trabalho, caracterizando a sua relevância, os seus objetivos e limitações;
- Capítulo 2: Fundamentação teórica – apresenta breve contextualização de histórico, definições e evolução do sistema construtivo pré-moldado, no que tange à sua aplicação em edifícios habitacionais, pormenorizando os painéis pré-moldados assim como as principais normas e guias nacionais e internacionais vigentes;
- Capítulo 3: Diretrizes de Projeto – expõe as principais orientações e diretrizes para a elaboração de projetos, no que tange ao sistema adotado nesta pesquisa;
- Capítulo 4: Estudo de aplicação – estipula o roteiro e os instrumentos de análise de um empreendimento residencial, a fim de sistematizar o processo de avaliação de desempenho de um edifício;
- Capítulo 5: Diagnóstico e discussões: enuncia os principais resultados referentes à análise do edifício em suas diversas etapas, como projeto, construção, uso, operação e manutenção;
- Capítulo 6: Conclusões – apresenta as principais considerações a respeito desta pesquisa e discute sobre a viabilidade de sua aplicação em edifícios habitacionais;
- Por fim, encontram-se as Referências Bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados os painéis pré-moldados em concreto bem como suas legislações, normas e guias de aplicação.

2.1 OS PAINÉIS PRÉ-MOLDADOS EM CONCRETO

Segundo Oliveira (2002), o edifício é considerado um conjunto de subsistemas formando um organismo.

O subsistema vedação vertical tem, predominantemente, a função de criar, juntamente com as esquadrias e os revestimentos, condições de habitabilidade para o edifício, ou seja, de servir como mediadora entre os meios externo e interno do edifício, de modificar as condições interiores como requerido pelo usuário e, também, função estrutural e estética (ELDER⁹, 1977 apud OLIVEIRA, 2002).

Segundo Sabbatini e Franco¹⁰ (2001, apud OLIVEIRA, 2002), esse subsistema pode ser classificado:

a) quanto à posição no edifício:

- externa (de fachadas): vedação envoltória do edifício, sendo que uma das faces está sempre em contato com o meio ambiente externo ao edifício;
- interna: vedação interna ao edifício.

b) quanto à técnica de execução:

- por conformação: vedações obtidas por moldagem a úmido no local;
- por acoplamento a seco: vedações obtidas por montagem através de dispositivos de fixação (pregos, parafusos, rebites etc.);
- por acoplamento úmido: vedações obtidas por montagem a seco de componentes com solidarização posterior com argamassa ou concreto.

⁹ELDER, A. J. **Construccion**. Madrid: Blume Ediciones, 1977.

¹⁰SABBATINI, F. H; FRANCO, L. Notas de aula da disciplina de Tecnologia de produção de vedações verticais – TG 04 e PCC2435. São Paulo: EPUSP, 2001. Disponível em: <<http://www.pcc.usp.br/Graduação/PCC2435/pdf/PCC2435-aula18a.pdf>>

c) quanto à densidade superficial:

- leve: vedação de baixa densidade superficial. A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – (1990) expõe que são consideradas leves as vedações que estão num intervalo entre 60 e 100 kg/m² e que não podem ter função estrutural;
- pesada: vedação com densidade superior ao limite convencional, que pode ou não ter função estrutural.

d) quanto à estruturação:

- auto suporte: não possui uma estrutura complementar, pois a vedação se auto suporta;
- estruturada: possui uma estrutura reticular para suporte dos componentes de vedação;

e) quanto à continuidade do pano (em relação à distribuição de esforços):

- contínua: a absorção dos esforços se dá no pano como um todo;
- descontínua: a absorção dos esforços é feita pelos componentes (placas ou painéis) e distribuídos por entre a estrutura da própria vedação e, necessariamente, existem juntas entre os componentes, que podem ser aparentes ou não.

f) quanto à continuidade superficial (em relação à visibilidade das juntas):

- monolítica: sem juntas aparentes;
- modular: com juntas aparentes.

Sabbatini; Franco (2001, apud OLIVEIRA, 2002) ainda classificam esse subsistema quanto ao seu processo de fabricação:

- tradicionais: “baseados na produção artesanal, com uso intensivo da mão de obra, baixa mecanização com elevado desperdício de mão de obra, material e tempo (...)”.

- racionalizados: “aqueles que incorporam princípios de planejamento e controle tendo como objetivo eliminar desperdício, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e programar as decisões”.
- industrializados: “baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas e posteriormente acopladas no canteiro (...)”, vinculados a todos os princípios de organização, planejamento e controle, visando eliminar desperdício, aumentar produtividade e, conseqüentemente, reduzir custos.

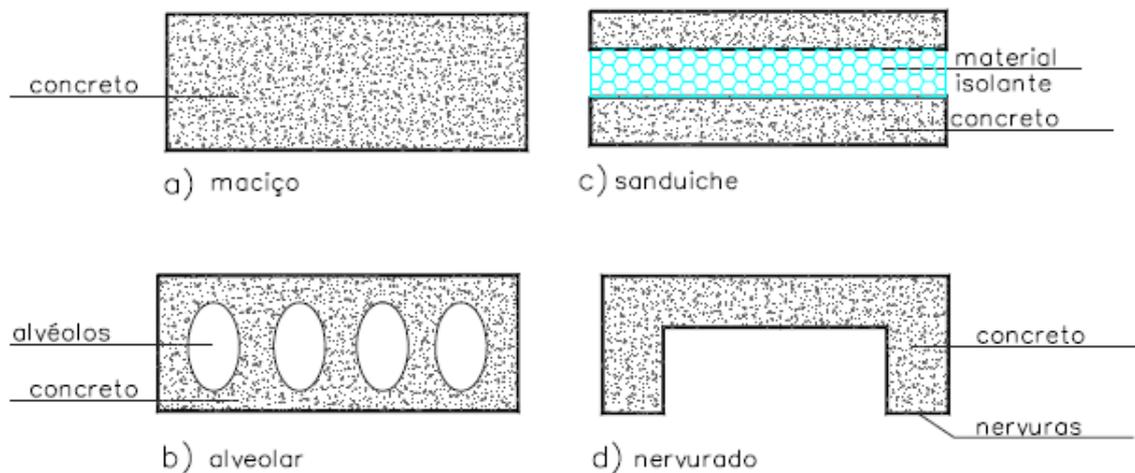
Além disso, o componente construtivo painel pré-moldado de concreto pode ser identificado:

a) quanto ao formato geométrico da sua seção transversal, o American Concrete Institute – ACI¹¹ – (1993, apud OLIVEIRA, 2002) classifica os painéis em (Figura 2.1):

- maciços: aqueles cuja seção transversal é constituída por apenas uma tipologia de material, que ocupa todo o volume aparente da peça;
- alveolares: aqueles cuja seção transversal é constituída de partes ocas (vazios) em todo o comprimento da peça;
- sanduíches: aqueles constituídos de duas camadas de concreto separadas por um material não estrutural com características de isolante térmico e ou acústico;
- nervurados: aqueles reforçados por um sistema de nervuras em uma ou duas direções da peça.

¹¹AMERICAN CONCRETE INSTITUTE – ACI – **Guide for precast concrete wall panels** – ACI 533R, Detroit, 1993.

Figura 2.1: Tipos de seção transversal de painéis



Fonte: OLIVEIRA (2002).

b) quanto ao acabamento da sua face externa:

- sem revestimento:
 - aparente (textura e cor natural do concreto).
- com revestimento, denominado pelo mercado de painel arquitetônico:
 - pintado (textura e cor dadas por um revestimento de pintura);
 - com revestimento incorporado no processo de moldagem; e
 - com revestimento incorporado após a desforma dos painéis.

O PCI¹² – Precast/Prestressed Concrete Institute (1989) define como painéis pré-fabricados arquitetônicos aqueles que se referem a uma unidade pré-fabricada em fôrma especial ou padronizada que, por meio de um tratamento em uma de suas faces, atinge um acabamento superficial que contribui para a arquitetura e acabamento do edifício. E expõe, ainda, que essas unidades podem ter função estrutural, de fechamento ou somente de recobrimento. (OLIVEIRA, 2002, p. 19)

¹²PRECAST CONCRETE INSTITUTE – PCI – **Architectural precast concrete**.1.ed., Chicago, 1975

Apesar de haver poucas referências normativas específicas para painéis pré-moldados no Brasil, organizações de diversos países já desenvolveram seus manuais, como a FIB – Federação Internacional do Concreto e o PCI, que em muitos aspectos tem muito a oferecer como referencial teórico e prático acerca deste sistema em específico, e elas serão abordadas a seguir.

2.2 ABNT NBR 9062:2006 – PROJETO E EXECUÇÃO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO PRÉ-MOLDADO

A referida norma fixa as exigências de projeto, execução e controle de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido, excetuando as estruturas onde serão empregados concretos leves ou outros especiais. A norma “se aplica também a estruturas mistas ou compostas, ou seja, aquelas constituídas parcialmente de elementos pré-moldados e elementos moldados no local” (ABNT NBR 9062:2006).

A norma estabelece também diretrizes para o projeto e a execução de estruturas pré-moldadas em edifícios; outrossim, ela distingue os elementos pré-moldados dos pré-fabricados.

A revisão desta norma PN 9062 (2015), estabeleceu os valores de espessuras mínimas em função do tipo de agregado e tempo de resistência ao fogo para painéis maciços de concreto armado, estruturais ou não estruturais (Tabela 2.1) mitigando, assim, a necessidade de ensaios.

Tabela 2.1: Espessura mínima do painel maciço em função do TRRF e tipo de agregado

Tipo de agregado	Espessura efetiva em função da resistência ao fogo (mm)				
	1 hora (60min)	1,5 horas (90min)	2 horas (120min)	3 horas (180min)	4 horas (240min)
Argila expandida, vermiculita ou ardósia expandida	65	80	90	115	130
Pedras calcárias	80	100	120	145	170
Pedras silicosas (Quartzos, granitos ou basaltos)	90	110	130	160	180

Fonte: PN 9062, (2015).

2.3 NBR PN_18_600_19 DE PAREDE PRÉ-MOLDADOS – DRAFT. JANEIRO, 2015

Essa Norma estabelece os requisitos e procedimentos a serem atendidos no projeto, na produção e na montagem de painéis de parede pré-moldados que se enquadrem nos critérios de classificação nela estabelecidos.

Excetuam-se dessa norma os seguintes casos:

- painéis de parede pré-moldados estruturais cuja dimensão horizontal seja maior que 6m ou que a espessura seja maior que 25cm;
- painéis de parede sem armaduras;
- painéis de parede curvos;
- painéis de parede submetidos ao carregamento predominantemente horizontal, como muros de arrimo ou reservatórios;
- painéis de parede como elementos de fundação.

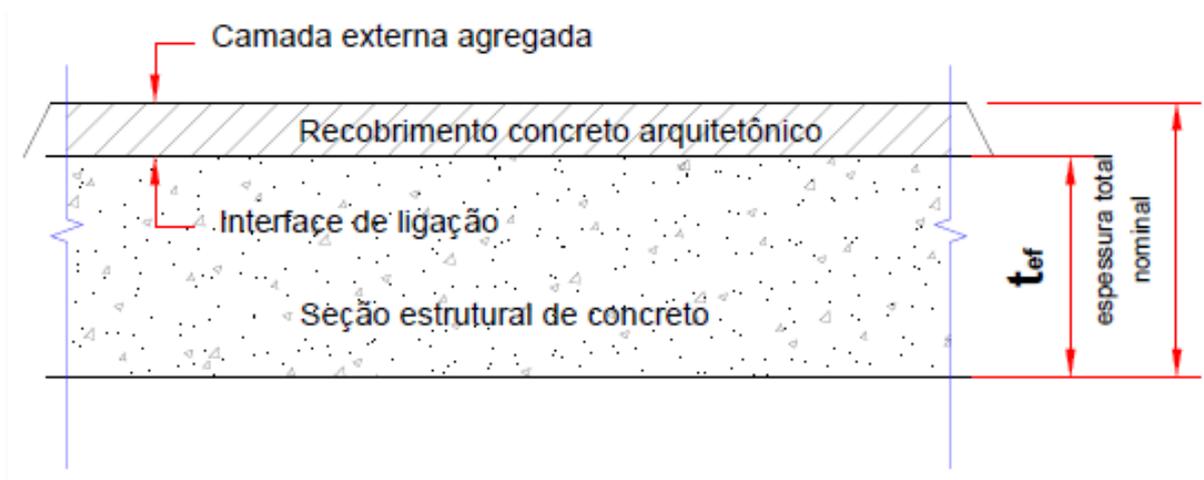
2.3.1 Classificação dos painéis de parede quanto a sua seção transversal

Os tipos de painéis de parede classificados quanto à forma da sua seção transversal são maciços, alveolares, sanduíche, nervurados e de parede dupla, conforme exemplificado nos itens a seguir.

No caso de serem aplicados revestimentos não estruturais, a camada de revestimento não deve ser considerada como fazendo parte da seção estrutural do painel. Caso o revestimento seja de concreto arquitetônico com propriedades mecânicas do concreto compatíveis com as da seção estrutural, apenas os frisos e ressaltos deverão ser desconsiderados. (NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015)

A seção estrutural do painel será considerada conforme a Figura 2.2.

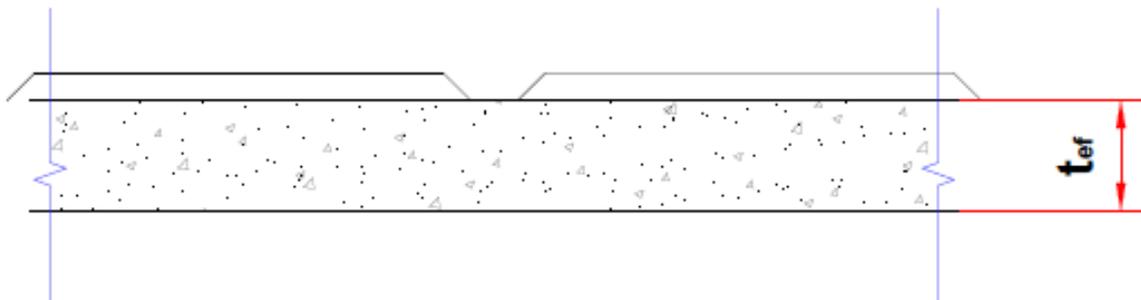
Figura 2.2: Seção da estrutura de concreto com espessura t_{ef} relativa.



Fonte: Adaptado de NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015

2.3.1.1 Painel de parede maciço

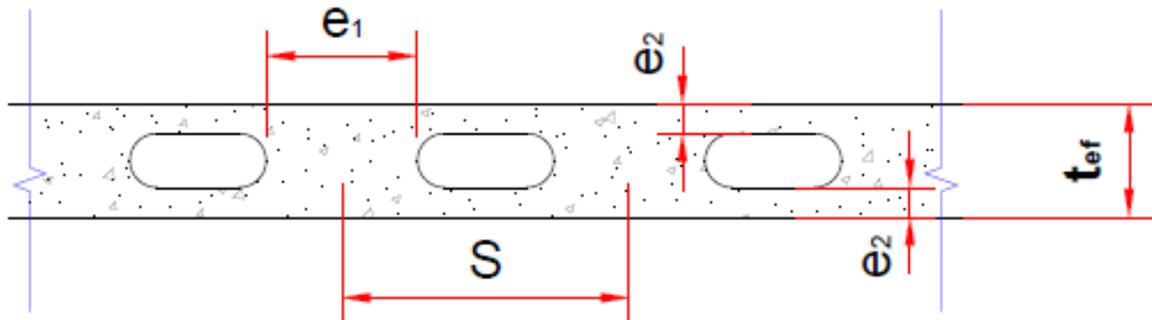
Figura 2.3: Seção transversal painel maciço.



Fonte: Adaptado de NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015.

2.3.1.2 Painele de parede alveolar não estrutural

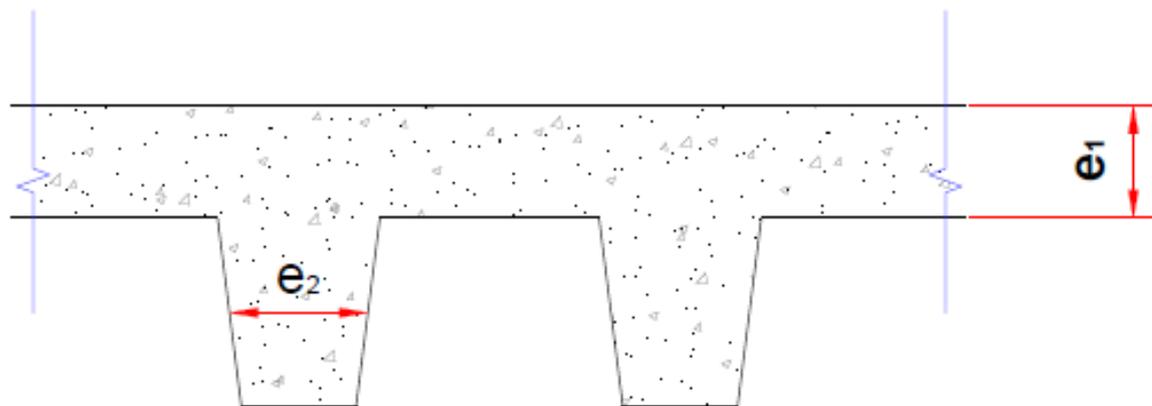
Figura 2.4: Seção transversal painele alveolar



Fonte: Adaptado de NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015.

2.3.1.3 Painele de parede nervurado

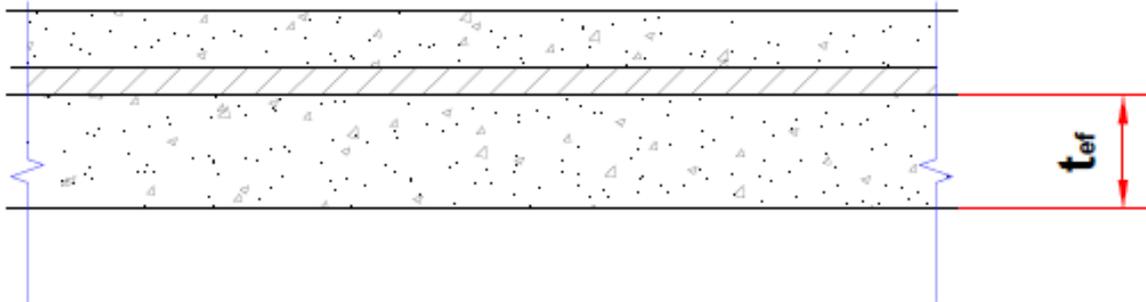
Figura 2.5: Seção transversal painele nervurado



Fonte: Adaptado de NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015.

2.3.1.4 Painel de parede sanduíche sem ligação rígida

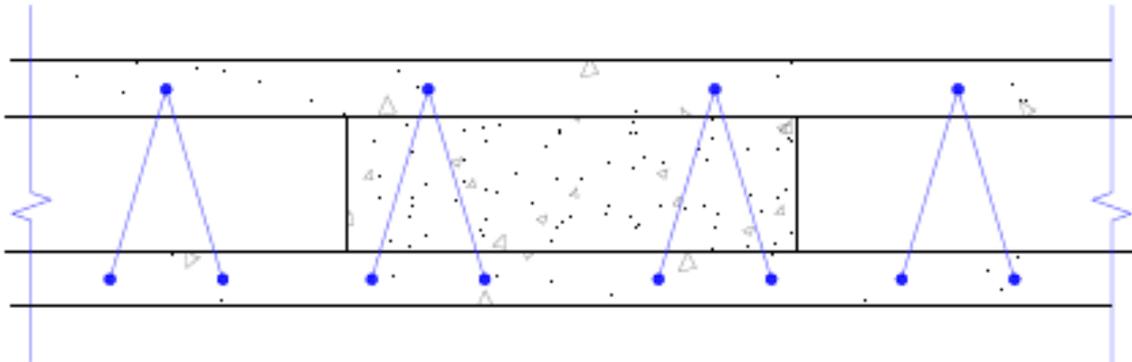
Figura 2.6: Seção transversal painel sanduíche sem ligações rígidas



Fonte: Adaptado de NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015.

2.3.1.5 Painel de parede de camada dupla

Figura 2.7: Seção transversal painel de camada dupla



Fonte: Adaptado de NBR PN_18_600_19 – DRAFT. Janeiro, 2015.

2.3.2 Classificação dos painéis de parede quanto à função

Os painéis de parede pré-moldados, segundo a NBR PN_18_600_19 – DRAFT, Janeiro, 2015, serão classificados conforme sua utilização em construções: residenciais (incluindo aqui os edifícios destinados a hotéis), comerciais e industriais. Observa-se que essa classificação se aplica a edifícios residenciais de até 5 pavimentos, vãos de lajes inferiores a 4m e altura de pé-direito máximo de 3,0m.

2.3.3 Classificação dos painéis de parede quanto ao acabamento

Os painéis de parede se classificam em painéis brutos, os quais necessitam de qualquer tipo de acabamento, seja pintura, gesso ou argamassa, e painéis arquitetônicos, que são aqueles em que ao menos uma das faces está finalizada sem qualquer necessidade de outras intervenções.

2.3.4 Classificação dos painéis de parede quanto ao comportamento estrutural

- Painéis de parede estruturais: são os elementos que respondem às cargas e esforços locais e ou globais da estrutura, além de exercerem função de vedação;
- Painéis de parede não estruturais: exercem a função exclusiva de vedação; podem também servir como proteção contra incêndio e para a instalação dos sistemas prediais, além de resistir às intempéries.

2.3.5 Requisitos de qualidade da estrutura

O projeto de norma para painéis pré-moldados de concreto estabelece que uma estrutura composta de painéis de parede pré-moldados deve ser projetada e construída de modo que:

- resista a todas as ações às quais estará sujeita durante as fases de construção e durante a sua vida útil;

- sob as condições ambientais previstas na época de projeto e quando utilizada conforme preconizado em projeto, conserve sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil;
- atenda às exigências de manutenção das instalações hidrossanitárias e elétricas, ao longo da vida útil da edificação.

2.3.6 Requisitos da qualidade de projeto

O projeto de uma estrutura formada por painéis de parede pré-moldados, segundo a NBR PN_18_600_19 – DRAFT, Janeiro, 2015, deve ser elaborado adotando-se:

- sistema estrutural adequado à função desejada para a edificação;
- análise da estabilidade global levando-se em conta a rigidez das ligações entre os painéis de parede pré-moldados estruturais;
- combinações de ações compatíveis e representativas;
- dimensionamento e verificação de todos os elementos estruturais presentes;
- especificação de materiais de acordo com os dimensionamentos efetuados;
- os critérios conforme a Revisão da Norma ABNT NBR 9062 referente a projetos em situação de incêndio;
- as exigências da ABNT NBR 15575, quando aplicável, na qual se considera o desempenho do edifício concluído.

2.3.7 Requisitos de durabilidade

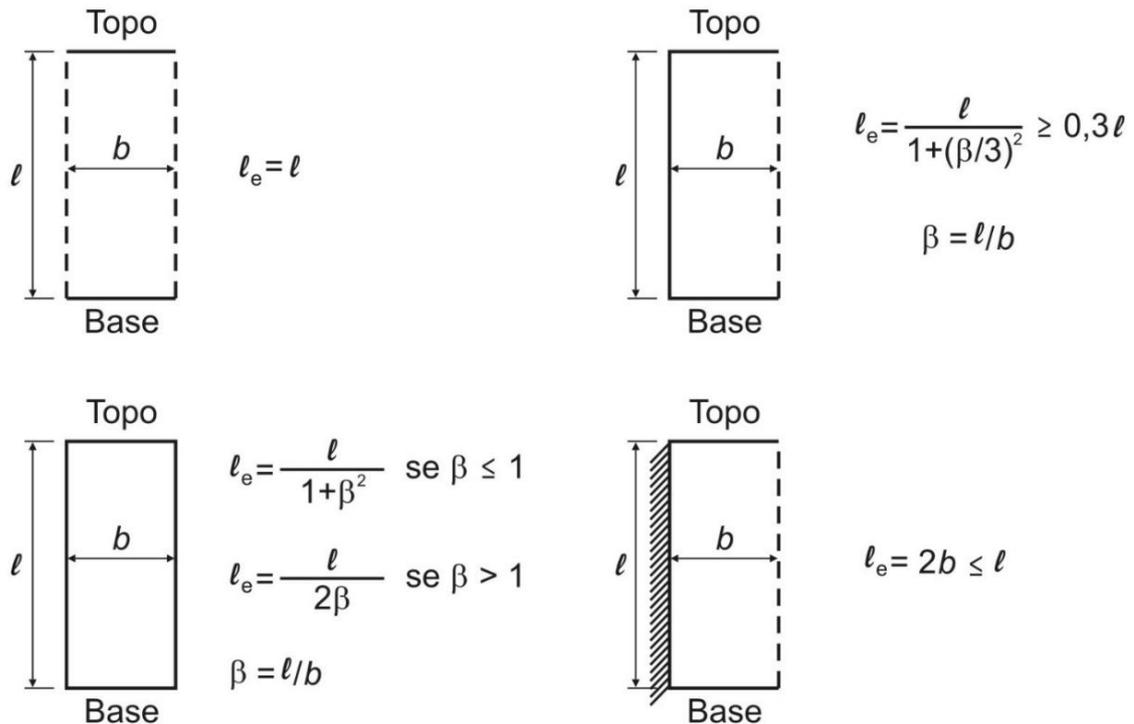
Segundo o projeto de norma, valem as diretrizes para durabilidade das estruturas de concreto definidas na ABNT NBR 9062, complementadas pela ABNT NBR 6118, quanto às exigências de durabilidade, vida útil de projeto, mecanismos de envelhecimento e deterioração e agressividade do ambiente, considerando o sistema estrutural formado pelos painéis de parede pré-moldados e pelos conectores metálicos.

Para atendimento das exigências de durabilidade devem ser respeitados os requisitos de estanqueidade, de proteção quanto à corrosão e de resistência ao fogo, bem como observado o estabelecido em norma.

2.3.8 Dimensionamento de painéis de parede

Segundo a NBR PN_18_600_19 – DRAFT, Abril, 2015, as estruturas de paredes de concreto devem atender às seguintes premissas básicas:

- trechos de parede com comprimento menor que dez vezes a sua espessura devem ser dimensionados como pilar ou pilar-parede;
- paredes devem ser dimensionadas à flexão-composta para os esforços atuantes considerando-se, além das excentricidades, os deslocamentos devidos a eventuais ações transversais à superfície da parede, como por exemplo a ação do vento;
- altura equivalente da parede (ℓ_e) de acordo com a Figura 2.8.

Figura 2.8: Comprimento equivalente (l_e)

Fonte: NBR PN_18_600_19 – DRAFT, Janeiro, 2015

A espessura efetiva do painel de parede estrutural deve ser igual ou maior que 10 cm. Permitem-se espessuras efetivas menores de até 8 cm para edifícios residenciais simplificados.

O dimensionamento de paredes pré-moldadas de concreto deve obedecer às seguintes recomendações, conforme a Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Recomendação de espessura do painel em função das dimensões da superfície

Altura (m)	Comprimento (m)						
	3	4,5	6	7,5	9	10,5	12
1,2	10	10	12,5	15	15	15	20
1,8	10	12,5	12,5	15	15	15	20
2,4	12,5	12,5	15	15	15	15	20
3	12,5	15	15	15	15	15	20
3,6	15	15	15	15	15	15	20

Fonte: NBR PN_18_600_19 – DRAFT, Janeiro, 2015.

2.3.9 Considerações em situação de Incêndio

A estrutura como um todo, incluindo o projeto dos seus elementos, das ligações e as especificações de cobrimentos, deve ser projetada atendendo aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 9062 e ABNT NBR 15200 quanto ao projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio, bem como da ABNT NBR 8681 quanto às combinações de ações a serem consideradas.

É admissível alterar os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 9062, desde que comprovado o desempenho através de ensaios segundo as prescrições da ABNT NBR 9062 para projeto acompanhado de verificação experimental. A determinação da capacidade resistente deve ainda satisfazer os requisitos apresentados na ABNT NBR 15575 – Parte 2.

2.4 FIB (2013) – PLANNING AND DESIGN HANDBOOK ON PRECAST BUILDING STRUCTURES

Segundo o manual de pré-moldado da FIB (2013), há diversos caminhos disponíveis para projetistas desenvolverem projetos de construção e, em todos os casos, arquitetos e engenheiros são responsáveis pelos projetos, bem como pelas especificações e pelos detalhamentos da construção. Assim também são responsáveis pela execução, os construtores, sob a supervisão dos projetistas.

O manual ainda elucida que nas formas tradicionais de construção o arquiteto é responsável pelas características funcionais de cada projeto, assim como pela satisfação das necessidades do cliente e, também, das soluções estéticas do produto final. Nesse caso, arquitetos e engenheiros trabalham conjuntamente na distribuição, na forma e no dimensionamento dos elementos estruturais e, então, são feitos os detalhamentos necessários.

Porém a FIB (2013) ratifica que, devido às particularidades da construção pré-fabricada, faz-se necessário prever algumas mudanças nesta metodologia, tanto do ponto de vista arquitetônico quanto estrutural, por conta da técnica construtiva, o que inclui os aspectos econômicos. Isso implica em decisões assertivas desde os primeiros esboços, a fim de solucionar os requisitos funcionais e estéticos do empreendimento, além de sanar a demanda da pré-fabricação. Todos esses fatores evidenciam a imprescindibilidade de uma equipe multidisciplinar e com conhecimento profundo nessa técnica construtiva, incluindo engenheiros especializados.

Neste sistema construtivo, a FIB (2013) recomenda que o projetista deve considerar as possibilidades, restrições e vantagens do sistema quanto ao detalhamento, produção, transporte, içamento e operações antes de finalizar os projetos. Ainda reforça que as organizações e empresas fornecedoras do concreto pré-moldado devem viabilizar informações sobre o projeto e a produção aos clientes, arquitetos, engenheiros e demais envolvidos no empreendimento, com o propósito de assegurar que todas as partes estejam a par dos métodos adotados e das fases dos projetos, objetivando a máxima eficiência e benefícios do sistema.

Por fim, a FIB (2013) corrobora que a eficácia e eficiência de projeto e produção dependem das especificações para projetos em concreto pré-moldados desde os estudos preliminares, o que não é garantido quando projetos tradicionais são adaptados à pré-fabricação.

Para tal, o manual enuncia alguns fatores cruciais para um bom desenvolvimento de projeto e execução de obras em concreto pré-moldado.

a) Respeitar a filosofia específica de projeto:

- utilizar um sistema de contraventamento próprio;
- assegurar a integridade estrutural;
- utilizar grandes vãos e minimizar profundidades estruturais.

b) Usar soluções padronizadas sempre que possível

A padronização é um fator importante no processo de pré-fabricação, o que possibilita repetição e experiência e, portanto, custos mais baixos, melhor qualidade e confiabilidade, assim como uma execução mais rápida. A padronização é aplicável nas seguintes áreas:

- modulação de projeto;
- padronização de produtos entre fabricantes;
- padronização interna para detalhes construtivos e padronização de procedimentos para produção e ou montagem.

c) Os detalhes devem ser simples

Um bom projeto em concreto pré-moldado deve envolver detalhes o mais simples possível, evitando vulnerabilidades decorrentes do detalhamento excessivo.

d) Considerar as tolerâncias dimensionais

Produtos de concreto pré-moldado apresentam inevitavelmente diferenças entre as dimensões especificadas e as executadas. Essas variações devem ser admitidas e previstas no projeto desde o início, por exemplo:

- possibilidade de tolerâncias de absorção nas ligações (entre dois elementos pré-moldados);

- possibilidade de tolerâncias de absorção nas ligações (entre dois elementos pré-moldados, e entre os elementos pré-moldados e as partes moldadas no local);
- necessidade de almofadas (aparelhos) de apoio;
- consequências causadas por curvaturas e diferenças em curvaturas;
- tolerância de movimentação, causada por retração, expansão térmica, etc.

e) Obter vantagem do processo de industrialização

A produção de concreto pré-moldado deve se basear na industrialização. Isso é parcialmente influenciado pelo projeto, por exemplo:

- a pré-tração permite a produção de elementos em longas pistas de protensão;
- a padronização de componentes e de detalhes típicos garante a padronização do processo;
- a posição adequada dos detalhes, por exemplo: barras de espera, etc., diminui o tempo dos serviços;
- simplicidade na descrição do projeto ajuda a evitar erros;
- modificações imprevistas no projeto prejudicam o planejamento da produção, etc.

2.4.1 Painéis pré-moldados de concreto

Segundo a FIB (2013), os painéis pré-moldados de concreto são executados em concreto armado. A espessura varia entre 80 mm para paredes que não exerçam suporte de carga, 150mm a 200mm para paredes estruturais e em aplicações especiais pode chegar a 300mm (Tabela 2.3).

Tabela 2.3: Dimensões de painéis pré-moldados para sistemas de paredes (fechamento)

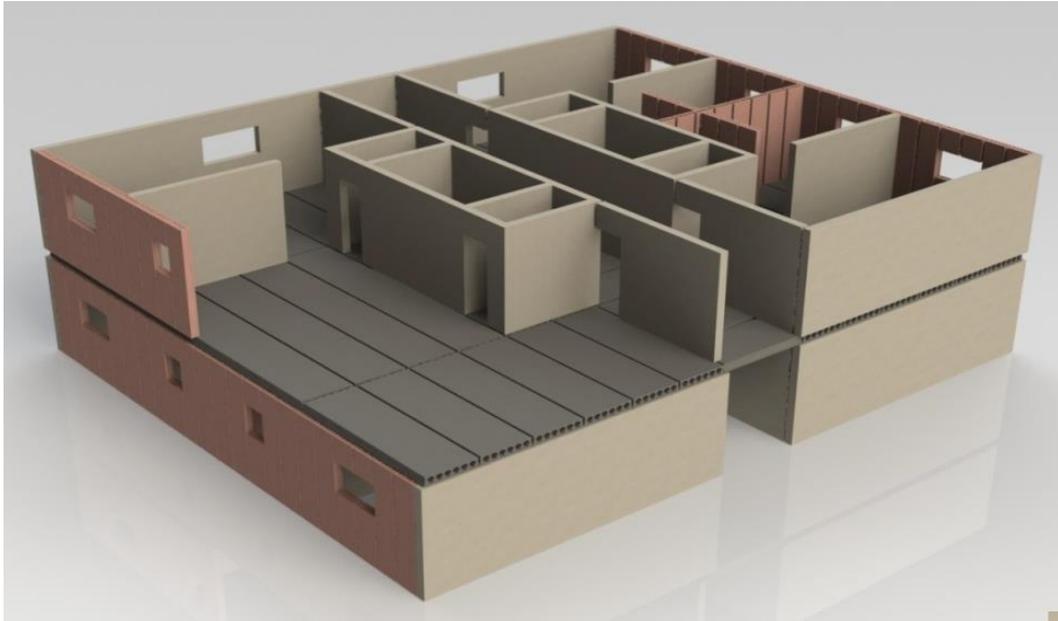
Aplicação	Espessura (mm)	Comprimento máximo (m)	Altura (m)
Painéis estruturais:			
• Com lajes armadas em duas direções	180 – 240	6,00 – 14,00	3,00 – 4,50
• Com lajes armadas em uma direção	150 – 200		
Painéis não estruturais:			
	80 – 150	6,00 – 14,00	3,00 – 4,50
Caixa de elevador e escada:	180 – 200	6,00 – 14,00	3,00 – 4,50

Fonte: FIB, 2013.

Ressalta-se que os valores aplicados para os painéis estruturais são pouco aplicáveis no Brasil.

Os painéis pré-moldados são utilizados como divisórias internas ou fechamentos externos (Figura 2.9), caixa de elevadores, núcleos centrais, entre outros. Esse sistema é mais usado em construções residenciais, seja para casas ou apartamentos. Esses painéis podem ser estruturais ou somente de fechamento e o sistema oferece a vantagem da construção rápida, acabamento de superfície liso, além do isolamento acústico e resistência contra incêndio (FIB, 2013).

Figura 2.9: Exemplo de painéis pré-moldados de concreto externos e internos



Fonte: FIB, 2013

A FIB (2013) ainda explica que esses sistemas modernos integram a técnica de construção aberta, o que significa liberdade de projeto para arquitetos e projetistas atenderem às exigências dos clientes, o que reforça a tendência de flexibilizar o espaço interno através da planta livre – sem divisórias internas – e somente paredes pré-moldadas de concreto externas portantes. Essa é uma solução à demanda do consumidor final pela personalização, já que com paredes divisórias leves, como o gesso acartonado, o produto acaba por se tornar diferenciado.

Ademais, o manual ressalta a importância da escolha pelo sistema através da definição do tipo de projeto, dos acabamentos das superfícies, dos isolamentos acústico e térmico e da resistência ao fogo.

a) Tipo de projeto:

- Os painéis pré-moldados estruturais são apropriados para empreendimentos com muitas paredes externas e internas, como casas e apartamentos, e esse sistema pode ser considerado como pré-moldado, ou moldado no local, ou na construção tradicional.

b) Peso próprio da peça:

- O peso próprio do painel pré-moldado de concreto pode variar de 20 kN a 100 kN, chegando em alguns casos especiais a pesar 200 kN, dependendo do comprimento e da espessura que são definidos pelo projeto.

c) Acabamento de superfície:

- A superfície do painel pré-moldado de concreto é lisa em ambos os lados e pronta para pinturas ou outros acabamentos, o que reduz consideravelmente atrasos na construção, sendo esse fator um parâmetro a ser considerado na escolha desse sistema.

d) Isolamento acústico:

- Paredes de concreto tem um excelente isolamento acústico devido à sua massa e, quando necessário, é possível aumentar a espessura para atingir requisitos especiais. No geral, paredes com 180 mm de espessura proporcionam isolamento acústico satisfatório na maioria dos projetos, atenuando níveis por volta de 50 db.

e) Resistência ao fogo:

- Os painéis pré-moldados de concreto são resistentes ao fogo de 2 a 6 horas, dependendo de sua espessura e de seu preenchimento. Além disso, são comumente usadas como paredes corta fogo.

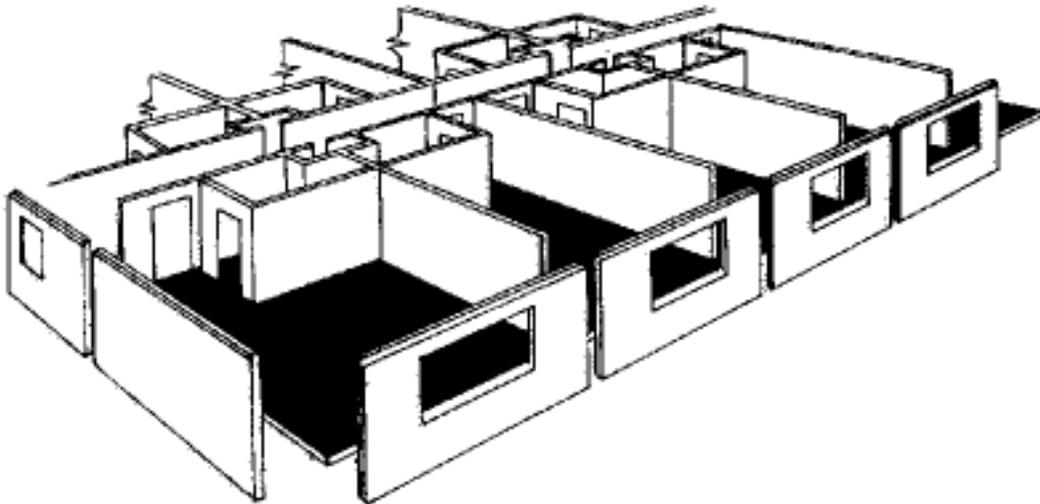
2.4.2 Sistema estrutural em painéis pré-moldados de concreto

Este sistema pode ser dividido em três categorias principais, que serão apresentadas a seguir.

2.4.2.1 Sistema de parede integral

A FIB (2013) afirma que neste sistema os painéis estruturais percorrem longitudinal e transversalmente ao longo do eixo da construção (Figura 2.10), e algumas das paredes, de acordo com as necessidades funcionais do edifício, podem servir como paredes divisórias não estruturais.

Figura 2.10: Representação esquemática do sistema de parede integral

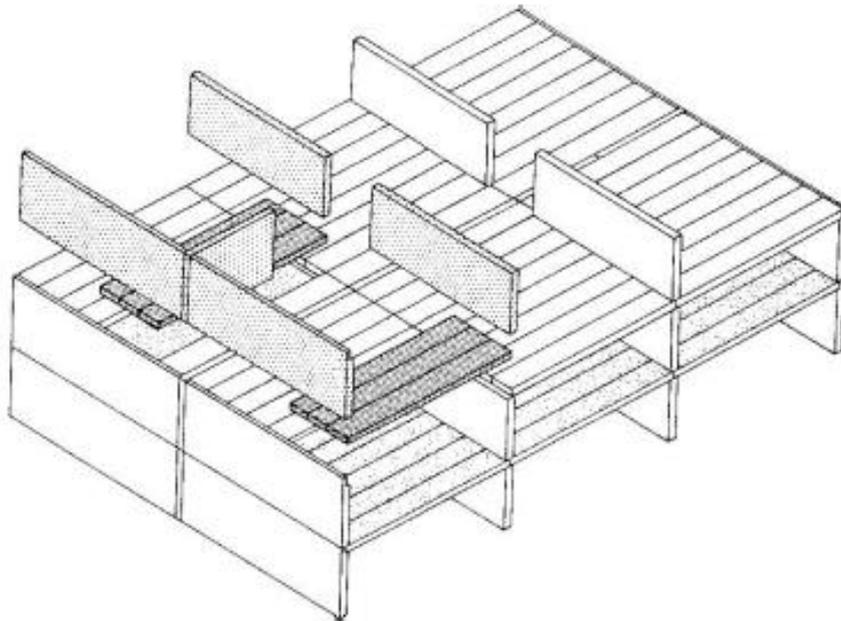


Fonte: FIB, 2013

2.4.2.2 Sistema de travamento por parede transversal – travamento

Esse sistema é configurado por paredes que correm através da largura do edifício (Figura 2.11). As lajes são posicionadas entre elas e são características de construções celulares, como apartamentos. O piso é composto normalmente por lajes alveolares protendidas, e alcançam cerca de 9 a 12m. Essa configuração permite maior liberdade no layout do projeto, atributo indispensável à flexibilidade, além de possibilitar futuras alterações.

Figura 2.11: Representação esquemática do sistema de paredes transversais – travamento

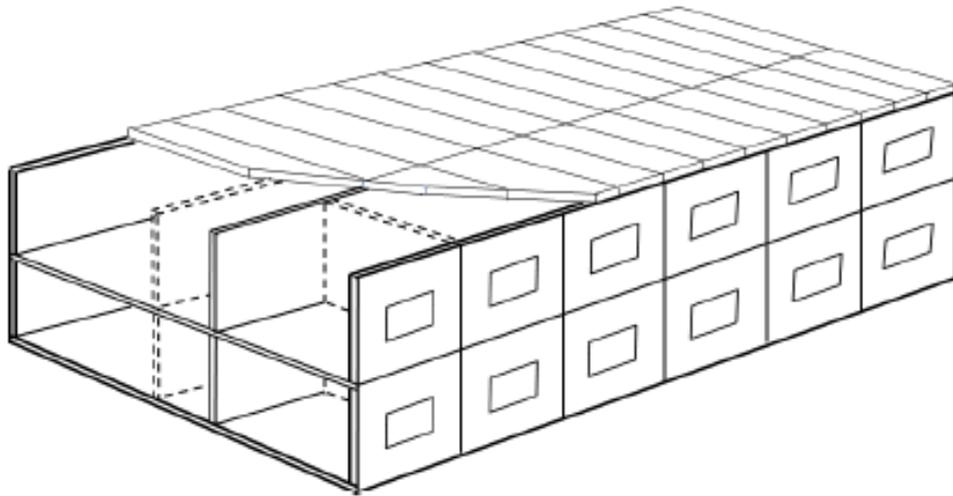


Fonte: FIB, 2013

2.4.2.3 Sistema de parede espinha

O sistema de paredes espinhas (Figura 2.12) geralmente inclui painéis sanduíches portantes em suas fachadas externas e, quando a largura total do edifício excede a capacidade de extensão das lajes, é possível posicionar paredes espinhas internamente ao longo do seu eixo longitudinal. Este sistema permite tanto layout livre como espaços compartimentados através de paredes não estruturais.

Figura 2.12: Representação esquemática do sistema de painéis espinhas.



Fonte: FIB, 2013.

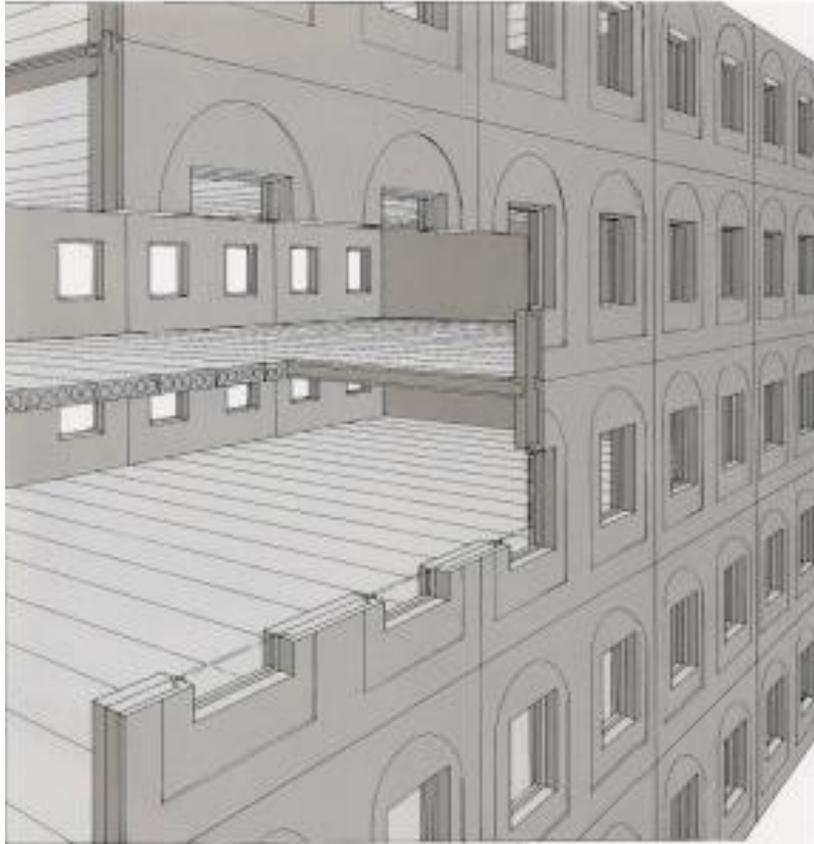
2.4.3 Sistema de fachadas de concreto pré-moldado

Os elementos pré-moldados de concreto arquitetônico, considerados como produtos de alta qualidade, contribuem em diversos efeitos na construção como projeto, acabamentos, formas, cores, texturas e qualidade de execução e, dependendo de sua função no edifício, essas peças podem ser projetadas como estruturais ou não estruturais (FIB, 2013).

2.4.3.1 Painéis de fachada pré-moldados estruturais

Segundo a FIB (2013), essas peças suportam as cargas verticais oriundas dos pisos e da estrutura superior. Também contribuem com a estabilidade horizontal do edifício e os exemplos mais comuns desse sistema são os painéis sanduíche, que são compostos por um material isolante térmico envolto por duas camadas de concreto (Figura 2.13).

Figura 2.13: Painéis sanduíche em fachadas atuando como elementos estruturais.



Fonte: FIB, 2013.

A FIB (2013) ressalta que a fachada pode ser composta por vigas peitoril (Figura 2.14), onde o painel atua como viga, transferindo as cargas verticais para as colunas. Essas peças podem ser executadas como peças sanduíche, sendo o revestimento exterior como concreto arquitetônico e, além disso, ainda é possível pré-fabricar somente a camada interior e finalizar a parte externa em alvenaria ou outro material de acabamento.

Figura 2.14: Viga peitoril em fachadas atuando como elementos estruturais.

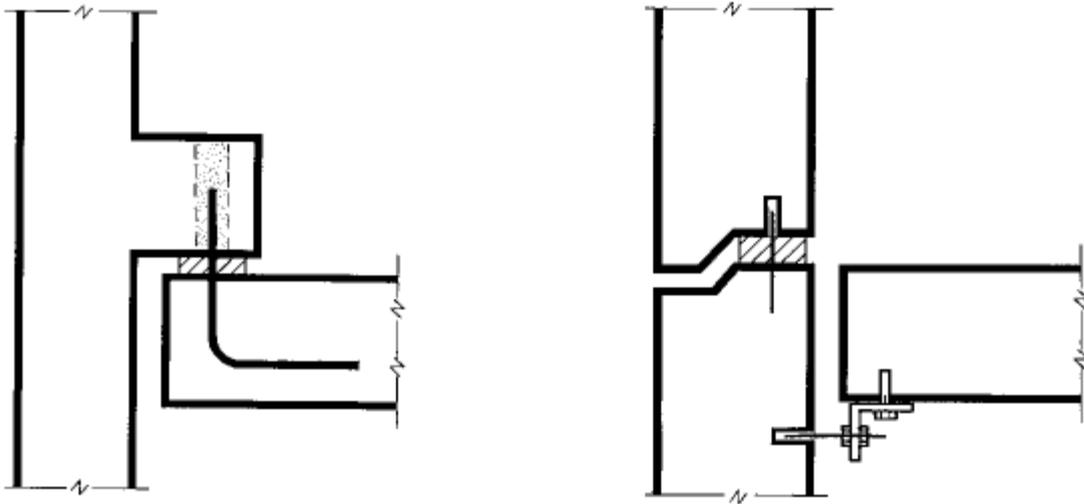


Fonte: FIB, 2013.

2.4.3.2 Painéis de fachada não estruturais

Os painéis de fachada não estruturais atuam exclusivamente como fechamento. Eles são fixados na estrutura do edifício individualmente, onde os elementos estruturais externos suportam o peso próprio dos painéis, ou, ainda, podem ser auto portantes, suportando o peso próprio e os elementos escorados horizontalmente à estrutura (FIB, 2013) (Figura 2.15).

Figura 2.15: Esquema de instalação dos painéis não estruturais em fachadas.



Fachada não estrutural

Fonte: FIB, 2013.

Fachada auto portante

2.5 PCI (2007) – ARCHITECTURAL PRECAST CONCRETE

Segundo o PCI, o custo total de um painel arquitetônico pré-moldado de concreto deve ser reduzido, obtendo todas as suas vantagens. Somando-se a isso a ação como parede externa, o painel pré-moldado de concreto pode desempenhar outras funções, como estruturas, paredes suporte e paredes de contraventamento. Ademais, eles podem ser isolados ou prover acabamento interior; servir em parte ou inteiramente como caixas de sistemas prediais e, por fim, ser englobados em diversas funções, tornando-se um subsistema.

2.5.1 Os painéis de fachada pré-fabricados estruturais

As fachadas estruturais têm ambas as funções: estética e estrutural. Na prática da construção, a aplicação mais econômica do concreto arquitetônico pré-moldado é como elemento de suporte de carga, sendo que essas unidades se tornam parte integral da estrutura, recebendo as cargas vertical e horizontal do piso e laje e ou transferindo cargas horizontais para as paredes de contraventamento ou núcleos de serviços.

Essa disposição pode ser econômica não somente no foco do projeto de estrutura, mas também do ponto de vista de toda construção.

Em alguns casos, os elementos estruturais colaboram com a estabilidade horizontal do edifício e cada peça exerce um papel crucial na integridade estrutural ou na estabilidade da construção. O fato de os painéis de concreto serem elementos normalmente utilizados em fachadas faz com que as características estruturais inerentes a esses painéis sejam esquecidas.

Em caso de construções de pequeno e médio porte, o montante de reforços exigidos para suporte e elevação do componente de concreto pré-moldado é frequentemente projetado para aguentar mais cargas que o necessário. Além disso, com algumas alterações relativas, muitos painéis de fachada podem atuar como elementos estruturais. Para edifícios mais altos, pode ser necessário reforço adicional para os painéis dos andares inferiores.

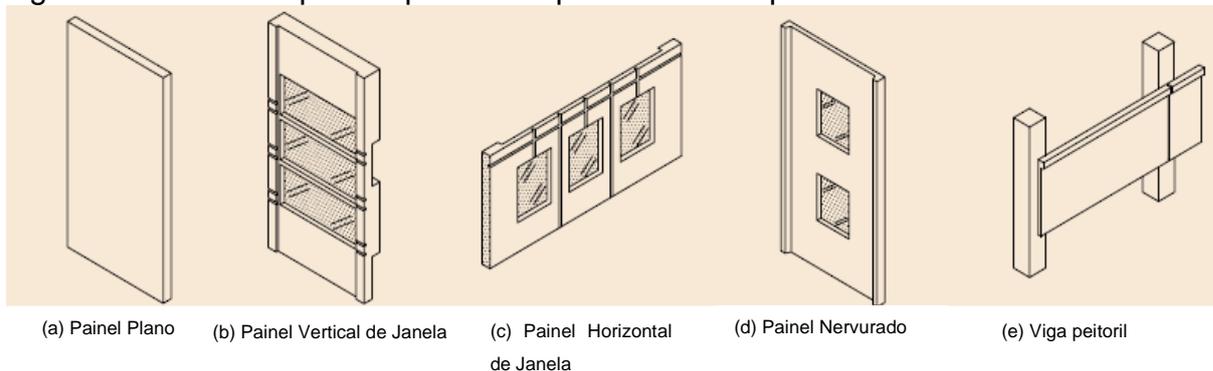
Dependendo da aplicação, os painéis estruturais também podem reduzir ou eliminar o núcleo estrutural ou as paredes internas de cisalhamento, principalmente em edifícios com grande proporção de área.

O aumento no espaço interno do andar obtido pela eliminação de pilares pode ser substancial e, dependendo do planejamento da planta, pode-se melhorar a flexibilidade de layout.

Um das desvantagens notadas no sistema de painéis estruturais pré-moldados de concreto quando comparado ao sistema de estrutura metálica é a grande profundidade estrutural potencial requerida para um dado vão e conseqüente aumento da altura do pé-direito. Pé-direitos altos aumentam a área de aplicação de painéis externos, o que significa um aumento considerável no custo da construção das fachadas. Entretanto, quando esse fator é do conhecimento dos projetistas, ele pode ser mitigado através de estratégias que minimizam os impactos e, conseqüentemente, essa desvantagem.

Os componentes arquitetônicos estruturais podem ter formas personalizadas ou padrões. O sistema de paredes pode ser constituído por painéis planos (Fig. 2.17a) ou curvos, janelas ou batentes (Fig. 2.17b, 2.17c), ou ainda por painéis nervurados (Fig. 2.17d). Cada tipo de painel acomodará os vãos de portas e janelas. Outro modelo é a viga peitoril, que é comumente usada em sistemas coluna-parede (Fig. 2.17e).

Figura 2.16: Vários tipos de painéis arquitetônicos de parede estruturais.



Fonte: PCI, 2007

Os painéis pré-moldados de concreto devem ser tão grandes quanto práticos, objetivando ambos a economia e o máximo aproveitamento de sua função, considerando a eficiência da produção, transporte e limitações de elevação das peças. Entre os benefícios da aplicação de grandes painéis, pode ser considerada a redução do número de painéis empregados, de juntas e de ligações e, também, do custo de içamento.

Os painéis podem ser empregados tanto na posição vertical quanto na horizontal. Para edifícios de pequeno porte, o complexo detalhamento das ligações pode ser minimizado quando os painéis portantes são posicionados verticalmente, abrangendo vários andares e, conseqüentemente, as vantagens econômicas dos painéis estruturais são ampliadas. Para edifícios altos, é mais prático trabalhar com painéis horizontais instalados separadamente em cada pavimento.

A uniformidade de carga é uma das importantes vantagens do sistema de painéis estruturais pré-moldados de concreto para edifícios altos. Essa aproximação pode produzir cargas equilibradamente distribuídas nas fundações e reduzir a tendência de recalque diferencial. Além disso, a natureza articulada das fachadas também a faz mais tolerante a qualquer recalque diferencial que possa ocorrer.

O tamanho e a forma do painel podem ser afetados por detalhes e localização das ligações verticais e horizontais nos painéis.

2.5.2 Painéis pré-moldados de fachada não estruturais

O uso do painel pré-moldado de concreto não estrutural como fechamento tem sido a mais comum aplicação do concreto pré-moldado arquitetônico. Painéis de fechamento são elementos que resistem e transferem cargas inexpressivas de outros elementos estruturais. Geralmente, eles são usados somente na divisão de espaços e são projetados para resistir ao vento, às cargas sísmicas geradas pelo seu peso próprio e às forças requeridas para transferir o peso do painel para as estruturas.

Os elementos de fechamento são constituídos por painéis sólidos, painéis com vãos, vigas peitoril e revestimento de colunas. A máxima dimensão pode ser vertical ou horizontal. Essas unidades geralmente podem ser removidas da parede individualmente, sem afetar a estabilidade das outras unidades da estrutura, além de serem oferecidas em grande diversidade de formas e tamanhos.

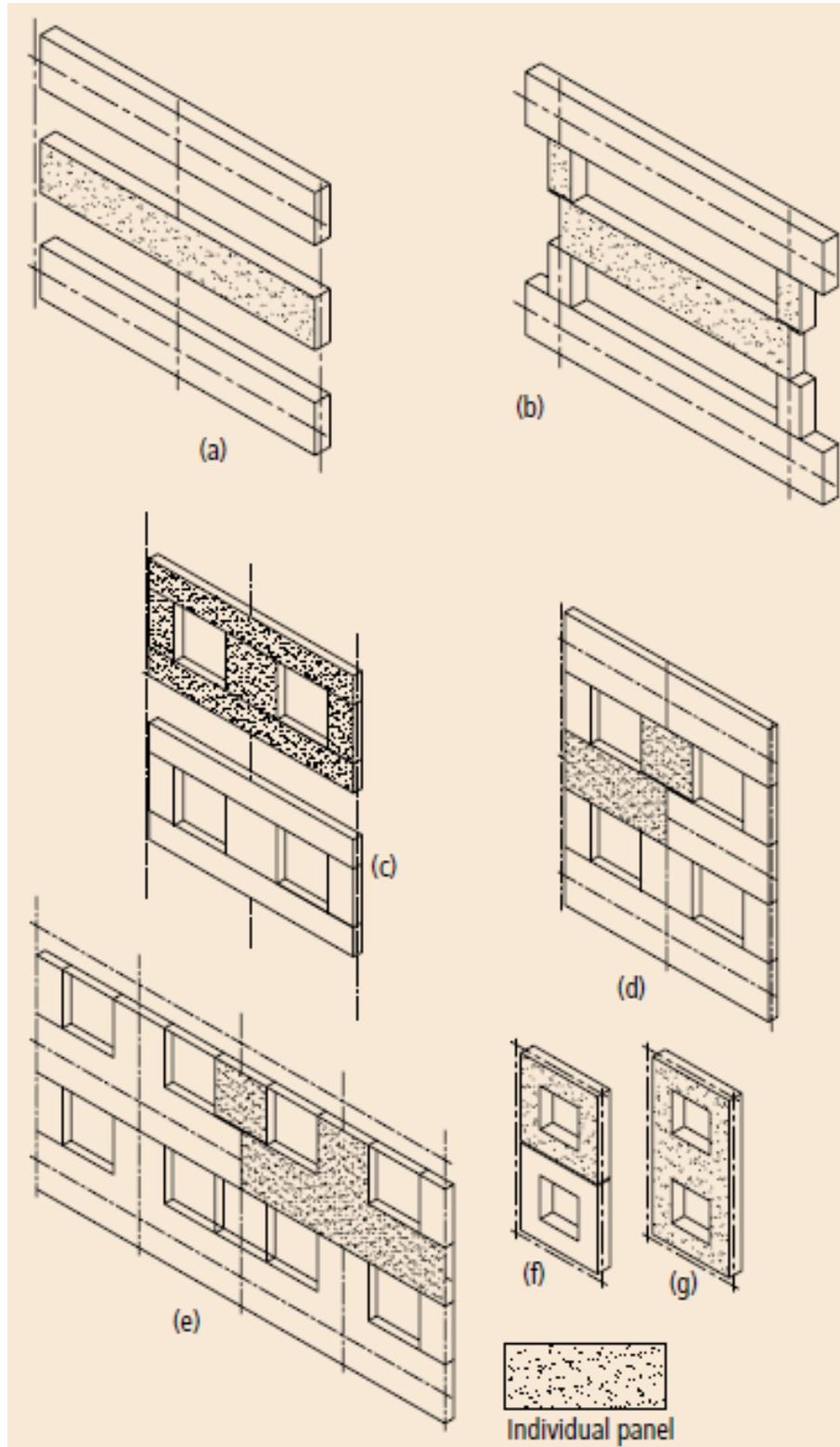
Painéis pré-moldados de fachada não estendem a altura além da típica dimensão do piso a piso; então, os pavimentos são definidos por juntas horizontais. Normalmente elas são limitadas pela largura menor ou igual à largura do compartimento. A espessura do painel é usualmente ditada pelas considerações arquitetônicas e pelo detalhamento das peças pré-moldadas.

Em edifícios de muitos pavimentos, é possível identificar três características de fachada padrões que impactam o desenvolvimento do painel. O primeiro padrão são as placas da fachada com grandes aberturas e preenchimento em vidro.

O segundo padrão elimina o revestimento das colunas e a fachada se transforma, então, em faixas horizontais de vigas peitoril e vidro. Nesse caso, tanto a viga peitoril quanto o vidro são instalados na frente da coluna.

O terceiro é um retorno às fachadas tradicionais, com vãos retangulares de janelas em um plano, originando um padrão vazio e sólido. Essa tendência resulta de engenhosas configurações com o uso de painéis “L” e “T” (Fig. 2.18) a fim de reduzir o custo das instalações.

Figura 2.17: Tipos de arranjos utilizando painéis L e T e painéis individuais.



Fonte: PCI, 2007

2.6 DIRETRIZ Nº 2 DO SINAT – SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÃO TÉCNICA

A diretriz nº 2 do SINAT para avaliações técnicas de sistemas integrados por painéis de parede de concreto pré-moldados estruturais estabelece os seguintes requisitos de desempenho para construções com esses sistemas:

Painéis estruturais pré-moldados de concreto com seção transversal:

- maciça de concreto;
- alveolar ou vazada de concreto (painel de concreto com células vazias);
- mista (combinação de nervuras de concreto e outros materiais de enchimento e revestimento).

Os painéis de parede propostos nesta diretriz podem ser empregados como paredes e lajes de edifícios térreos ou múltiplos pavimentos residenciais e devem atender as funções estruturais e de vedação.

Os painéis de paredes e lajes, objeto desta diretriz, são moldados fora do seu local definitivo, em unidade de produção interna ou externa ao canteiro de obras. Esses painéis precisam ser dimensionados para as diversas fases do processo: desenforma, içamento, armazenamento, transporte e instalação. Os painéis objeto desta diretriz sempre tem como material estrutural o concreto, associado ou não a outros materiais estruturais, de enchimento e de revestimento.

A Diretriz informa ainda que não há restrições quanto à utilização desse sistema construtivo e caso ocorra alguma elas deverão ser detalhadas através dos DATec's – Documento de Avaliação Técnica.

Essa diretriz não inclui observações quanto aos subsistemas empregados conjuntamente ao sistema, com exceção da cobertura que deve atender aos requisitos de desempenho térmico. Porém, “as interfaces entre subsistemas convencionais e inovadores devem ser consideradas e detalhadas nos projetos, como detalhes de junta entre fundação e painel-parede, piso e painéis estruturais, detalhes de fixação e de junta entre esquadrias e painéis estruturais, entre outros.”

A diretriz somente se aplica a paredes pré-moldadas ou pré-fabricadas, ou seja, que não são executadas no seu local definitivo. Além disso, excetuam-se de sua aplicação: muros de arrimo, reservatórios ou sistemas em painéis de vedação apoiados ou fixados em estrutura reticulada.

2.7 ABNT NBR 15575 - 1 EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS – DESEMPENHO. REQUISITOS GERAIS

As transformações ocorridas na construção civil, principalmente na área tecnológica, com a aplicação de sistemas construtivos diversos, têm trazido à tona a necessidade de normas balizadoras quanto ao desempenho das edificações. A ABNT NBR 15575 – 2013 levanta questões não somente a parâmetros de sistemas e subsistemas, mas também aspectos projetuais, habitabilidade e manutenibilidade, com o propósito inexorável de satisfazer o usuário.

Nesta norma são prescritos parâmetros e requisitos que atendam às necessidades dos usuários quanto aos sistemas construtivos empregados em empreendimentos habitacionais, quaisquer que sejam eles, ou seus materiais constituintes, focando primordialmente seu comportamento ante ao uso e operação.

A forma de estabelecimento do desempenho é comum e internacionalmente pensada por meio da definição de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação, os quais sempre permitem a mensuração clara do seu cumprimento. (ABNT NBR 15575 – 1, 2013)

As normas de desempenho objetivam fomentar, guiar e orientar inovações tecnológicas e avaliações de eficiência técnica com base na operação de produtos ou procedimentos, sempre pautadas no atendimento às exigências dos usuários. É importante ressaltar que essas normas são consideradas complementares às normas prescritivas, sendo imprescindível, portanto, a simultaneidade na aplicação de ambas.

A ABNT NBR 15575 e suas partes abordam conceitos como duração de sistemas, manutenibilidade das edificações, conforto tátil e antropodinâmico dos usuários.

A Parte 1 da ABNT NBR 15575 estabelece os requisitos e critérios de desempenho que se aplicam às edificações habitacionais, como um todo integrado, bem como serem avaliados de forma isolada para um ou mais sistemas específicos.

Estabelece, também, critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, como por exemplo desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta).

2.7.1 Avaliação de desempenho

A avaliação de desempenho analisa a adequação ao uso de um dado sistema construtivo no cumprimento de sua função, independentemente da solução técnica escolhida. Elaborada através de investigações sistemáticas fundamentadas em métodos consistentes, esta avaliação é apta a produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas.

A avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a cumprir uma função, independentemente da solução técnica adotada através de uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir esclarecimentos objetivos, que devem ser documentados, sobre a conduta esperada do sistema ante a sua utilização e operação.

2.7.2 Segurança contra incêndio

As exigências desta Norma relativas à segurança contra incêndio são pautadas em:

- proteger a vida dos ocupantes das edificações e áreas de risco, em caso de incêndio;
- dificultar a propagação do incêndio, reduzindo danos ao meio ambiente e ao patrimônio;
- proporcionar meios de controle e extinção do incêndio;

- dar condições de acesso para as operações do corpo de bombeiros.

Os objetivos principais de garantir a resistência ao fogo dos elementos estruturais são:

- possibilitar a saída dos ocupantes da edificação em condições de segurança;
- garantir condições razoáveis para o emprego de socorro público, onde se permita o acesso operacional de viaturas, equipamentos e seus recursos humanos, com tempo hábil para exercer as atividades de salvamento (pessoas retidas) e combate a incêndio (extinção);
- evitar ou minimizar danos à própria edificação, às outras adjacentes, à infraestrutura pública e ao meio ambiente.

De forma a atender às exigências do usuário quanto à segurança, devem ser cumpridos os requisitos estabelecidos na legislação pertinente e na ABNT NBR 14.432 Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento.

Esta norma apresenta como primeiro requisito: dificultar a ocorrência de princípio de incêndio por meio de premissas adotadas no projeto e na construção da edificação. Ademais, ainda mostra os principais critérios a fim de atender esse requisito como:

- proteção contra descargas atmosféricas;
- proteção contra risco de ignição nas instalações elétricas;
- proteção contra risco de vazamentos nas instalações de gás.

Apresenta, ainda, o segundo requisito: facilitar a fuga em situação de incêndio, ressaltando o principal critério estabelecido de rotas de fuga, atendendo as premissas da ABNT NBR 15.526 Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais – Projeto e execução.

O terceiro requisito promulga: dificultar a inflamação generalizada no ambiente de origem de eventual incêndio, observando ao critério de propagação superficial de chamas em que os materiais de revestimento, acabamento e isolamento termoacústico empregados na face interna dos sistemas ou elementos que compõem a edificação devem ter as características de propagação de chamas controladas.

No quarto requisito a norma estabelece: dificultar a propagação do incêndio para as unidades contíguas através dos seguintes critérios:

- isolamento de risco à distância;
- isolamento de risco por proteção;
- assegurar estanqueidade e isolamento.

O quinto requisito – segurança estrutural visa minimizar o risco de colapso estrutural da edificação em situação de incêndio, onde a edificação habitacional deve atender à ABNT NBR 14432 e às normas específicas para o tipo de estrutura.

Por fim, o sexto e último requisito – sistema de extinção e sinalização de incêndio, que declara como critério os equipamentos de extinção, sinalização e iluminação de emergência dispostos nos edifícios habitacionais, conforme normas específicas.

2.7.3 Segurança no uso e na operação

Segundo esse item “a segurança no uso e operação dos sistemas e componentes da edificação habitacional deve ser considerada em projeto, especialmente as que dizem respeito a agentes agressivos (proteção contra queimaduras e pontos e bordas cortantes, por exemplo)”.

Apresenta como requisito a segurança na utilização do imóvel, a fim de assegurar que tenham sido tomadas medidas de segurança aos usuários da edificação habitacional através do critério de segurança na utilização dos sistemas que não devem apresentar:

- rupturas, instabilidades, tombamentos ou quedas que possam colocar em risco a integridade física dos ocupantes ou de transeuntes nas imediações do imóvel;
- partes expostas cortantes ou perfurantes;
- deformações e defeitos acima dos limites especificados em normas específicas.

Estabelece, ainda, o requisito de segurança na utilização das instalações, em que a edificação habitacional deve atender às exigências das normas pertinentes.

2.7.4 Estanqueidade

A exposição à água de chuva, à umidade proveniente do solo e aquela proveniente do uso da edificação habitacional, devem ser consideradas em projeto, pois a umidade acelera os mecanismos de deterioração e acarreta a perda das condições de habitabilidade e de higiene do ambiente construído. (ABNT NBR 15575, 2013)

Enuncia como requisito a estanqueidade às fontes de umidade externas à edificação sob o critério de estanqueidade à água de chuva e à umidade do solo e do lençol freático em atendimento aos requisitos especificados nas normas condizentes.

Apresenta, também, o requisito de estanqueidade às fontes de umidade internas à edificação, através do critério de estanqueidade à água utilizada na operação e manutenção do imóvel, que devem ser previstos no projeto.

2.7.5 Desempenho térmico

A edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de desempenho térmico, considerando-se a zona bioclimática definida na ABNT NBR 15220-3 Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. As habitações devem ser analisadas segundo procedimentos simplificados e medições.

Quando da necessidade de simulações computadorizadas, as análises devem atender aos seguintes requisitos:

- exigências de desempenho no verão: apresentar condições térmicas, no interior do edifício habitacional, melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra, para o dia típico de verão, obedecendo ao critério de valores máximos de temperatura sendo: o valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como, por exemplo, salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor (ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.
- exigências de desempenho no inverno: apresentar condições térmicas, no interior do edifício habitacional, melhores que do ambiente externo, no dia típico de inverno, observando ao critério de valores mínimos de temperatura sendo: os valores mínimos diários da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como por exemplo, salas e dormitórios, no dia típico de inverno, devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C.

2.7.6 Desempenho acústico

Segundo este item, a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico adequado entre áreas comuns e privativas.

Elucida o requisito de isolamento acústico de vedações externas, que visa propiciar condições mínimas de desempenho acústico da edificação, com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos, levando em consideração o critério de desempenho acústico das vedações externas.

Ainda mostra o requisito de isolamento acústico entre ambientes, a fim de propiciar condições de isolamento acústico entre as áreas comuns e ambientes de unidades habitacionais e entre unidades habitacionais distintas, segundo o critério de isolamento ao ruído aéreo entre pisos e paredes internas.

O requisito de ruídos de impactos objetiva propiciar condições mínimas de desempenho acústico no interior da edificação, com relação a fontes padronizadas de ruídos de impacto, conforme o critério de ruídos gerados por impactos, atendendo a normas específicas.

2.7.7 Desempenho lumínico

Durante o dia, as dependências da edificação habitacional devem receber iluminação natural conveniente, oriunda diretamente do exterior ou indiretamente, através de recintos adjacentes.

Segundo esse item, para o período noturno o sistema de iluminação artificial deve proporcionar condições internas satisfatórias para ocupação dos recintos e circulação nos ambientes com conforto e segurança.

Para esses requisitos serão aplicados os seguintes critérios:

- níveis mínimos de iluminância natural: contando unicamente com iluminação natural, os níveis gerais de iluminância nas diferentes dependências das construções habitacionais devem atender ao disposto na norma;
- fator de luz diurna (fld): contando unicamente com iluminação natural, este fator nas diferentes dependências das construções habitacionais deve atender ao disposto na norma.

O requisito de iluminação artificial visa propiciar condições satisfatórias de iluminação artificial interna, segundo as Normas Brasileiras vigentes, para ocupação dos recintos e circulação nos ambientes com conforto e segurança, observando o critério de níveis mínimos de iluminação artificial.

2.7.8 Durabilidade e manutenibilidade

A durabilidade do edifício e de seus sistemas é uma exigência econômica do usuário, pois está diretamente associada ao custo global do bem imóvel. A durabilidade de um produto se extingue quando ele deixa de cumprir as funções que lhe forem atribuídas, quer seja pela degradação que o conduz a um estado insatisfatório de desempenho, quer seja por obsolescência funcional. O período de tempo compreendido entre o início de operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário preestabelecidas é denominado vida útil. (ABNT NBR 15575, 2013)

A responsabilidade pelos valores técnicos de vida útil (VU) de projeto cabe aos projetistas, construtores e incorporadores. Vale destacar que esses valores podem ser confirmados por meio de atendimento às normas brasileiras ou internacionais como, por exemplo, as ISO e IEC, ou regionais como a Mercosul.

Entretanto, tais profissionais se eximem de qualquer responsabilidade pela estimativa de VU atingido, uma vez que fatores como o correto uso e operação do edifício e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local e mudanças no entorno ao longo do tempo estão fora do seu controle.

“O valor final atingido de VU será uma composição do valor teórico calculado como Vida Útil de Projeto (VUP) influenciado positivamente ou negativamente pelas ações de manutenção, intempéries e outros fatores internos de controle do usuário e externos fora de seu controle” (ABNT NBR 15575).

A norma estabelece o requisito de VU de projeto do edifício e dos sistemas que o compõem a partir dos valores teóricos preestabelecidos de VUP (Tabela 2.4).

Tabela 2.4: Vida útil de projeto.

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥50 segundo ABNT NBR 8681-2003
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Fonte: NBR 15575 – 1 (2013).

Este item observa o seguinte critério de VUP, em que o projeto deve especificar o valor teórico para VUP para cada um dos sistemas que o compõem, não inferiores aos estabelecidos na norma, e deve ser elaborado para que os sistemas tenham uma durabilidade potencial.

Ainda obedece ao critério de durabilidade no qual o edifício e seus sistemas devem apresentar durabilidade compatível com VUP preestabelecida em norma.

O requisito de manutenibilidade do edifício e de seus sistemas visa manter a capacidade do edifício e de seus sistemas e permitir ou favorecer as inspeções prediais, bem como as intervenções de manutenção previstas no manual de operação, uso e manutenção. Observa-se para tanto o critério de facilidade ou meios de acesso em que se convencionou o favorecimento das condições de acesso para inspeção predial através da instalação de suportes para fixação de andaimes, balancins ou outro meio que possibilite a realização da manutenção.

2.7.9 Funcionalidade e acessibilidade

Neste item são estabelecidos os requisitos de altura mínima de pé-direito e disponibilidade mínima de espaços para uso e operação da habitação, que devem ser compatíveis com as necessidades humanas.

O item ainda estabelece o requisito de adequação para pessoas com deficiências físicas ou pessoas com mobilidade reduzida, no qual a edificação deve prever o número mínimo de unidades para pessoas com deficiência física ou com mobilidade reduzida estabelecido na legislação vigente.

O requisito acima citado ainda obedece ao seguinte critério de adaptações de áreas comuns e privativas, que devem receber as adaptações necessárias para pessoas com deficiência física ou com mobilidade reduzida nos percentuais previstos na legislação, e as áreas de uso comum sempre devem obedecer ao que estabelece a ABNT NBR 9050 – Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.

Além desses, o item estipula o requisito de possibilidade de ampliação das unidades habitacionais térreas e assobradadas, que possuam caráter evolutivo, já comercializadas com previsão de ampliação, através do critério de ampliação de unidades habitacionais evolutivas previstas pelos responsáveis pelos projetos, especificando todos os detalhes necessários para ligação ou continuidade de paredes, pisos, coberturas e instalações.

2.7.10 Conforto tátil e antropodinâmico

A norma institui como requisito o conforto tátil e adaptação ergonômica que visa não prejudicar as atividades normais dos usuários dos edifícios habitacionais quanto ao caminhar, apoiar, limpar, brincar e semelhantes. Esses produtos não devem apresentar rugosidades, contundências, depressões ou outras irregularidades nos elementos, componentes, equipamentos e quaisquer acessórios ou partes da edificação.

Para atendimento a esse requisito deve-se observar o critério de adequação ergonômica de dispositivos de manobra, em que os elementos e componentes da habitação (trincos, puxadores, cremonas, guilhotinas etc.) devem ser projetados, construídos e montados de forma a não provocar ferimentos nos usuários.

2.7.11 Adequação ambiental

Segundo a ABNT NBR 15575 “técnicas de avaliação do impacto ambiental resultante das atividades da cadeia produtiva da construção ainda são objeto de pesquisa e, no atual estado da arte, não é possível estabelecer critérios e métodos de avaliação relacionados à expressão desse impacto.”.

Entretanto, todos os empreendimentos devem ser projetados de forma a minimizar quaisquer impactos e alterações no ambiente.

A implantação do empreendimento deve considerar os riscos de desconfinamento do solo, deslizamentos de taludes, enchentes, erosões, assoreamento de vales ou cursos d’água, lançamentos de esgoto a céu aberto, contaminação do solo ou da água por efluentes ou outras substâncias, além de outros riscos similares. (ABNT NBR 15575, 2013)

É recomendado na norma que a exploração e consumo de recursos naturais sejam racionalizados, objetivando atenuar a degradação ambiental, reduzir o consumo de água, energia e matérias-primas. Ressalta, ainda, que as madeiras utilizadas no processo construtivo devem ser certificadas, provenientes de manejos florestais e aprovadas por órgãos ambientais.

Articula também a obrigatoriedade de se implantar um sistema de resíduos da construção civil que minimize sua geração, estimule a segregação dos materiais a fim de facilitar sua reciclagem ou reuso. Ademais, corrobora a avaliação dos empreendedores, junto aos fabricantes, de quaisquer insumos e seus inventários de ciclo de vida.

2.8 ABNT NBR 15575 – 4 EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS - DESEMPENHO

PARTE 4: SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS – SVVIE

Esta Parte da ABNT NBR 15575 estabelece os requisitos, os critérios e os métodos para a avaliação do desempenho de Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas – SVVIE de edificações habitacionais ou de seus elementos. Contudo, não se aplica a obras em andamento ou a edificações concluídas até a data da entrada em vigor desta norma e a obras de reformas, nem de “retrofit”, nem edificações provisórias.

A norma define as SVVIE como partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas.

A parte 4 da ABNT NBR 15575

... estabelece critérios relativos ao desempenho térmico, acústico, lumínico e de segurança ao fogo, que devem ser atendidos individual e isoladamente pela própria natureza conflitante dos critérios de medições, por exemplo, desempenho acústico (janela fechada) versus desempenho de ventilação (janela aberta). (ABNT NBR 15575 – 4, 2013)

2.8.1 Desempenho estrutural

Este item apresenta como requisito “apresentar nível de segurança considerando-se as combinações de ações passíveis de ocorrerem durante a vida útil da edificação habitacional ou do sistema.”. Para tal, deve obedecer ao critério de Estado-limite último em que “as vedações verticais internas e externas, com função estrutural, devem ser projetadas, construídas e montadas de forma a atender às exigências de 7.2 da ABNT NBR 15575 – 2 e as disposições aplicáveis das Normas Brasileiras que abordam a estabilidade e a segurança estrutural de vedações verticais externas e internas, conforme o caso.” (ABNT NBR 15575 – 4, 2013).

O requisito de deslocamentos, fissuração e ocorrência de falhas nos sistemas de vedações verticais internas e externas objetiva limitar os deslocamentos, fissurações e falhas a valores aceitáveis, de forma a assegurar o livre funcionamento de elementos e componentes da edificação habitacional atendendo ao critério de limitação de deslocamentos, fissuração e descolamentos onde os SVVIE, considerando as combinações de carregamentos, devem atender os limites de deslocamentos instantâneos (d_h) e residuais (d_{hr}) indicados na Tabela 2.5, sem apresentar falhas que caracterizem o estado limite de serviço. Estes limites aplicam-se, a princípio, a SVVIE destinados a edificações habitacionais de até cinco pavimentos.

Os SVVIE com função estrutural também devem atender as exigências da ABNT NBR 15575 – 2.

Tabela 2.5 Critérios e níveis de desempenho quanto a deslocamentos e ocorrência de falhas sob ação de cargas de serviço (ver nota)

Elemento	Solicitação	Critério
SVVIE com função estrutural	Cargas verticais:	Não ocorrência de falhas;
	$S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk} + S_{wk}$ (desconsiderar o S_{wk} no caso de alívio de pressão)	Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2500$
SVVIE com ou sem função estrutural.	Cargas permanentes e deformações impostas $S_d = S_{gk} + S_{\varepsilon k}$	Não ocorrência de falhas, tanto nas paredes como nas interfaces da parede com outros componentes.
SVVE (paredes de fachadas) com ou sem função estrutural	Cargas horizontais: $S_d^{(a)} = 0,9 S_{gk} + 0,8 S_{wk}$	Não ocorrência de falhas;
		Limitação dos deslocamentos horizontais ^(b) : $d_h < h/500$ (SVVE com função estrutural); $d_{hr} < h/2500$ (SVVE com função estrutural); $d_h < h/350$ (SVVE com função de vedação); $d_{hr} < h/1750$ (SVVE com função de vedação). Entende-se neste critério como SVVE as paredes de fachada

^(a) No caso de ensaios de tipo considerar: $S_d = S_{gk} + 0,8 S_{wk}$

^(b) Para paredes de fachada leves ($G < 60 \text{ Kg/m}^2$), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo (d_h) podem atingir o dobro dos valores acima indicados nesta tabela.

onde:

h é altura do elemento parede;

d_h é o deslocamento horizontal instantâneo;

d_{hr} é o deslocamento horizontal residual;

S_{gk} é a solicitação característica devida a cargas permanentes;

$S_{\varepsilon k}$ é o valor característico da solicitação devida à deformação específica do material;

S_{qk} é o valor característico da solicitação devida a cargas acidentais ou sobrecargas de uso;

S_{wk} é o valor característico da solicitação devida ao vento.

Nota: estes limites aplicam-se, a princípio, a SVVIE destinados a edificações de até cinco pavimentos

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

O requisito de solicitações de cargas provenientes de peças suspensas atuantes nos sistemas de vedações internas e externas visa resistir às solicitações originadas pela fixação de peças suspensas (armários, prateleiras, lavatórios, hidrantes, quadros e outros) atentando ao critério de capacidade de suporte para as peças suspensas.

Os SVVIE da edificação habitacional, com ou sem função estrutural, sob ação de cargas devidas a peças suspensas não devem apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos (d_h) ou deslocamentos horizontais residuais (d_{hr}), lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento dos dispositivos de fixação nem seu esmagamento.

A Tabela 2.6 indica os valores e os critérios de desempenho em função da carga de ensaio para o dispositivo de fixação padrão do tipo mão francesa.

Tabela 2.6 Cargas de ensaio e critérios para peças suspensas fixadas por mão-francesa padrão

Carga de ensaio aplicada em cada ponto	Carga de ensaio aplicada em cada peça, considerando dois pontos	Critério de desempenho
0,4 kN	0,8 kN	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado limite de serviço; Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2\ 500$

Onde:

h é altura do elemento parede;

d_h é o deslocamento horizontal instantâneo;

d_{hr} é o deslocamento horizontal residual.

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

O requisito de impacto de corpo-mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas, com ou sem função estrutural, intenta resistir aos impactos de corpo mole obedecendo ao critério de resistência aos mencionados impactos.

Sob ação de impactos progressivos de corpo mole, os SVVIE não devem:

- sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança) que caracterize o estado limite último, para as correspondentes energias de impacto indicadas nas Tabelas 2.7 e 2.8;
- apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha (impactos de utilização) que possa comprometer o estado de utilização, observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais indicados nas Tabelas 2.7 e 2.8;

- provocar danos a componentes, instalações ou aos acabamentos acoplados ao SVVIE, de acordo com as energias de impacto indicadas nas Tabelas 2.7 e 2.8.

Tabela 2.7 Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de edifícios com mais de um pavimento

Elemento	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho	
Vedação vertical com função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	960	Não ocorrência de ruína (estado limite último)	
		720		
		480	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
		360		
		240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ $d_{hr} \leq h/1\ 250$	
	180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)		
	120			
	Impacto interno (todos os pavimentos)	Impacto externo (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	480	Não ocorrência de ruína nem traspasse da parede pelo corpo percussor de impacto (estado limite último)
			240	
		Impacto interno (todos os pavimentos)	180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
120			Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ $d_{hr} \leq h/1\ 250$	

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

continua...

Tabela 2.7 (Continuação)

Elemento	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho	
Vedação vertical sem função estrutural		720	Não ocorrência de ruína (estado limite último)	
		480		
	Vedação vertical sem função estrutural	360	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
		240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) $d_h \leq h/125$ $d_{hr} \leq h/625$	
	Vedação vertical sem função estrutural	180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
		120		
	Impactos internos (todos os pavimentos)		360	Não ocorrência de ruptura nem traspasse da parede pelo corpo percussor de impacto (estado limite último)
			180	
		Impactos internos (todos os pavimentos)	120	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
				Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ $d_{hr} \leq h/625$
Vedações verticais sem função estrutural, constituídas por elementos leves (G < 60 kg/m ²)	Impactos externos (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	720	Não ocorrência de ruína (estado limite último)	
		360	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
	Impactos externos (acesso externo do público; normalmente andar térreo)	240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
			Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/62,5$ $d_{hr} \leq h/625$	

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

continua...

Tabela 2.7 (Conclusão)

Elemento	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
Revestimento interno das vedações verticais externas em multicamadas ^a (impactos internos)		120	Não ocorrência de ruína (estado limite último) São admitidas falhas localizadas
		60	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação da ocorrência de deslocamento: $d_h < h/125$; $d_{hr} < h/625$

^a está sendo considerado neste caso que o revestimento interno da parede de fachada multicamada não é integrante da estrutura da parede, nem componente de contraventamento, e que os materiais de revestimento empregados sejam de fácil reposição pelo usuário. Desde que não haja comprometimento à segurança e à estanqueidade, podem ser adotados, somente para os impactos no revestimento interno, os critérios previstos na ABNT NBR 11681, considerando $E = 60$ J, para não ocorrência de falhas, e $E = 120$ J, para não ocorrência de rupturas localizadas. No caso de impacto entre montantes, ou seja, entre componentes da estrutura, o componente de vedação deve ser considerado sem função estrutural.

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

Tabela 2.8 Impacto de corpo mole para vedações verticais internas

Elemento	Energia de impacto de corpo mole J	Critério de desempenho
Vedações com função estrutural	360	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
	240	São admitidas falhas localizadas
	180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
	120	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço). Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/250$; $d_{hr} < h/1250$
	60	Não ocorrências de falhas (estado limite de serviço)
Vedações sem função estrutural	120	Não ocorrência de ruína (estado limite último) São admitidas falhas localizadas
	60	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço). Limitação da ocorrência de deslocamento: $d_h < h/125^a$ $d_{hr} < h/625$

^a Para paredes leves ($G \leq 600 \text{ N/m}^2$), sem função estrutural, os valores do deslocamento instantâneo (d_h) podem atingir o dobro do valor indicado nesta tabela.

Nota: aplica-se também a casas térreas e sobrados

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

O requisito de impacto de corpo mole nos sistemas de vedações verticais internas e externas – para casas térreas – com ou sem função estrutural visa resistir aos impactos de corpo mole seguindo os seguintes critérios de resistência a impactos de corpo mole:

Sob ação de impactos de corpo mole, os *SVVIE* para as casas térreas não devem:

- sofrer ruptura ou instabilidade (impactos de segurança), que caracterize o estado limite último, para as correspondentes energias de impacto indicadas nas Tabelas 2.9 e 2.10;
- sofrer fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de falha (impactos de utilização) que possa comprometer o estado de utilização, observando-se ainda os limites de deslocamentos instantâneos e residuais (d_h é o deslocamento horizontal instantâneo, d_{hr} é o deslocamento horizontal residual, h é a altura da parede), indicados nas Tabelas 2.9 e 2.10; e
- provocar danos a componentes, instalações ou aos acabamentos acoplados ao *SVVIE*, de acordo com as energias de impacto indicadas nas Tabelas 2.9 e 2.10.

Tabela 2.9 Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, com função estrutural

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critérios de desempenho	
Vedações verticais com função estrutural para casas térreas	Impacto externo (acesso externo do público)	720	Não ocorrência de ruína (estado limite último)	
		480	Não ocorrência de ruína (estado limite último)	
		360		
		240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
			Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250^a$ $d_{hr} \leq h/1\ 250$	
		180	Não ocorrência de falhas (estado limite último)	
	120			
	Impacto interno		480	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
			240	
			180	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
				Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
			120	Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250^a$ $d_{hr} \leq h/1\ 250$
		120	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)	
Revestimento interno das vedações verticais externas multicamadas ^b (impactos internos)		60	Não ocorrência de rupturas localizadas (estado limite último)	
			Não comprometimento da segurança e da estanqueidade à água da fachada	

^a Para sistemas leves ($G \leq 600$ N/m²) podem ser admitidos deslocamentos horizontais instantâneos iguais ao dobro do valor mencionado, desde que os deslocamentos horizontais residuais respeitem o valor máximo definido; tal condição também pode ser adotada no caso de sistemas destinados a sobrados unifamiliares.

^b Nesse caso está sendo considerado que o revestimento interno da parede de fachada multicamada não é integrante da estrutura da parede, nem considerado componente de contraventamento, bem como que os materiais de revestimento empregados sejam de fácil reposição pelo usuário. No caso de impacto entre montantes, ou seja, entre componentes da estrutura, o componente de vedação deve ser considerado sem função estrutural.

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

Tabela 2.10 Impactos de corpo mole para vedações verticais externas (fachadas) de casas térreas, sem função estrutural

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo mole J	Critérios de desempenho
Vedações verticais sem função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público)	480	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
		360	
	Impacto externo (acesso externo do público)	240	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ $d_{hr} \leq h/625$
		180	Não ocorrência de falhas (estado limite último)
	120		
	Impacto interno	360	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
		180	
	Impacto interno	120	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/125$ $d_{hr} \leq h/625$
		360	Não ocorrência de ruína (estado limite último)
	Impacto externo (acesso externo do público)	180	
120		Não ocorrência de ruína (estado limite último)	
Revestimento interno das vedações verticais externas multicamadas ^a	120		Não ocorrência de falhas
	60	Não ocorrência de rupturas localizadas Não comprometimento da segurança e da estanqueidade à água	

^a Revestimento interno da parede de fachada multicamada não é integrante da estrutura da parede, nem considerado componente de contraventamento, bem como os materiais de revestimento empregados são de fácil reposição pelo usuário.

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

O requisito de ações transmitidas por portas objetiva resistir às suas ações por meio do critério de ações transmitidas por portas internas ou externas, considerando que os SVVIE das edificações habitacionais, com ou sem função estrutural, devem permitir o acoplamento de portas e apresentar desempenho que satisfaça as seguintes condições:

- quando as portas forem submetidas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não devem apresentar falhas, tais como rupturas, fissurações, destacamentos no encontro com o marco, cisalhamento nas regiões de solidarização do marco, destacamentos em juntas entre componentes das paredes e outros;
- sob ação de um impacto de corpo mole com energia de 240 J, aplicado no centro geométrico da folha de porta, não deve ocorrer arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. Admite-se, no contorno do marco, a ocorrência de danos localizados, tais como fissurações e estilhaçamentos.

O requisito de impacto de corpo duro incidente nos SVVIE, com ou sem função estrutural, visa resistir a esses impactos observando o critério de resistência a impactos de corpo duro em que, sob essa ação, as paredes verticais externas (fachadas) e as vedações verticais internas não devem:

- apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), sendo admitidas moissas localizadas, para os impactos de corpo duro indicados nas Tabelas 2.11 e 2.12;
- apresentar ruptura ou traspassamento sob ação dos impactos de corpo duro indicados nas Tabelas 2.11 e 2.12.

Tabela 2.11 Impacto de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas)

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro	Critério de desempenho
		J	
Vedação vertical com ou sem função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas inclusive no revestimento (estado limite de serviço)
		20	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último)
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
		10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último)

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

Tabela 2.12 Impactos de corpo duro para vedações verticais internas

Sistema	Energia de impacto de corpo duro	Critério de desempenho
	J	
Vedação vertical com ou sem função estrutural	2,5	Não ocorrência de falhas (estado limite de serviço)
	10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou transpassamento (estado limite último).

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

Para o requisito de cargas de ocupação incidentes em guarda-corpos e parapeitos de janelas os SVVIE deverão resistir à ação das cargas de ocupação que atuam nos guarda-corpos e parapeitos da edificação habitacional. O esforço aplicado é representado por:

- esforço estático horizontal;
- esforço estático vertical;
- resistência a impactos.

Para atendimento a esse requisito será observado o critério de ações estáticas horizontais, estáticas verticais e de impactos incidentes em guarda-corpos e parapeitos, obedecendo a suas respectivas normas vigentes.

2.8.2 Segurança contra incêndio

Para este item a Norma prevê o requisito de dificultar a ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio e não gerar fumaça excessiva capaz de impedir a fuga dos ocupantes em situações de incêndio.

Para tal deve-se atentar ao critério de avaliação da reação ao fogo da face interna dos sistemas de vedações verticais e respectivos miolos isolantes térmicos e absorventes acústicos, já que as superfícies internas das vedações verticais externas (fachadas) e ambas as superfícies das vedações verticais internas devem classificar-se como:

- I, II A ou III A, quando estiverem associadas a espaços de cozinha;
- I, II A, III A ou IV A, quando estiverem associadas a outros locais internos da habitação, exceto cozinhas;
- I ou II A, quando estiverem associadas a locais de uso comum da edificação,
- I ou II A, quando estiverem associadas ao interior das escadas, porém com D_m inferior a 100.

Os materiais empregados no meio das paredes (miolo), sejam externas ou internas, devem classificar-se como I, II A ou III A.

Estas classificações constam da tabela 2.13 ou da tabela 2.14, de acordo com o método de avaliação previsto.

Tabela 2.13 Classificação dos materiais tendo como base o método ABNT NBR 9442

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

Notas: Δm – Variação da massa do corpo de prova; t_f – Tempo de flamejamento do corpo de prova; l_p – Índice de propagação superficial de chama; D_m – Densidade específica óptica máxima de fumaça; Δt – Variação da temperatura no interior do forno; ISO 1182 – “Buildings materials – non – combustibility test”; ABNT NBR 9442 - Materiais de Construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante - Método de Ensaio; ASTM E 662 – “Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials”.

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

Tabela 2.14 Classificação dos materiais tendo como base o método EN 13823

Método de ensaio	ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30s)
Classe	Incombustível		
	$\Delta t \leq 30^\circ \text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
I	A	Combustível	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
		FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	
II	B	Combustível	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
		FIGRA $\leq 120 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 7,5 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	
III	A	Combustível	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
		FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	
IV	B	Combustível	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
		FIGRA $\leq 250 \text{ W/s}$ LSF < canto do corpo-de-prova THR600s $\leq 15 \text{ MJ}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	
V	A	Combustível	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 60 s
		FIGRA $\leq 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $\leq 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ e TSP600s $\leq 200 \text{ m}^2$	
V	B	Combustível	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s
		FIGRA $> 750 \text{ W/s}$ SMOGRA $> 180 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ou TSP600s $> 200 \text{ m}^2$	

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

continua...

Tabela 2.14 (Conclusão)

VI	-	-	FS ≤ 150 mm em 20 s -
----	---	---	--------------------------

Notas: FIGRA – Índice da taxa de desenvolvimento de calor; LFS – Propagação lateral da chama; THR600s – Liberação total de calor do corpo-de-prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas; TSP600s – Produção total de fumaça do corpo-de-prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas; SMOGRA – Taxa de desenvolvimento de fumaça, correspondendo ao máximo do quociente de produção de fumaça do corpo-de-prova e o tempo de sua ocorrência; FS – Tempo em que a frente da chama leva para atingir a marca de 150 mm indicada na face do material ensaiado; ; ISO 1182 – “Buildings materials – non – combustibility test”; EN 13823 – Reaction to fire tests for building products – Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item (SBI); EN ISO 11925-2 – Reaction to fire tests – Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

O requisito de dificultar a propagação do incêndio satisfaz ao critério de avaliação da reação ao fogo da face externa das vedações verticais que compõem a fachada, que deverão ser classificadas como I ou II B, conforme as tabelas 2.13 e 2.14.

Para o requisito de dificultar a propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação será observado o critério de resistência ao fogo de elementos estruturais e de compartimentação, que devem atender à ABNT NBR 14432 para controlar os riscos de propagação do incêndio e preservar a estabilidade estrutural da edificação em situação de incêndio.

As paredes estruturais devem apresentar resistência ao fogo por um período mínimo de 30 minutos, assegurando neste período condições de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmica, no caso de edificações habitacionais de até cinco pavimentos. O tempo requerido de resistência ao fogo deve ser considerado, entretanto, conforme a ABNT NBR 14432, considerando a altura da edificação habitacional, para os demais casos. (ABNT NBR 15575, 2013)

Assim também, as paredes de geminação de casas térreas geminadas e de sobrados geminados, bem como as paredes entre unidades habitacionais e que fazem divisa com as áreas comuns nos edifícios multifamiliares, são elementos de compartimentação horizontal e devem apresentar resistência ao fogo por um período mínimo de 30 minutos, considerando os critérios de avaliação relativos à estabilidade, estanqueidade e isolamento térmica, no caso de edifícios até cinco pavimentos.

No caso de unidade habitacional unifamiliar, isolada, até 2 pavimentos, exige-se resistência ao fogo de 30 minutos para os SVVIE somente na cozinha e ambiente fechado que abrigue equipamento de gás.

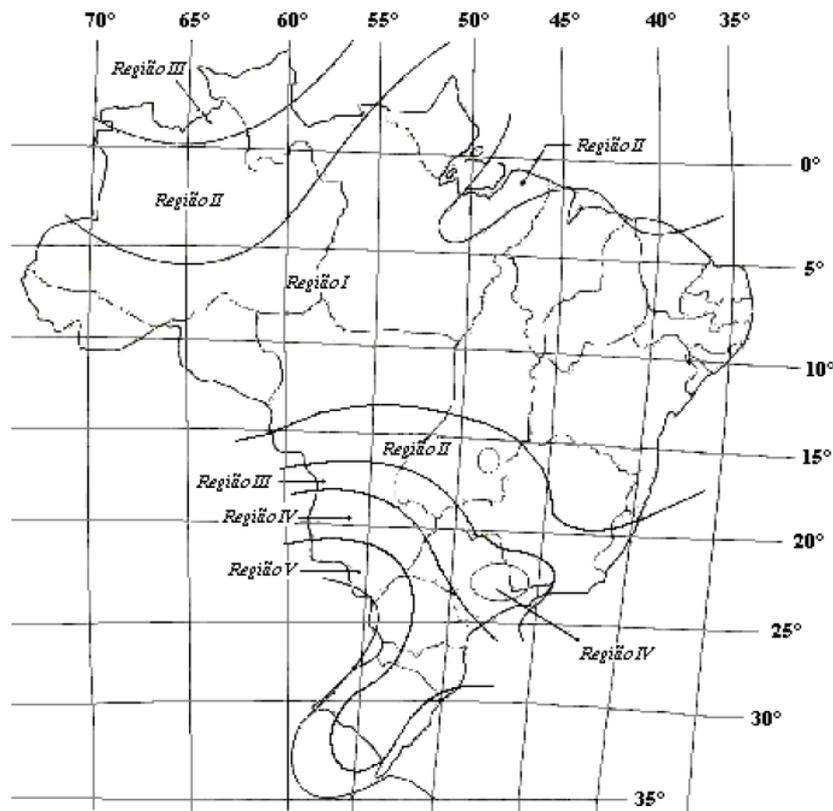
2.8.3 Estanqueidade

Para esse item a Norma apresenta o requisito de infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas (fachadas), que devem ser estanques à água proveniente de chuvas incidentes ou de outras fontes. Para tal, observa-se o critério de estanqueidade à água de chuva, considerando-se a ação dos ventos, em sistemas de vedações verticais externas (fachadas).

Para as condições de exposição indicadas na Tabela 2.15, e conforme as regiões de exposição ao vento indicadas na Figura 2.19, os sistemas de vedação vertical externa da edificação habitacional, incluindo a junção entre a janela e a parede, devem permanecer estanques e não apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água aderentes na face interna, podendo ocorrer pequenas manchas de umidade, com áreas limitadas aos valores indicados na Tabela 2.16.

Para esquadrias externas devem ser também atendidas as especificações constantes em norma específica.

Figura 2.18: Condições de exposição conforme as regiões brasileiras



Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

Tabela 2.15: Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas

Região do Brasil	Condições de ensaio de paredes	
	Pressão estática Pa	Vazão de água L / m ² min
I	10	3
II	20	
III	30	
IV	40	
V	50	

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013.

Tabela 2.16: Estanqueidade à água de vedações verticais externas (fachadas) e esquadrias

Edificação	Tempo de Ensaio h	Percentual máximo da soma das áreas das manchas de umidade na face oposta à incidência da água, em relação à área total do corpo-de-prova submetido à aspersão de água, ao final do ensaio
Térrea (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	10
Com mais de um pavimento (só a parede, seja com ou sem função estrutural)	7	5
Esquadrias	Devem atender à ABNT NBR 10821	

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

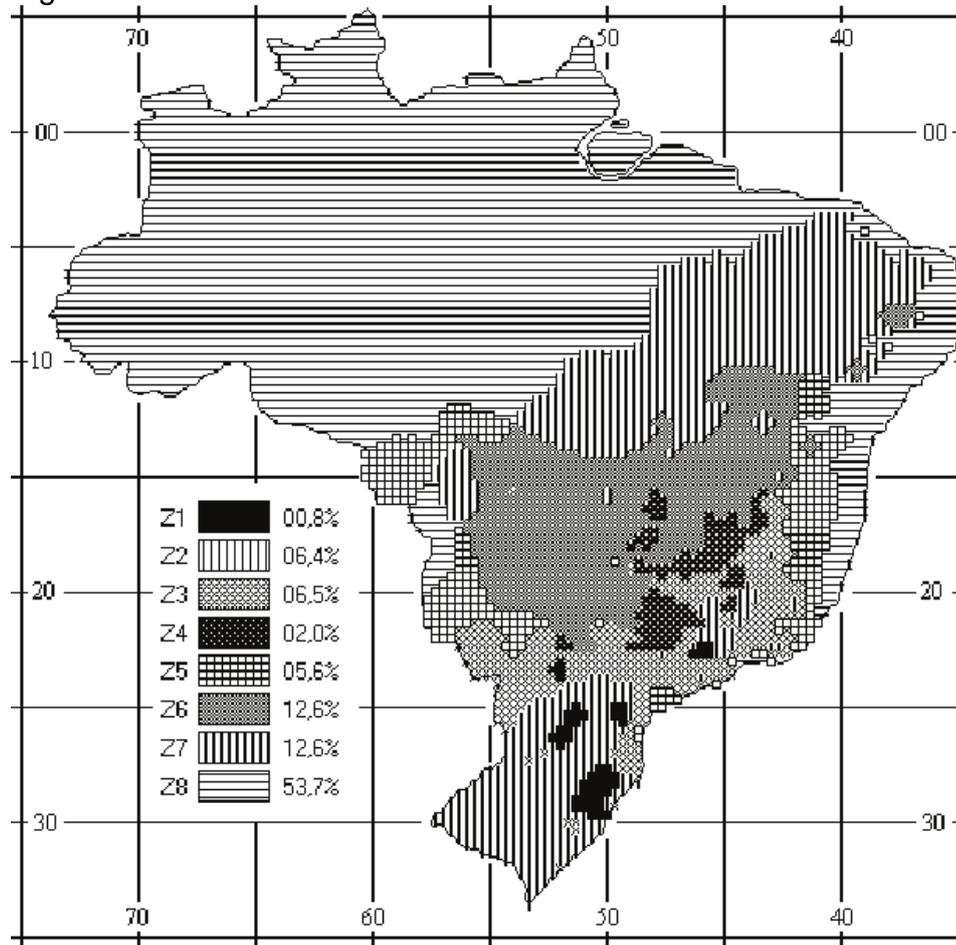
Esse item expõe, também, o requisito de umidade nas vedações verticais externas e internas decorrente da ocupação do imóvel, já que elas não devem permitir infiltração de água, através de suas faces, quando em contato com áreas molháveis e molhadas, satisfazendo aos seguintes critérios:

- estanqueidade de vedações verticais internas e externas com incidência direta de água – Áreas molhadas cuja quantidade de água que penetra não deve ser superior a 3 cm³, por um período de 24 h, numa área exposta com dimensões de 34 cm x 16 cm;
- estanqueidade de vedações verticais internas e externas em contato com áreas molháveis em que não deve ocorrer presença de umidade perceptível nos ambientes contíguos, desde que respeitadas as condições de ocupação e manutenção previstas em projeto e descritas no manual de uso e operação.

2.8.4 Desempenho térmico

Para este item, a norma apresenta o requisito de adequação de paredes externas que devem apresentar transmitância térmica e capacidade térmica que proporcionem, pelo menos, desempenho térmico mínimo estabelecido no critério de transmitância térmica de paredes externas para cada zona bioclimática estabelecida na ABNT NBR 15220-3 (2005) (Figura 2.20).

Figura 2.19: Zoneamento bioclimático do Brasil



Fonte: 15220-3 (2005).

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica (U) das paredes externas estão apresentados na Tabela 2.17.

Tabela 2.17 Transmitância térmica de paredes externas

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

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

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

O nível mínimo de desempenho para aceitação é o *M* (denominado mínimo), através do critério de capacidade térmica de paredes externas, e os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas estão apresentados na Tabela 2.18.

Tabela 2.18 Capacidade térmica de paredes externas

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

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

O item apresenta, ainda, o requisito de aberturas para ventilação, que devem ter dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes de longa permanência, como salas, cozinhas e dormitórios.

Para tal, satisfaz-se o critério específico em normas vigentes locais, incluindo o Código de Obras, Códigos Sanitários e outros. No caso de não haver exigências de ordem legal para o local de implantação da obra, devem ser adotados os valores indicados na Tabela 2.19.

Tabela 2.19 Área mínima de ventilação em dormitórios e salas de estar

Nível de desempenho	Aberturas para ventilação (A)	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
	Aberturas médias	Aberturas grandes
Mínimo	$A \geq 7\%$ da área do piso	$A \geq 12\%$ da área de piso Região Norte do Brasil $A \geq 8\%$ da área do piso Região Nordeste e Sudeste do Brasil

Nota: nas zonas de 1 a 6 as áreas de ventilação devem ser passíveis de serem vedadas durante o período do frio.

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

2.8.5 Desempenho acústico

Para esse item é apresentado o requisito de níveis de ruído admitidos na habitação, através do critério de diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação externa (fachada e cobertura, no caso de casas térreas e sobrados, e somente fachada, nos edifícios multipiso), verificada em ensaio de campo.

Os valores mínimos de desempenho são indicados na Tabela 2.20.

Tabela 2.20 Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{2m,nT,w}$, da vedação externa de dormitório

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ [dB]
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.	≥ 20
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que conforme a legislação.	≥ 30

Nota 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros não há exigências específicas.

Nota 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias há necessidade de estudos específicos

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

O critério de diferença padronizada de nível ponderada, promovida pela vedação entre ambientes, verificada em ensaio de campo nos quais o SVVI (Sistema de Vedação Vertical Interna) deve apresentar desempenho mínimo de diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, conforme a Tabela 2.21.

Tabela 2.21 Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$, entre ambientes

Elemento	$D_{nT,w}$ [dB]
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	≥ 40
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), caso pelo menos um dos ambientes seja dormitório	≥ 45
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	≥ 40
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	≥ 40

Fonte: ABNT NBR 15575 – 4, 2013

2.8.6 Durabilidade e manutenibilidade

Segundo esse item, o requisito para SVVE – Sistema de Vedação Vertical Externa enuncia que devem ser limitados os deslocamentos, fissurações e falhas nas paredes externas, incluindo seus revestimentos, em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento que ocorrem durante a vida útil do edifício.

Atenta ao critério de ação de calor e choque térmico em que as paredes externas, incluindo seus revestimentos, submetidas a dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e resfriamento por meio de jato de água, não devem apresentar:

- deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo-de-prova, superior a $h / 300$, onde h é a altura do corpo de prova;
- ocorrência de falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloramentos e outros danos que possam comprometer a utilização do SVVE.

Enuncia, também, o requisito de vida útil de projeto dos sistemas de vedações verticais internas e externas, o qual deve manter a capacidade funcional e as

características estéticas, ambas compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto. Submete-se ao critério de vida útil de projeto em que os SVVIE da edificação habitacional devem apresentar VUP igual ou superior aos períodos especificados na ABNT NBR 15575 – 1, e ser submetidos a manutenções preventivas (sistemáticas) e, sempre que necessário, a manutenções corretivas e de conservação previstas no manual de operação, uso e manutenção.

Por fim, apresenta o requisito de manutenibilidade dos SVVIE, os quais devem manter a capacidade funcional durante a VUP, desde que submetidos às intervenções periódicas de manutenção especificadas pelos respectivos fornecedores.

3 DIRETRIZES DE PROJETOS

Segundo Oliveira (2002), industrialização, racionalização e qualidade são conceitos que possibilitam a compreensão dos processos de grande potencial de industrialização, como os painéis pré-fabricados arquitetônicos em todas as etapas, da fábrica ao canteiro de obras, e utilizados em fachadas de edifícios. A industrialização de um processo é resultado de amadurecimento que integra racionalização e qualidade.

O aumento de produtividade e recursos otimizados caracterizam a racionalização.

A racionalização da construção é o processo dinâmico que torna possível a otimização do uso de recursos humanos, materiais, organizacionais, tecnológicos e financeiros, visando atingir objetivos fixados nos planos de desenvolvimento de cada país e de acordo com a realidade socioeconômica própria. (FRANCO¹³, 1992 apud OLIVEIRA *et al.* 2013)

O nível de industrialização e qualidade do processo e do produto final está relacionado, segundo este autor, à aplicação de racionalização nas fases de concepção e execução.

Salas¹⁴ (1980 apud OLIVEIRA *et al.* 2013) afirma que os índices propostos para quantificar o grau de industrialização surgiram num período correspondente ao auge da pré-fabricação, compreendendo índices de produtividade da mão de obra e relação percentual entre volume total e volume da obra pré-fabricada.

Com relação à qualidade, dois conceitos podem ser estudados: características do produto, que atendam às exigências dos clientes, e ausência de falhas.

Para se obter aumento de produtividade e diminuição de custos, desperdícios e ocorrência de patologias é necessário o uso de ferramentas para organizar informações, planejar e analisar interfaces e especificar critérios de desempenho, tanto para a gerência como para a mão de obra.

¹³FRANCO, L. S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada.** São Paulo, 1992. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

¹⁴SALAS, S. J. **Alojamiento y tecnologia: industrializacion abierta?** Madrid, Instituto Eduardo Torroja, 1980.

Nessa análise, conclui-se que o projeto seja a chave para obtenção do nível de industrialização, já que concebe, “além do produto o processo de produção, assumindo o encargo primordial de agregar eficiência e qualidade ao produto” (MELHADO¹⁵, 1994 apud OLIVEIRA *et al.* 2013).

O projeto é de suma importância desde a fase de concepção do edifício, sendo o elo entre as interfaces. É ele que agrega qualidade ao processo e deve conter desde requisitos dos proprietários, custos, tempo de execução, funcionalidade, desempenho e aspectos de segurança.

Cada especificação do projeto é desenvolvida por uma equipe. Portanto, é necessário coordenação entre elas, o que exige do projeto padronização de informações, análise das interfaces dos subsistemas, parâmetros de controle, eliminação de impasses, etc., tudo para que os envolvidos tenham visão sistêmica da obra.

Acredita-se que a implementação do nível de industrialização, a otimização de recursos, o aumento de produtividade (através da racionalização construtiva) e a aplicação dos princípios da qualidade na utilização da tecnologia de painéis pré-fabricados estão intimamente ligados à qualidade no desenvolvimento do projeto, tanto no que se refere à definição do produto final como do seu processo de produção. (OLIVEIRA *et al.* 2013)

A troca de informação entre os envolvidos, desde o projetista até o fornecedor, assegura maior eficiência do empreendimento, sendo que os painéis pré-fabricados arquitetônicos de fachada devem fazer parte da industrialização do processo de produção.

O projetista deve conhecer as particularidades do painel, dimensões das juntas, detalhes da fixação em relação à estrutura, estanqueidade da água, detalhes de equipamentos do canteiro de obras, etc.

¹⁵MELHADO, S.B. **Qualidade do projeto na construção de edifícios:** aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. São Paulo, 1994. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Segundo Oliveira (2002):

- Na **primeira fase**, elaboram-se os anteprojetos com a modulação dos painéis e identificam-se as principais interferências com os demais anteprojetos. Durante esta fase, devem ser consideradas o quanto antes as interferências existentes entre os vários anteprojetos e as possíveis soluções, escolhendo a que apresentar o maior grau de industrialização dentro de uma visão global do processo construtivo do edifício.

Essa fase engloba o levantamento de informações sobre o painel e a edificação, dentro do processo de industrialização, e o desenvolvimento do anteprojeto do painel, com coordenação modular, tipos de fixação, revestimentos, vedação, pontos de passagem e esquadrias, etc.

- A **segunda fase** engloba o anteprojeto dos painéis, no que se refere a aspectos de sua produção propriamente dita e ao projeto do processo interno à sua fabricação. A organização do pátio é a primeira parte desta fase, onde se procura visualizar os “lay-outs” da fábrica (nas etapas de confecção de fôrmas, de armação, de colocação dos insertos metálicos, de concretagem e acabamento final do painel), seguida do desenvolvimento dos anteprojetos de produção, onde se estabelecem os materiais a serem utilizados nas diversas etapas, como será executado o controle e inspeção, criando indicadores e parâmetros de aceite ou não de algum serviço e, ainda, a otimização da movimentação tanto da mão de obra como dos equipamentos.

Aqui é importante a análise da produção da fábrica que pode interferir no desempenho do processo de montagem e na qualidade do produto final.

- A **terceira fase** refere-se à interface Projeto-Produção no canteiro de obras e, segundo MELHADO; BARROS; SOUZA (1995), “tem como finalidade antecipar e direcionar as atividades a serem desenvolvidas no canteiro de obras”. Portanto, esta fase objetiva a montagem dos painéis de forma racional, utilizando seu potencial de industrialização.

Essa é a fase da organização do canteiro de obras, sua sistematização, detalhes de logística, armazenamento, acesso, etc.

3.1 SUSTENTABILIDADE

Doniak; Gutstein (2012) afirmam que as questões relativas ao consumo energético e à “pegada de carbono” devem ser consideradas sob duas perspectivas. Primeiramente avaliam-se as fases do empreendimento, desde a montagem da estrutura e dos respectivos acabamentos até a fase de seu uso, operação e manutenção. Ao mesmo tempo, devem-se considerar os aspectos de sua contribuição à eficiência energética da edificação ou do projeto como um todo.

As autoras enumeram, ainda, as vantagens da construção racionalizada perante a sustentabilidade como:

- economia de jazidas naturais;
- minimização da produção de resíduos;
- utilização de materiais locais e aproveitamento da reciclagem de materiais;
- racionalização da obra;
- preservação do patrimônio, devido à flexibilidade e adaptabilidade das edificações pré-fabricadas e à redução de custos em manutenção e maior longevidade.

A escolha do pré-moldado pode significar maior eficiência energética das edificações quando relacionadas aos desempenhos térmico, acústico e de armazenamento. (DONIAK; GUTSTEIN, 2012). Além disso, a prerrogativa do sistema racionalizado está na sua rastreabilidade e no controle de qualidade aliados ao desenvolvimento tecnológico, agente facilitador no desenvolvimento e aprimoramento de novos materiais como, por exemplo, o aproveitamento de resíduos.

Moura; De Sá (2014) afirmam que “a racionalização, na construção, estuda os processos de transformação, fluxo e valor, visando ao aperfeiçoamento de determinada atividade”. A análise de determinado processo é de vital importância à identificação de pontos fracos, a fim de acelerar a produção.

3.2 CONSTRUTIBILIDADE

O Constructability Industry Institute – CII entidade norte-americana que congrega diversas empresas do setor da construção civil, define construtibilidade como a integração efetiva e oportuna da concepção de conhecimentos ante os planejamentos conceituais, projeto, construção e operações de campo de um empreendimento para atingir seus objetivos gerais no melhor tempo possível e precisão nos níveis mais rentáveis.

A construtibilidade, mais que uma ferramenta pontual, é uma técnica de gerenciamento de projetos para avaliar os processos de construção do início ao fim, durante a fase de pré-construção, e sua real aplicação é identificar os obstáculos antes de um projeto ser realmente executado, para sanar ou prevenir erros, atrasos e custos excedentes.

À vista disso, é possível entender esse processo como o emprego de determinadas dinâmicas à fase projetual, objetivando racionalizar a construção. Sabbatini¹⁶ (1989 apud FRANCO, s.d) considera “racionalização construtiva como o conjunto de ações que tem por objetivo otimizar o uso de todos os recursos disponíveis, em todas as fases do empreendimento”.

Segundo Franco e Agopyan (1993), a construtibilidade é, “dentre os princípios empregados para o desenvolvimento do projeto, aquele que fundamenta as medidas de racionalização do processo construtivo.”.

Griffith¹⁷ (1986) afirma que o principal objetivo da racionalização do projeto através do incremento da construtibilidade é tornar mais efetiva a aplicação dos recursos da construção, tornando as tarefas mais fáceis de serem executadas através da consideração destes procedimentos na fase do projeto (FRANCO; AGOPYAN, 1993).

¹⁶SABBATINI, F.H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia.** São Paulo, 1989. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

¹⁷ GRIFFITH, A. Buildability: the effect of design and management on construction. In: CIB TRIENNIAL CONGRESS, 10. Washington, 1986. **Advancing building technology: proceedings.** s. l., CIB, 1986. v. 8, p. 3504-12

Franco; Agopyan (1993) ainda enumeram cinco princípios fundamentais da racionalização nesta fase de projeto:

- construir numa mesma sequência;
- reduzir o número de operações na construção;
- simplificar o projeto dos elementos;
- padronizar os componentes da construção;
- coordenar dimensionalmente os materiais.

As alternativas de projeto, bem como de racionalização, precisam ser analisadas sob os aspectos da construtibilidade e desempenho, uma vez que o projeto só é considerado bem concebido se as soluções contidas nele se apresentarem pertinentes à execução.

Outro aspecto importante, ligado a construtibilidade, diz respeito a manutenibilidade que:

(...) consiste na previsão de facilidade, praticidade, acessibilidade e menor custo em limpeza, inspeção periódica e troca de componentes e elementos na fase do uso. O uso de materiais de qualidade e boa execução tendem a aumentar a durabilidade das partes da obra onde foram aplicados e reduzir a necessidade e custo de manutenção (OLIVEIRA, 1999).

3.3 INTEGRAÇÃO PROJETO – PRODUÇÃO

Segundo Picchi; Agopyan (1993), para obter qualidade no projeto é imprescindível qualificar, também, os produtos e processos através da averiguação do desempenho e da durabilidade de todas as soluções aplicadas aos projetos.

Desde a literatura recente até a experiência dos profissionais da construção civil, constata-se que há falhas críticas no processo, dada à falta de integração entre as etapas de projeto e produção, fator que evidencia as discrepâncias na cadeia de fluxo de valores de um empreendimento (LANA; ANDERY; 2001).

Minto; Melhado (2001) corroboram que o desenvolvimento tecnológico, aliado à complexidade dos empreendimentos, acarreta na especialização de conhecimentos, o que, por sua vez, abarca diferentes profissionais, a fim de aprofundar os inúmeros aspectos de um projeto.

Entretanto, “na construção de edifícios, os projetos são geralmente desenvolvidos paralelamente pelos diversos projetistas (arquitetura, estruturas e instalações), sendo reunidos, muitas vezes, somente na hora de execução dos serviços na obra”. (PICCHI; AGOPYAN; 1993). Os autores ainda afirmam que este cenário provoca incompatibilidades generalizadas, comprometendo a qualidade do produto, com perda de materiais e de produtividade.

Segundo Lana; Andery (2001), esta problemática se deve à sua gênese, ou seja, às disciplinas oferecidas nos cursos de arquitetura e engenharia, que são oferecidas de forma segmentada, sem que haja o relacionamento entre elas, já que não há uma visão holística do processo global de construção de um empreendimento.

Para Koskela *et al*¹⁸ (1997 apud MINTO; MELHADO; 2001), o gerenciamento de projetos e dos serviços de engenharia é uma das áreas mais negligenciadas nos empreendimentos de construção, levando à substituição do planejamento e do controle pelo “caos” e pela improvisação no processo.

Um fator de grande resultado na redução de retrabalhos e patologias é a realização de projetos de produção, definindo detalhes de serviços, tais como: impermeabilização, formas, alvenaria, fachadas, etc. Estas decisões, sendo tomadas desde o projeto, de maneira compatibilizada, garantem soluções bem melhores que as improvisações que normalmente ocorrem em obras, no caso de não existirem projetos de produção (PICCHI; AGOPYAN; 1993).

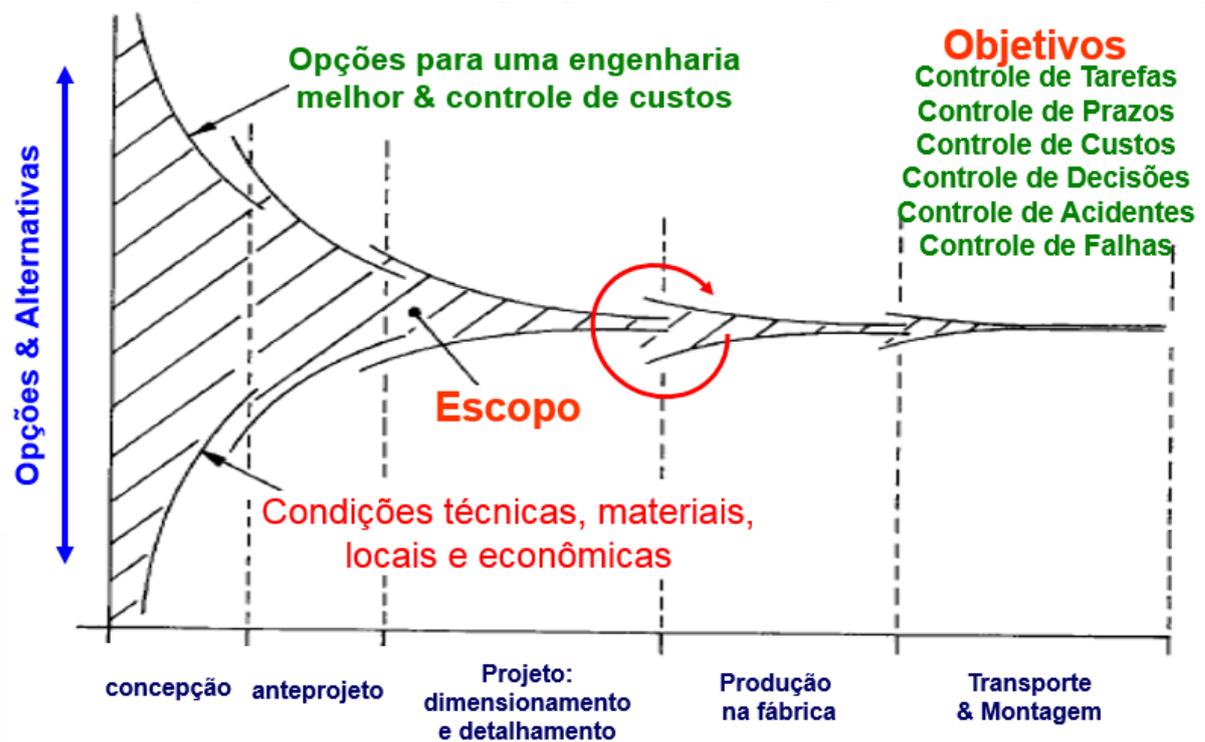
Segundo Ferreira (2013), o projeto de sistemas construtivos em concreto pré-moldado está relacionado com os processos de fabricação e de montagem, integrando tecnologias de materiais, elementos e componentes (ligações) necessários para a composição dos sistemas estruturais pré-moldados (concreto armado ou protendido), considerando tanto as etapas transitórias quanto as definitivas.

¹⁸ KOSKELA, L.; BALLARD, G.; TANHUNPÄÄ, V. Towards Lean Design Management. In. **Conference of the International Group for Lean Construction**, 5, 1997, Gold Coast. **Proceedings**. Gold Coast, 1997. (16-17 July, p. 1-12). Australia

Ferreira (2012) ainda explica que a qualidade do projeto deve atender às exigências de desempenho considerando o comportamento em uso, quando submetido às condições de exposição. Além disso, o projeto precisa ser estabelecido como ferramenta de controle da qualidade do produto final, ou seja, a edificação.

Outro ponto crucial a ser ponderado, segundo Ferreira (2013), está na possibilidade de aplicar as melhores soluções ainda na fase de projeto, o que pode significar aumento na produtividade e a mitigação de retrabalhos. Para tal, o autor demonstra graficamente a inviabilização de tomadas de decisões ao longo do processo construtivo (Figura 3.1).

Figura 3.1: Redução das opções e alternativas na cadeia produtiva de sistemas pré-moldados de concreto.



Fonte: Ferreira, 2013

A definição objetiva, ainda na fase projetual, da função dos painéis pré-moldados de concreto, seja ela estrutural, arquitetônica ou somente divisória é fundamental, uma vez que essa solução irá determinar os acabamentos necessários a cada uma, e é na fase de produção que essas características serão aplicadas através de métodos e ferramentas distintas.

Um exemplo claro acerca dessa constatação está nos diversos processos de produção dos painéis, que podem ser fabricados através de esteiras horizontais do tipo carrossel (Figura 3.2), neste caso indicado para painéis que não receberão nenhum acabamento extra ou, ainda, em formas de bateria, em que serão executados na vertical (Figura 3.3), e precisam de acabamentos.

Figura 3.2: Esteiras Horizontais – tipo carrossel.



Fonte: Ferreira (2013)

Figura 3.3: Forma vertical – tipo bateria.



Fonte: Ferreira (2013)

O desempenho global do empreendimento envolve uma ampla série de intervenientes com um mesmo propósito: a compreensão e satisfação das necessidades dos clientes através de interfaces que, sobretudo na construção civil, devem estar concatenadas.

3.4 OS SISTEMAS INDUSTRIAIS DE CONSTRUÇÃO

Considerando os aspectos operacionais ligados à edificação industrializada, são dois os sistemas industriais de construção: os de ciclo aberto e os de ciclo fechado. Estes se diferenciam pelo modo de utilizar os componentes industrializados.

3.4.1 Ciclo Fechado

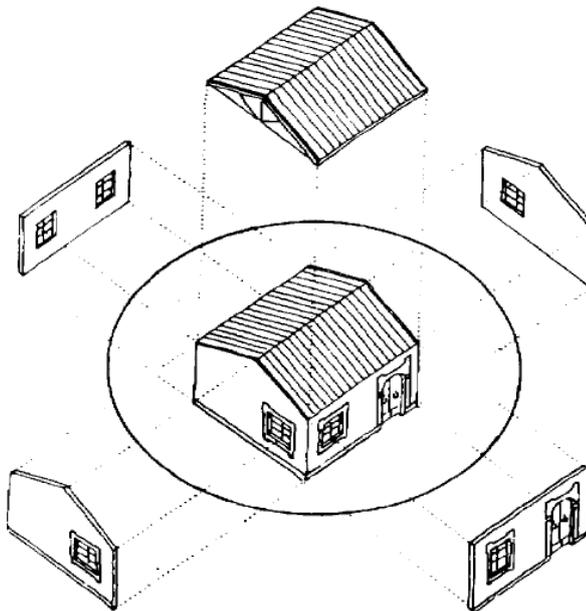
O período do pós-guerra na Europa significou o processo de reconstrução de diversos países, como a França, onde foram utilizados amplamente elementos pré-fabricados em concreto.

Bruna (1976) afirma que os painéis utilizados na época mediam aproximadamente 0,60 a 0,90 X 2,50 X 0,20 m, pesando cerca de uma tonelada quando montados numa estrutura portante convencional.

Devido ao tamanho mínimo dos painéis, as excessivas juntas e a dificuldade de instalação ocasionaram aumento dos painéis que, nas novas especificações, podiam vencer grandes vãos, eram ligados somente com os elementos estruturais verticais, eliminando as juntas, e dando força aos painéis estruturais pré-fabricados em concreto.

Os edifícios residenciais eram projetados e passaram a ser seccionados em grandes elementos, como os painéis-parede, que eram produzidos e montados por máquinas de içamento, com equipes reduzidas de operários, caracterizando, assim, o sistema industrial de Ciclo Fechado (Figura 3.4). Esse sistema surgia do organismo considerado, aqui, como o projeto fechado e, a partir dele, eram executadas as peças.

Figura 3.4: Ciclo Fechado



Fonte: Mandolesi¹⁹ (1981, apud RIBEIRO, 2002)

Segundo Ferreira (2003), no período pós- guerra os sistemas pré-fabricados de ciclo fechado representaram a tecnologia dominante, onde se procurou aplicar na construção civil os mesmos conceitos adotados em outros setores da indústria, buscando-se a produção em série com alto índice de repetição dos elementos pré-moldados. (PIGOZZO *et al*, 2005)

Segundo Mandolesi (1981, apud RIBEIRO, 2002), o ciclo fechado possui as seguintes limitações:

- requer uma determinada quantidade de unidades do mesmo tipo para viabilizar a sua concepção e seu desenvolvimento;
- exclui a possibilidade de abrir o mercado aos componentes industrializados para serem aplicados em outros tipos e categorias de edificações;
- limita a variedade de edificações que poderiam ser criadas devido às características únicas dos componentes do sistema;
- torna-se exclusivo às grandes empresas, em detrimento das pequenas e médias, a não ser que estas se associem em consórcios ou cooperativas.

¹⁹ MANDOLESI, Enrico. **Edificación. El proceso de edificación. La edificación industrializada. La edificación del futuro** – Ediciones CEAC / Barcelona, España, 1981.

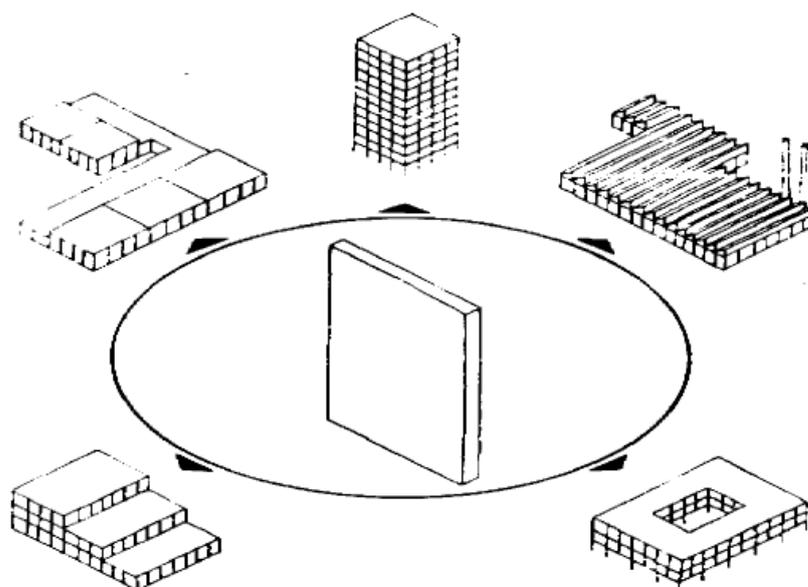
Conforme Ferreira (2003 apud PIGOZZO *et al*, 2005), a filosofia desse sistema oferecia um produto fechado, utilizando a modulação como ferramenta da racionalização, e com grande adequação dos produtos (peças) aos seus subsistemas. Não houve, porém, qualquer compatibilização com outros processos construtivos.

Bruna (1976) salienta que com os altos custos na mecanização e no transporte, decorrente da velocidade de oferta desses produtos, tornava inviável qualquer alteração na linha de produção, o que reduzia a quase zero a flexibilidade arquitetônica.

3.4.2 Ciclo Aberto

Esse sistema, ao contrário da filosofia anterior, parte do projeto e da produção das peças anteriormente ao projeto do edifício. Com características mais flexíveis e menos rígidas, a produção de peças polivalentes e padronizadas, desde que fossem compatíveis umas às outras, tornou possível a concepção dos empreendimentos através da diversidade de combinações de montagem (Figura 3.5).

Figura 3.5: Ciclo Aberto



Fonte: Mandolesi (1981 apud RIBEIRO 2002)

Para Ferreira (2003), este novo sistema surgiu devido à possibilidade de associar os elementos pré-fabricados de diferentes fabricantes. Desta forma, o produto final, ou seja, o sistema construtivo torna-se um arranjo racional de diferentes “produtos” (componentes padronizados). (PIGOZZO *et al*, 2005)

Mandolesi (1981 apud RIBEIRO, 2002) enumera as seguintes finalidades para o ciclo industrial aberto:

- conseguir uma maior penetração do produto no mercado de construção, pelas amplas possibilidades de escolha oferecidas ao consumidor;
- ter maior flexibilidade sobre o tamanho da série do produto, pois não existe a sujeição a valores mínimos de intervenção por unidade de construção do mesmo tipo;
- permitir uma organização maior das empresas produtoras de componentes;
- limitar os custos de instalação por meio da criação de empresas produtoras especializadas em cada tipo de componente;
- dar uma liberdade efetiva ao projeto do produto na esfera arquitetônica e, sobretudo, dar a possibilidade de uma constante manutenção nos modelos concebidos.

Koncz²⁰ (1977 apud PIGOZZO *et al*, 2005) afirma que nos sistemas abertos o produto industrializado é o componente e, nos sistemas fechados, o produto industrializado é o edifício terminado.

Bruna (1976) corrobora que as empresas produziam um estoque consideravelmente grande e diversificado e, portanto, era necessário um catálogo com as características, dimensões, qualidades e composições, além de peso e estanqueidade. Por isso, esse ciclo foi bastante difundido como industrialização de catálogo.

Apesar de moderno, esse sistema já era bastante utilizado na Europa por arquitetos que ofereciam essa proposta de construção. Para tal, foi necessária a retomada de estudos e pesquisas nessa área, a fim de sanar as principais dúvidas e garantir a eficiência do edifício.

²⁰KONCZ, T. **Construcción Industrializada**. Madrid, Hermann Blume. 1977.

A construção industrializada desse ciclo admite iniciativas coordenadas entre projetistas, produtores e empresários para a introdução no mercado de componentes industrializados, modulares e integráveis entre si. Mas é imprescindível atenção quanto ao projeto, sendo indispensável a aplicação de métodos embasados na coordenação modular, tanto para o componente industrializado, ao organismo arquitetônico, a fim de permitir a integração dos componentes.

Através deste método foi possível racionalizar a concepção de projeto colocando as decisões no seu determinado tempo, na escala própria e permitindo realizar uma subdivisão dos componentes da edificação adequando-os a uma produção industrial, a qual permitia produzir na quantidade e no tempo exigido pelo mercado, e de uma maneira econômica. (PIGOZZO *et al*, 2005)

3.4.3 Ciclo Flexibilizado

A constante inovação tecnológica aliada a empreendimentos cada vez mais complexos vem originando uma nova modalidade de sistema industrializado: o ciclo flexibilizado, em que componentes pré-fabricados de concreto estão sendo mesclados a diversos materiais e sistemas, como aço, madeira e alvenaria comum.

Segundo Pigozzo (2005), “o conceito de sistemas flexibilizados na produção vai além da fábrica, com a possibilidade da produção de componentes no canteiro, dentro de um sistema com alto grau de controle da qualidade e de organização da produção”.

Continuando, Ferreira (2003) menciona que como ocorre nos sistemas abertos, nos sistemas flexibilizados a modulação continua sendo importante como parâmetro de controle da interface entre os elementos no interior do edifício, ainda que se procure a utilização de componentes com maior grau de flexibilidade de projeto. [...] A padronização das soluções tecnológicas para os sistemas de ligações e de juntas nas interfaces entre os elementos passa a assumir uma importância fundamental para viabilizar todo o potencial industrial intrínseco no sistema construtivo pré-fabricado. De fato, a padronização das soluções tecnológicas em sistemas de ligações e de juntas apresenta-se como um dos principais entraves para o avanço do setor.

3.5 EFICIÊNCIA DE PROJETO ARQUITETÔNICO

Segundo Krüger (2001/2002), Teodoro Rosso, primeiro engenheiro a estudar e divulgar o processo de coordenação modular no Brasil, faz uma referência a Descartes e à sua obra *Discurso sobre o Método* (1596-1650) em seu livro, a fim de conceituar a racionalização da indústria da construção civil:

- não aceitar nada como verdadeiro, enquanto não reconhecido pela razão;
- dividir cada dificuldade em tantas partes quantas possíveis e necessárias para melhor analisá-las;
- conduzir por ordem os pensamentos, começando pelos objetos mais simples e subindo por degraus até os mais complexos;
- fazer revisões completas para que se tenha a certeza de nada omitir.

A partir daí, Rosso²¹ (1980) formula o conceito de racionalização do processo de produção como “um conjunto de ações reformadoras que se propõe substituir as práticas rotineiras por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando eliminar a casualidade nas decisões”. (KRÜGER, 2001/2002)

Sabbatini (1989, apud OLIVEIRA, 2013) classifica os processos, de maneira geral, em:

- tradicionais: “baseados na produção artesanal, com uso intensivo da mão de obra, baixa mecanização, com elevado desperdício de mão de obra, material e tempo (...)”.
- racionalizados: “aqueles que incorporam princípios de planejamento e controle, tendo como objetivo eliminar desperdício, aumentar a produtividade, planejar o fluxo de produção e programar as decisões”.
- industrializados: “baseados no uso intensivo de componentes e elementos produzidos em instalações fixas e acopladas no canteiro (...)”, vinculados, ainda, a todos os fatores de organização, desempenho e incremento da produtividade.

²¹ ROSSO, T. **Racionalização da Construção**. São Paulo: FAU/USP. 1980

A indústria da construção civil há muito tempo é estigmatizada como desorganizada e retrógrada. Prova disso se dá por dados estatísticos claros, em que esse setor é um dos maiores consumidores de recursos naturais e, como agravamento dessa característica, está o fato dela produzir cinco vezes mais resíduos do que os recursos consumidos. Tendo isso em mente, é de fundamental importância que os princípios da indústria da construção civil sejam reavaliados, sendo imprescindível que haja uma integração entre todos os processos de produção, de projetistas a consumidores finais, a fim de reduzir desperdícios, gastos e tempo.

Ao longo da história, a industrialização da construção civil se fundamentou na criação e na evolução de ferramentas e máquinas criadas a fim de reduzir custos e prazos, além, é claro, de melhorar o controle de qualidade. À medida que essas máquinas eram aperfeiçoadas, fez-se necessário estimular o pensamento global do processo, partindo assim do planejamento e organização até a sua finalização, observando a qualidade do produto final através do gerenciamento de cada ciclo produtivo.

Segundo Bruna (1976), o desenvolvimento da industrialização se deu em três fases:

- A primeira fase da industrialização foi caracterizada pelos primeiros protótipos que, praticamente, executavam o processo de forma artesanal e que dependiam ainda da força motriz e da habilidade humana para desempenhar seu papel.
- Na segunda etapa da racionalização, as máquinas são equipadas com motores e reguladas, o operário realiza pequenos procedimentos repetidamente e em pouco tempo. A produção seriada segregava o trabalhador braçal do intelectual. Nessa fase, desenvolve-se o pensamento sistêmico; cada etapa integra um conjunto de ações.
- Por fim, a terceira e última etapa da industrialização ocorreu por volta dos anos 50, em que as máquinas e ferramentas foram aperfeiçoadas com sistemas automatizados, exonerando quase que exclusivamente o papel do homem como seu operador principal. O operário exerce aqui a função de acionar as máquinas, enquanto elas reproduzem os ciclos de forma autônoma.

No ano de sua criação, o BNH contratou o CBC – Centro Brasileiro da Construção – para a execução de um “Plano de Implantação da Coordenação Modular”, elaborado pelo engenheiro Teodoro Rosso e pelo arquiteto João Honório de Mello.

Foi o primeiro passo em direção à industrialização da construção ou, de acordo com explicação dos responsáveis pela instituição: “É uma metodologia que permite estabelecer relações sistêmicas de integração entre os componentes construtivos, visando a aplicação do método industrial ao processo de edificação” (CADERNOS DO CBC²², 1971 apud KOURY, 2011).

O constante crescimento desse setor e, conseqüentemente, o aumento da concorrência tem estimulado as construtoras nacionais a procurarem por tecnologias que acelerem os processos produtivos, já que os canteiros continuam em franca expansão e cada dia de atraso pode significar uma perda de lucro considerável. Alie-se a isso o fato de que, cada vez mais, essas construtoras almejam padrões e parâmetros internacionais, o que eleva a qualidade das obras através de certificações e selos.

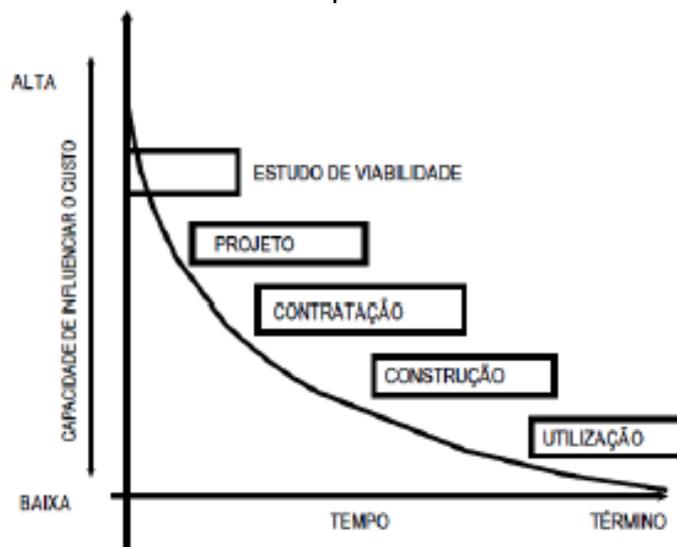
De acordo com Franco (1992), a racionalização construtiva é, entre as possíveis ações utilizadas, a que mais tem atraído a atenção de empresas construtoras e empreendedoras, pois permite uma evolução constante, a partir da própria cultura da empresa, e possui grande sinergismo com outras iniciativas, como, por exemplo, a implantação de sistemas da qualidade (FERREIRA *et al*, 2011).

Essas constatações explicitam a busca constante das empresas do setor pela racionalidade e pela mecanização, características intrínsecas da industrialização, já que seus princípios, parâmetros e ferramentas favorecem a contínua melhoria dos processos envolvidos.

Segundo Franco (1992), o projeto merece especial destaque, uma vez que é o principal articulador e indutor de todas as ações, organizando e garantindo o emprego eficiente da tecnologia. Essa importância pode ser entendida pela grande capacidade que as decisões de projeto têm em influenciar decisivamente os custos finais do empreendimento (Figura 3.6). (FERREIRA *et al*, 2011)

²²CBC **Cadernos do CBC**. São Paulo, setembro de 1971.

Figura 3.6: Influência do Projeto sobre os custos durante o ciclo do empreendimento



Fonte: O'Connor e Davis (1988, apud FERREIRA *et al*, 2011)

Ademais, Oliveira; Sabbatini (2001) ressaltam que é fundamental a clara definição da função do edifício, suas características, desempenho, durabilidade e a atenção às necessidades do cliente.

A ISO 6241²³ (1982, apud OLIVEIRA; SABBATINI, 2001) propõe que a análise de desempenho do edifício seja feita por meio de quatro ações principais:

- identificação da funcionalidade do edifício e da sua vida útil;
- definição do subsistema e suas funções;
- definição dos requisitos mínimos de desempenho exigidos pelos usuários;
- definição dos agentes de degradação mecânicos, eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos que afetam a durabilidade dos componentes de construção do edifício.

²³ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – Performance standards in building: principles for their preparation and factors to be considered – 1982. (ISO 6241).

3.5.1 Modulação

A modulação na esfera projetual nada mais é do que uma ferramenta geométrica que tem por finalidade compatibilizar dimensionalmente os espaços de uma edificação. Essa ferramenta contribui consideravelmente para uma melhor distribuição espacial, através do estabelecimento de coordenadas que racionalizam os componentes e subsistemas.

A modulação em projeto pode ser compreendida em dois aspectos básicos:

- organização e ordenação espacial;
- definição das medidas de construção.

A palavra módulo, originada do latim *modulus*, significa pequena medida. O módulo representa, assim, a menor medida comum que devem apresentar os diferentes elementos que entram na composição de um edifício, a fim de que eles possam justapor-se e sobrepor-se no espaço. Neste caso, pode-se dizer que o projeto está sob o regimento de uma modulação.

Historicamente a utilização da modulação pode ser observada desde os períodos clássicos. Na concepção da arquitetura grega, sob uma ótica estática, e na arquitetura romana, sob uma ótica estético-funcional. Assim, pode-se destacar que na cultura grega a modulação aparece como expressão da beleza, baseando-se no diâmetro das colunas que dava, a partir de suas medidas, as demais proporções dos elementos das construções. Na cultura romana o planejamento das cidades obedecia a um reticulado modular baseado no *passus* romano. (MOREIRA NETO, 2013)

Os painéis devem ser projetados com dimensões específicas, a fim de compatibilizar o sistema de projeto modular, já que quando um edifício é projetado em conformidade com esse sistema há um aumento significativo nas vantagens econômicas da estrutura. (PCI, 2007)

3.5.2 Coordenação Modular

A coordenação modular, assim como a modulação, é uma ferramenta aplicada à concepção de projetos. Essa ferramenta proporciona a ordenação das estruturas fixas e não fixas do edifício, de modo a atingir perfeitas combinações.

O Brasil foi um dos primeiros países a aprovar uma norma de Coordenação Modular, a NB-25R, em 1950, com módulos de 0,10m. Em 2010, foi aprovada e entrou em vigor, pela ABNT, a NBR 15.873/2010, que estabelece medida modular de 100mm.

3.6 DESEMPENHO DE PROJETO

Sabbatini; Agopyan (1991) afirmam que parte dos grandes problemas habitacionais do país reside na carência de consideráveis fomentos à produtividade na indústria da construção civil, principalmente na construção de edificações que demandam avanços tecnológicos.

A nova realidade do mercado globalizado e, por assim dizer, mais competitivo, traz à tona a importância de repensar os métodos tradicionais e vernaculares de construção, estimulando esses avanços, uma vez que a racionalização dos processos e a qualidade passam a ser imprescindíveis para a garantia de desempenho do produto.

Não obstante, está a necessidade de elaborar novos métodos de avaliações, como a configuração de indicadores definida por Costa (2003) como “uma série de medidas utilizadas para quantificar a eficiência e a eficácia de um processo”.

O processo construtivo, nas suas mais diversas etapas, encerra a participação de diferentes intervenientes para a realização de uma edificação, com o objetivo único de atender às necessidades dos seus clientes que apresentam suas próprias particularidades. Entretanto, a busca pela individualidade e pela flexibilidade de projeto, bem como a ciência de sistemas construtivos e métodos de avaliação de desempenho demandam conhecimento por parte dos profissionais envolvidos.

Entre as etapas do processo construtivo (concepção, construção e uso), a de construção, em comparação com a de projeto, tem recebido a maior parte da atenção das pesquisas, buscando melhorar seu desempenho em termos tanto de gerenciamento quanto de técnicas construtivas. Segundo Edlin (Austin²⁴ et alii, 1994), este desequilíbrio tem sido explicado em função de o projeto corresponder (mundialmente) a uma faixa de 3 a 10% do custo total da edificação. No entanto, este percentual não demonstra a verdadeira importância do projeto, pois durante o seu desenvolvimento é que se definem de 70 a 80% do custo do ciclo de vida da edificação. Além disso, a etapa de projeto tem sido apontada como uma das principais origens de problemas em edificações. (OLIVEIRA; FREITAS, 1998)

Mascaró (2010) afirma que projeto se dá através de dois elementos básicos: o posicionamento e dimensionamento de planos horizontais e verticais que interseccionados configuram os espaços dos ambientes e, também, a definição dos equipamentos substanciais ao seu funcionamento. Estes dois elementos se diferem no que tange aos custos de execução de uma obra; entretanto, o primeiro está ligado diretamente às suas dimensões enquanto o segundo depende de “decisões dicotômicas”, ou seja, se elas serão ou não aplicadas.

Ainda que sejam essenciais a multidisciplinaridade e a tomada de decisões prévia quanto a sistemas e subsistemas construtivos dentro de um processo racionalizado de construção, este trabalho tem o principal enfoque no primeiro elemento básico, isto é, na configuração dos espaços gerados pelos planos horizontais e verticais, no intuito de assegurar o melhor desempenho de projeto para o SCPPC.

Todavia, há diferenças imperativas entre os valores desses planos como, por exemplo, o fato de os planos verticais e horizontais externos apresentarem custos mais elevados quando comparados aos planos internos, uma vez que eles precisam resistir a intempéries e, portanto, precisam de revestimentos de alto desempenho. Mascaró (2010) ainda denota que esses valores ainda são influenciados por fatores como utilização e manutenção.

²⁴ Austin, S. Baldwin, A.; Newton, A. Manipulating the flow of design information to improve the programming of building design construction management and economics, 12 (5):445-55, 1994

A solução ótima para esta questão, segundo Mascaró (2010) seria a disposição dos planos com diferentes morfologias através do emprego de estruturas independentes, suscitando maior liberdade na compartimentação dos ambientes, requisito notável entre arquitetos e clientes.

Outra indagação relevante quanto ao desempenho do projeto está diretamente relacionada à forma do edifício. Considera-se que a esfera apresenta o maior volume contido em determinada superfície geométrica, seguidas por formas cilíndricas e, por fim, as formas cúbicas (MASCARÓ, 2010).

A indústria da construção civil sustenta a ideia equivocada de que redução de custos está diretamente ligada à inferiorização da qualidade e à diminuição do tamanho do empreendimento; contudo, a essência dessa economia é inerente à forma do edifício.

Mascaró (2010) analisa diversas alternativas de configuração de plantas levando em consideração sua geometria e observa que o perímetro, que representa a quantidade de paredes, aumenta consideravelmente na medida em que a forma da planta se distancia da circular, tendo seu maior lado alongado (Tabela 3.1). O agravante desse cenário consiste no custo de execução desse elemento construtivo, que pode representar 45% do valor de uma obra.

Tabela 3.1: Quantidade de paredes necessárias para envolver diversas formas geométricas de plantas de edifícios.

Forma da Planta	Área (m ²)	Perímetro	Relações	
			$\frac{\text{Perímetro}}{\text{Área}}$	$\frac{\text{Lado Maior}}{\text{Lado Menor}}$
Circular	100	35,44	0,35	-
Quadrada 10 x 10	100	40,00	0,40	1
Retangular	5 x 20	100	0,50	4
	4 x 25	100	0,58	6,25
	2 x 50	100	1,04	25
	1 x 100	100	2,02	100

Fonte: Mascaró (2010).

Deste modo, é incontestável que projetistas, arquitetos e engenheiros atentem à formulação desses planos verticais e horizontais no projeto de empreendimentos, visto que seu custo está intimamente ligado à sua forma, entre outros fatores. Para tal, foram desenvolvidos índices que estabelecem parâmetros objetivos, a fim de sistematizar este preceito e garantir que o projeto se aproxime do resultado ótimo.

3.6.1 Índice de compacidade (I_c)

O Índice de Compacidade (I_c) indica, segundo Mascaró (2010), “a relação entre as paredes que envolvem o edifício e sua superfície”, que é determinada através de uma relação matemática entre o perímetro de um círculo de área igual ao projeto e o perímetro das paredes exteriores do projeto (Equação 1).

$$I_c = \frac{2\sqrt{A_p \cdot \pi}}{P_p} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

- A_p – Superfície do projeto (Área do Pavimento Tipo);
- P_p – Perímetro das paredes exteriores do projeto.

Este indicador, portanto, se apresenta na forma percentual e mostra o quanto o projeto se aproxima da situação ótima, ou seja, seu valor máximo 100 referente ao círculo e considerando o quadrado como 88,6%. Mascaró (2010) afirma que quanto mais próximo a esse índice, mais econômica será a construção de determinado empreendimento.

Para aplicação do I_c recomenda-se a utilização do seguinte roteiro (Quadro 3.1)

Quadro 3.1: Roteiro para aplicação do Índice de Compacidade (I_c).

Variáveis	Roteiro
Área do pavimento tipo (A_p)	- Medida em planta pela face externa das paredes - Não inclui a área de sacadas e floreiras
Perímetro das paredes exteriores do projeto. (P_p)	- Medida em planta, pelo eixo das paredes, no pavimento tipo; - Não são consideradas paredes externas as proteções (mureta e guarda-corpo) de sacadas e terraços; - Ao medir o perímetro não descontar os vãos das aberturas (portas e janelas)

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al*²⁵, (1993 apud SILVA JR., 2010).

Na Tabela 3.2 são apresentados os critérios para avaliar o indicador:

Tabela 3.2: Critérios para avaliação do Índice de Compacidade (I_c).

RUIM	BOM	ÓTIMO
< 60%	60% < I_c < 75%	> 75%

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al*, (1993 apud SILVA JR., 2010).

É importante ressaltar que a utilização deste indicador, apesar de eficaz, representa pouca exatidão, já que arestas e curvas na fachada acarretam custos extras na execução, sendo então necessária a utilização de variáveis mais precisas. (MASCARÓ, 2010)

3.6.2 Densidade de Parede (D_p)

Segundo OLIVEIRA; FREITAS (1998), este indicador “(...) refere-se ao percentual da área do pavimento que a área de projeção das paredes ocupa”. O índice de densidade de paredes (D_p) expressa o grau de otimização da compartimentação das unidades e, quanto menor o seu valor, maior será a área útil do ambiente. Ele se dá pela equação matemática (Equação 2):

²⁵ OLIVEIRA, M. *et al*. **Sistema de Indicadores de Qualidade e Produtividade na Construção Civil**, Sebrae / RS, Porto Alegre/RS, Set 1995.

$$D_p = \frac{A_p}{A_{hab}} \quad (2)$$

Onde:

- A_p – Área de projeção das paredes externas e internas do pavimento tipo da edificação, ou seja, o perímetro das paredes multiplicado pela espessura da parede, sem descontar os vãos das aberturas (SILVA JR., 2010 apud OLIVEIRA *et al*, 1993);
- A_{hab} – Área real total do pavimento tipo que é a soma das áreas cobertas e descobertas reais de um determinado pavimento.

Para a aplicação deste indicador, recomenda-se a utilização do seguinte roteiro (Quadro 3.2):

Quadro 3.2: Roteiro para cálculo do indicador de Densidade de Paredes (D_p)

Variáveis	Roteiro
Área do pavimento tipo (A_{hab})	- Medida em planta pela face externa das paredes - Não inclui a área de sacadas e floreiras
Área de projeção das paredes externas e internas do pavimento tipo (A_p)	- Perímetro das paredes, medido no pavimento tipo, multiplicado pela espessura das paredes; - Ao medir o perímetro não deve descontar os vãos das aberturas como portas e janelas.

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al*, (1993 apud SILVA JR., 2010).

Estabelecem-se para esse indicador os seguintes critérios (Tabela 3.3):

Tabela 3.3: Critérios para avaliação de Densidade de Paredes (D_p).

RUIM	BOM	ÓTIMO
> 0,18	0,15 > D_p > 0,18	< 0,15

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al*, (1993 apud SILVA JR., 2010).

O indicador de densidade de paredes possibilita a constatação de que, quanto menor a área da unidade habitacional, maior será o valor do índice, configurando, assim, a excessiva compartimentação da planta e o pouco aproveitamento da sua área útil.

4 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Os parâmetros, requisitos e critérios de desempenho discutidos nos capítulos anteriores servirão como balizadores para o exemplo de aplicação em edifícios habitacionais e, para tal, será instituído um roteiro (Quadro 4.1), a fim de delinear o processo.

Quadro 4.1: Roteiro para aplicação dos critérios e requisitos de desempenho em edifícios habitacionais.

ETAPA	ELEMENTO	DESEMPENHO
PROJETUAL	Planta	- Índice de Compacidade; - densidade de Parede;
	Planta	- durabilidade e manutenibilidade; - funcionalidade e acessibilidade;
CONSTRUTIVA	Painel de Parede Estrutural	- Desempenho Estrutural; - segurança contra incêndio;
	Painel de Parede Arquitetônico	- durabilidade e manutenibilidade;
USO E OPERAÇÃO	Painel de Parede de Vedação Externa (Fachada)	- Estanqueidade; - segurança contra incêndio; - desempenho térmico; - desempenho acústico; - durabilidade e manutenibilidade.
	Painel de Parede de Vedação Interna (Unidades)	- Segurança contra incêndio; - desempenho acústico.

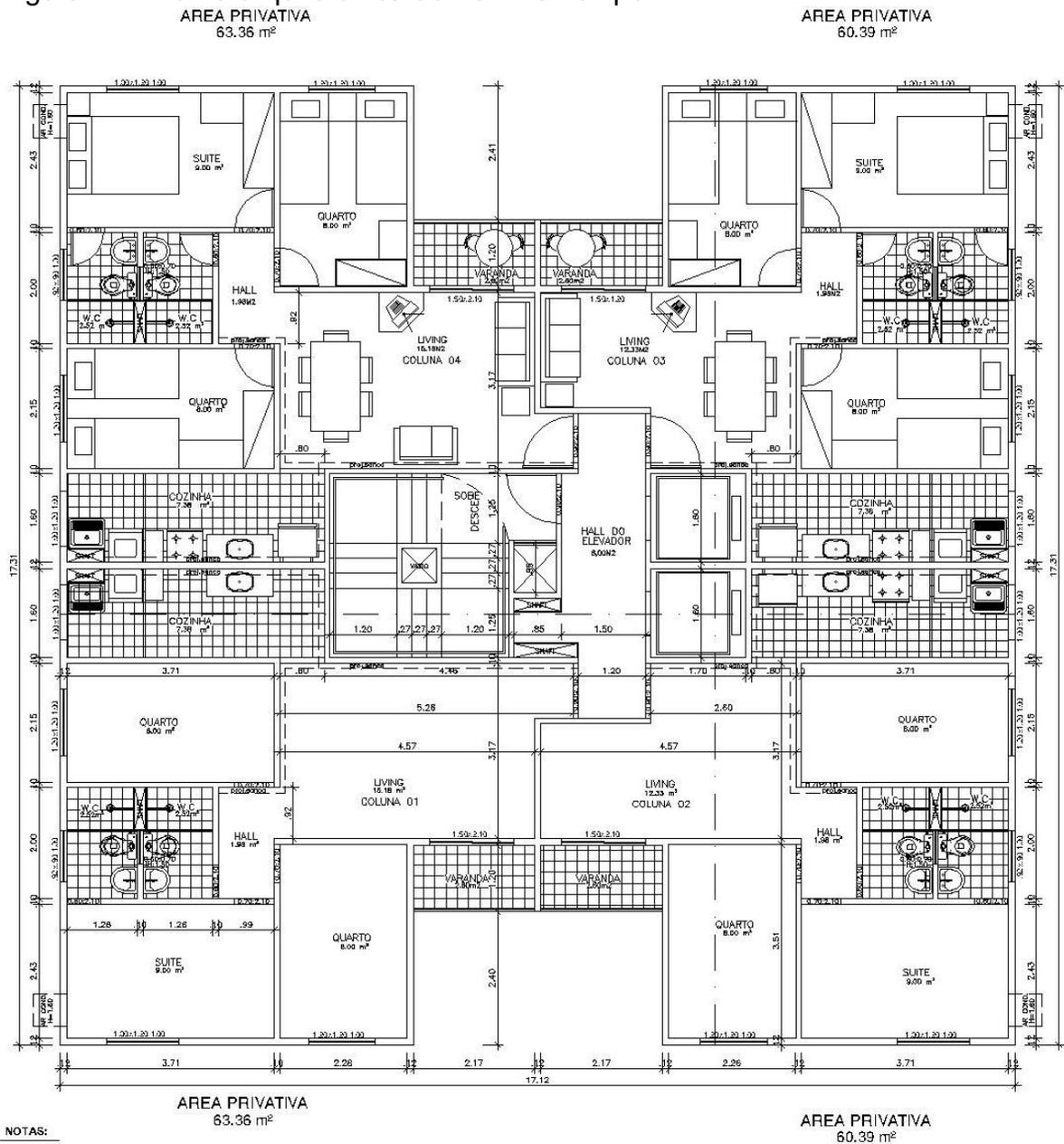
Fonte: Próprio Autor.

O edifício habitacional definido para esse exemplo de aplicação é constituído por 12 pavimentos, sendo o pavimento térreo e mais 11 pavimentos tipo (Figura 4.1). Cada pavimento dispõe de 4 unidades de apartamentos, sendo divididas em living, varanda, cozinha, área de serviço, 2 dormitórios, 1 suíte e um banheiro social. Apresenta, ainda, uma torre central onde se encontram a caixa de escada e de elevadores.

O projeto para este edifício data de 2011, o empreendimento está em fase de execução na cidade de Aracaju – SE e é composto por painéis pré-moldados de concreto portantes (PPPC), ou seja, todos possuem características estruturais.

É pertinente destacar que, pela data de desenvolvimento de projeto, este edifício não é obrigado, nas esferas legais, a atender aos requisitos prescritos na NBR 15575 (2013) e suas partes, uma vez que ela passou a vigorar em 2013.

Figura 4.1: Planta arquitetônica do Pavimento tipo.



Fonte: Adaptado de Tomo (2013)

4.1 ETAPA PROJETUAL

4.1.1 Índice de compacidade

Para a base de cálculo desse indicador será analisada a volumetria geral das fachadas do edifício sem considerar, entretanto, as possíveis arestas. Como mencionado anteriormente, será utilizada a equação para cálculo do Índice de Compacidade conforme roteiro definido em 3.6.1.

4.1.2 Densidade de parede

Como cada pavimento possui duas tipologias de apartamentos com áreas distintas, ainda que com o mesmo programa construtivo, elas serão avaliadas separadamente seguindo a equação e o roteiro discutidos em 3.6.2.

4.1.3 Durabilidade e manutenibilidade

Neste item serão avaliados os requisitos de desempenho dos elementos construtivos, no que tangem à durabilidade e manutenibilidade, embasados na ABNT NBR 15575 -1 (2013).

4.1.4 Funcionalidade e acessibilidade

Conforme estabelecido pela ABNT NBR 15575 – 1 (2013) discorrida no item 2.8.9, o Edifício deve proporcionar espaços mínimos compatíveis com as necessidades humanas, bem como medidas de altura mínimas de pé-direito.

4.2 ETAPA CONSTRUTIVA

Neste item serão avaliados os requisitos de desempenho dos elementos construtivos, no que tangem aos painéis do edifício.

4.2.1 Desempenho estrutural

Este item será avaliado levando em consideração as normas de desempenho NBR 15.575 – 4 (2013), ao projeto de norma para painéis PN 18_600_19 (2015), bem como as indicações da FIB (2013).

4.2.2 Segurança contra incêndio

Em relação aos aspectos de segurança contra incêndio, o edifício será avaliado considerando as normas de desempenho NBR 15.575 – 4 (2013), ao projeto de norma para painéis PN 18_600_19 (2015), aos parâmetros estabelecidos na NBB 9062 (2006).

4.3 ETAPA DE USO E OPERAÇÃO

Serão avaliados os requisitos de desempenho em relação ao uso e operação dos sistemas de vedação externas e internas.

Como o projeto foi elaborado através de PPPC, serão consideradas as características para painéis estruturais, excluindo dessa avaliação, portanto, os painéis arquitetônicos, uma vez que eles não foram empregados no projeto.

4.3.1 Parede de vedação externa (fachada)

Neste item será avaliado o desempenho dos painéis de vedação externa, ou seja, o envoltório do edifício e sua relação com os aspectos exteriores, tais como intempéries, ruídos, incidência solar, entre outros.

4.3.1.1 Estanqueidade

Será avaliado, neste item, o desempenho dos painéis de fachada, bem como sua relação com as suas interfaces, como os peitoris e os subsistemas de vedação – as esquadrias, levando em consideração a NBR 15.575 – 4 (2013).

4.3.1.2 Segurança contra incêndio

Será avaliado o desempenho do sistema de vedação externa em relação à origem de incêndio externa ao edifício considerando, para tal, a NBR 15575 – 4 (2013).

4.3.1.3 Desempenho térmico

Será avaliado o desempenho térmico dos painéis de vedação quando da incidência solar segundo a NBR 15575 – 4 (2013) e demais normas e diretrizes vigentes.

4.3.1.4 Desempenho acústico

Neste item será avaliado o desempenho dos painéis de vedação externos, quando consideradas fontes exteriores de ruído, segundo a NBR 15575 – 4 (2013) e demais normas e diretrizes vigentes.

4.3.1.5 Durabilidade e manutenibilidade

Serão avaliados os desempenhos de durabilidade e manutenibilidade dos painéis de fachada segundo a NBR 15575 – 4 (2013).

4.3.2 Parede de vedação interna (unidades)

Neste item será avaliado o desempenho dos painéis de vedação interna, considerando sua função de divisória entre as unidades habitacionais.

4.3.2.1 Segurança contra incêndio

Será avaliado o desempenho do sistema de vedação interna em relação à origem de incêndio interna ao edifício considerando, para tal, a NBR 15575 – 4 (2013).

4.3.2.2 Desempenho acústico

Neste item será avaliado o desempenho dos painéis de vedação internos, quando consideradas fontes interiores de ruído e sua propagação, segundo a NBR 15575 – 4 (2013) e demais normas e diretrizes vigentes.

5 DIAGNÓSTICO E DISCUSSÕES

O diagnóstico e as discussões referentes à análise do edifício proposto serão observados nos capítulos que seguem.

5.1 ETAPA PROJETUAL

A seguir, serão apresentados os diagnósticos e considerações tangentes à etapa projetual, quando considerada a planta do pavimento tipo do edifício.

5.1.1 Índice de compacidade

O resultado obtido para o edifício pode ser observado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Índice de compacidade para o Edifício 1.

Variáveis	Valores	Resultado
P_c	57,70 m	74,07%
P_p	77,76 m	

Fonte: Próprio Autor

Conforme os critérios de avaliação deste indicador citado em 3.6.1, o I_c para este edifício está entre 60% e 75%, sendo configurado, portanto, como “bom”.

5.1.2 Densidade de paredes

O resultado obtido para o edifício analisado pode ser observado na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Densidade de paredes para o Edifício 1.

Tipologias	Variáveis	Valores	Resultado
1	A_{p1}	10,80	0,170
	A_{hab1}	63,37	
2	A_{p2}	10,70	0,177
	A_{hab2}	60,39	

Fonte: Próprio autor.

Conforme critérios de avaliação deste indicador, citado em 3.6.2, a D_p para o edifício está entre 0,15 e 0,18, sendo considerado, portanto, como bom.

Segundo a análise realizada, os indicadores referentes ao custo de execução dessa obra apresentam-se de forma satisfatória.

5.1.3 Durabilidade e manutenibilidade

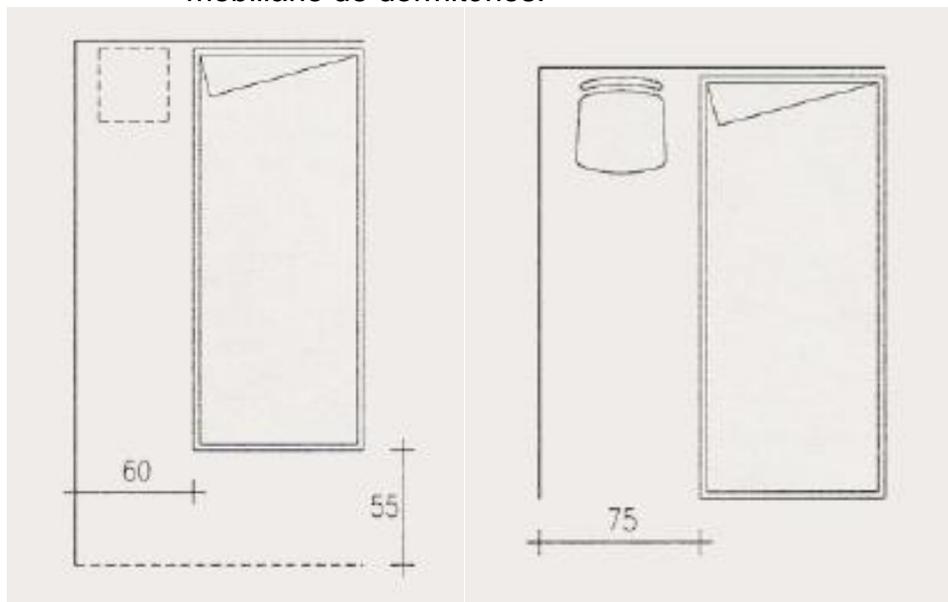
Segundo a ABNT NBR 15575 -1 (2013), a VUP deve ser estipulada a partir dos requisitos preestabelecidos de VU dos sistemas, sendo igual ou superior a eles. Considerando que o empreendimento foi executado com o sistema PPCP independentemente de sua função de vedação – interna ou externa, eles deverão possuir vida útil superior a 50 anos.

Por se tratar de um edifício ainda em fase de execução, o Manual de uso, operação e manutenção ainda não foi desenvolvido.

5.1.4 Funcionalidade e acessibilidade

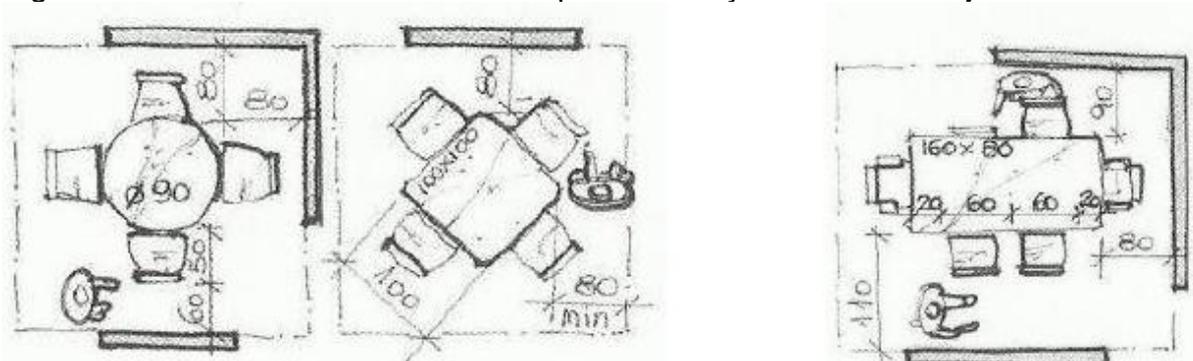
Avaliando o pavimento tipo, que tem a altura de pé-direito com 2,60 m, pode-se constatar que é atendido este requisito; entretanto, ao adotar 0,40 m, em média (Figura 5.1), como espaço de circulação entre os mobiliários propostos no projeto, nota-se que essas medidas reduzidas podem limitar o usuário, já que diversos autores como Neufert (2004); Pronk (2003) recomendam como medida mínima entre 0,60 m e 0,75m para dormitórios (Figuras 5.2 e 5.3) e Gurgel (2002) estipula medidas em torno de 0,90 m para a área de jantar (Figura 5.4).

Figura 5.3: Dimensões recomendadas para circulação entre mobiliário de dormitórios.



Fonte: Pronk, 2003

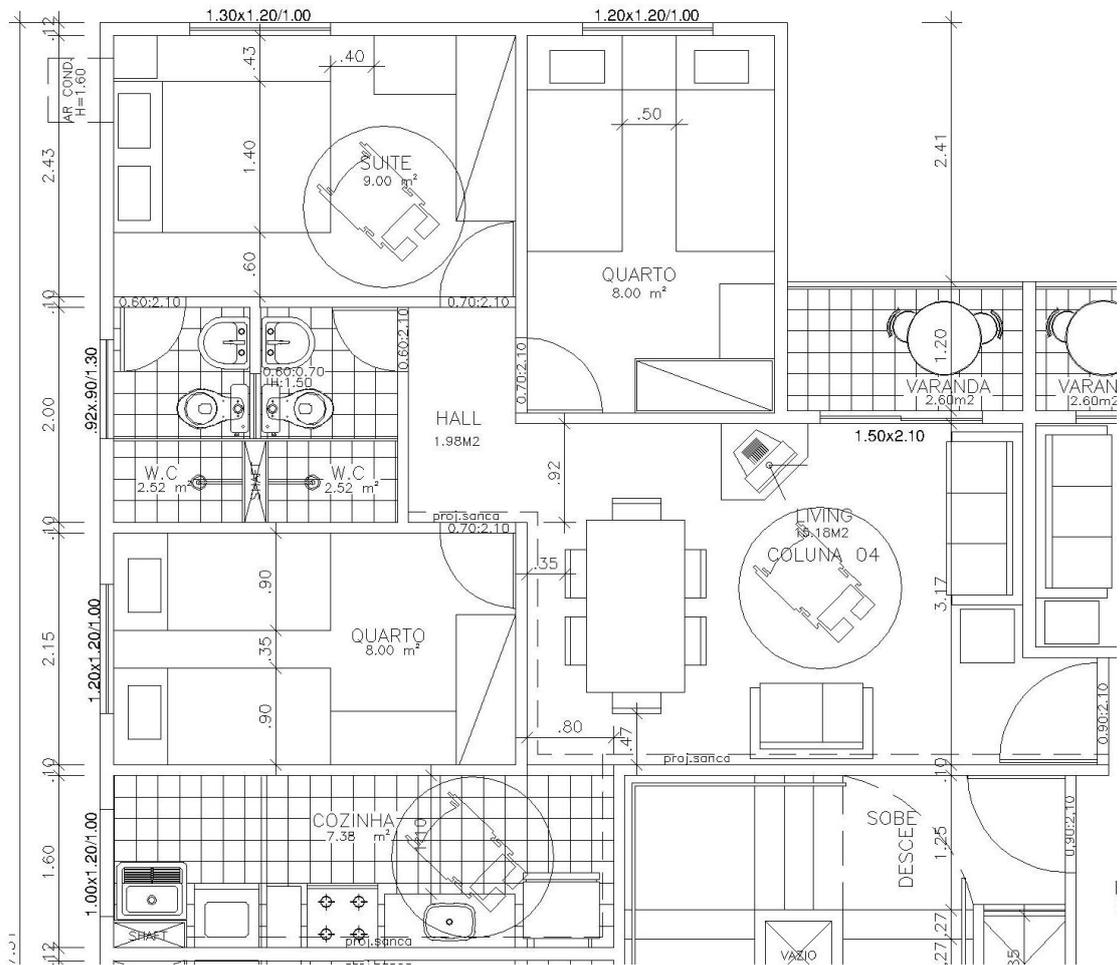
Figura 5.4: Dimensões recomendadas para circulação em salas de jantar.



Fonte: Gurgel, 2002

Outro requisito requerido nesta norma prevê acessibilidade para pessoas com deficiências ou mobilidade reduzida, e a análise do projeto constatou que ambas tipologias de apartamentos não proporcionam qualquer adequação para tal, dada a especificação de portas com 0,60 m e 0,70 m de largura, e a ausência de áreas de rotação para cadeiras de roda (Figura 5.5).

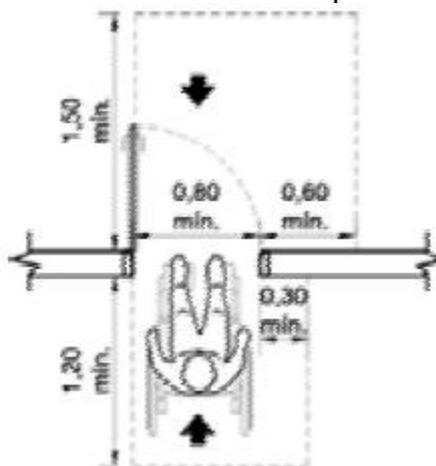
Figura 5.5: Dimensionamento das portas e representação da rotação da cadeira de rodas.



Fonte: Adaptado de Tomo (2013)

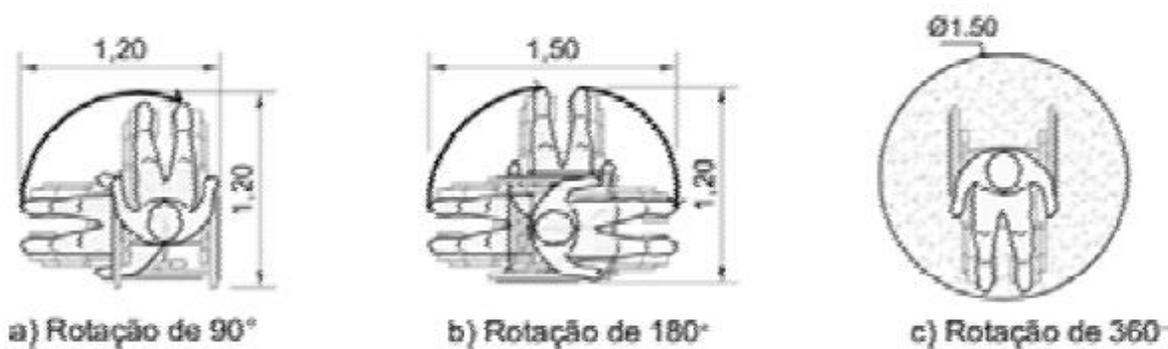
Segundo a ABNT NBR 9050 (2004), a largura mínima de portas é de 0,80 m (Figura 5.6), e as dimensões para a rotação das cadeiras de roda sem deslocamentos estão representadas na Figura 5.7.

Figura 5.6: Dimensionamento mínimo de portas.



Fonte: ABNT NBR 9050, 2004

Figura 5.7: Dimensões mínimas para rotação de cadeira de rodas sem deslocamento.



Fonte: ABNT NBR 9050, 2004

Portanto, faz-se necessária uma revisão projetual, a fim de sanar as deficiências quanto ao dimensionamento ideal para a unidade habitacional.

5.2 ETAPA CONSTRUTIVA

Nos itens que seguem, serão apresentados os diagnósticos relacionados aos PPPC quanto ao desempenho estrutural e de segurança contra incêndio na fase construtiva.

5.2.1 Desempenho estrutural

A análise do desempenho estrutural deste edifício, em detalhes, pode ser observada em Tomo (2013).

Todavia, é essencial salientar um ponto crucial a respeito desta esfera. A especificação da estrutura do edifício em sistema de parede integral, ou seja, os PPPC percorrem longitudinal e transversalmente o edifício, já garante a estabilidade do conjunto, como indicado no item 2.4.2.

Portanto, constata-se que fica assegurado aqui o desempenho estrutural do edifício.

5.2.2 Segurança contra incêndio

Segundo o DATec nº 007 do SINAT (2013), “as paredes de concreto são compostas por materiais incombustíveis, não se caracterizando como propagadores de incêndio. Também apresentam características adequadas em termos de desenvolvimento de fumaça, não agravando o risco de incêndio”.

Conforme a NBR 14432 (2001), o edifício, que tem altura de 28,64 m, é classificado conforme a Tabela 5.3:

Tabela 5.3: Classificação do edifício segundo NBR 14432 (2001)

Grupo	Classe	TRRF
A-2: unidades residenciais multifamiliares	P ₄ : 23 m $h^a \leq 30\text{ m}$	90 min

^a Distância compreendida entre o ponto que caracteriza a saída situada no nível de descarga do prédio e o piso do último pavimento, excetuando-se zeladorias, barrilete, casa de máquinas, piso técnico e pisos sem permanência humana.

Fonte: Próprio autor.

Tabela 5.4: Classificação dos painéis de parede quanto ao material, espessura e aplicação.

Agregado	Espessura (m)	Aplicação	TRRF (min) (R NBR 9062 - 2015)
	0,13	Painel de parede externo – fachada.	120
Tipo Brita 1	0,12	Painel de parede de vedação interno – unidades.	90
		Caixa de escada.	
	0,10	Painel de parede de vedação interno – ambientes.	60

Fonte: Próprio autor.

Por conseguinte, os elementos estruturais do edifício satisfazem as condições de desempenho de segurança contra incêndio, estabelecidas em norma.

5.3 ETAPA DE USO E OPERAÇÃO

Nestes itens serão avaliados os PPPC, segundo as normas pertinentes, quanto à etapa de uso e operação.

5.3.1 Parede de vedação externa (fachada)

A seguir, serão apresentados os resultados da avaliação de desempenho quanto ao sistema de vedação externa, ou seja, os PPPC do envoltório do edifício estudado.

5.3.1.1 Estanqueidade

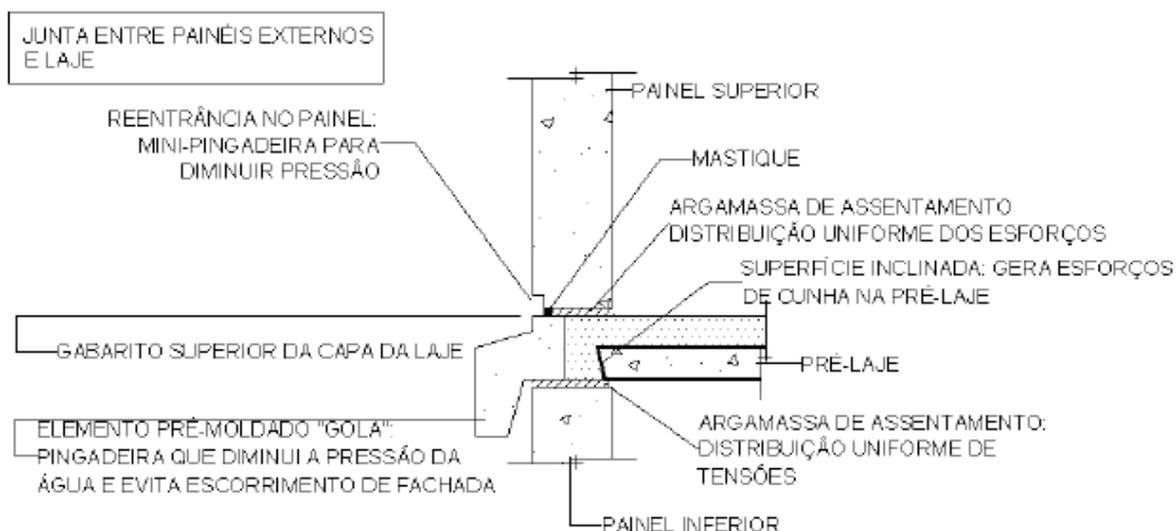
As características dos PPPC com concreto de $f_{ck} = 25$ MPa, aliadas à aplicação de pintura, já garantem as condições de desempenho para estanqueidade.

Ademais, segundo o caderno de recomendações da empresa responsável pelo projeto, o desempenho de estanqueidade fica assegurado pela adoção das seguintes medidas:

- aplicação contínua de selante elástico nas juntas com os peitoris e com os subsistemas de vedação externas – esquadrias;

- aplicação de um elemento pré-moldado, denominado gola, associado à mini pingadeira, acarretando no desvio das águas pluviais incidentes na fachada (Figura 5.9).

Figura 5.9: Sistema de ligações entre os painéis de fachada e laje com a aplicação da gola.



Fonte: Caderno de Recomendações da empresa responsável.

Além disso, a construtora garante que as microfissuras em suas juntas, ocasionadas pela retração dos materiais de assentamento, não comprometem o desempenho de estanqueidade dos PPPC de fachada.

5.3.1.2 Segurança contra incêndio

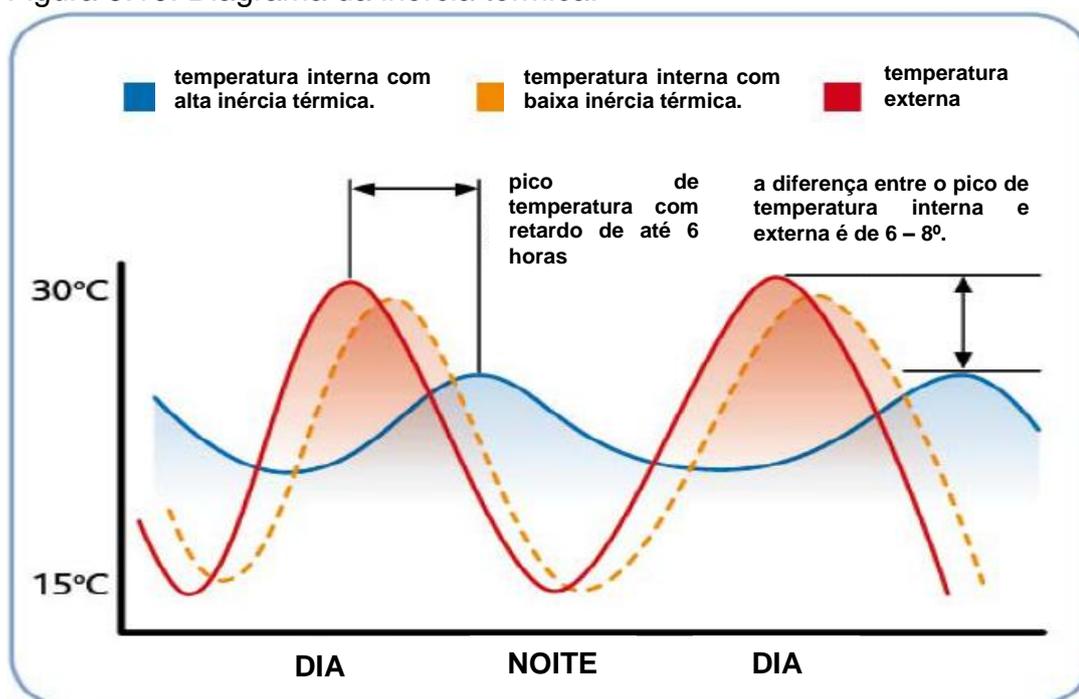
Por se tratar de um sistema de PPPC e, portanto, caracterizados como elementos estruturais, a avaliação de desempenho em segurança contra incêndio do sistema de vedação externo, ou seja, dos painéis de fachada, é a mesma apresentada no item 5.2.2.

5.3.1.3 Desempenho térmico

O edifício avaliado neste estudo está localizado em Aracaju – SE e, portanto, encontra-se na zona bioclimática brasileira nº 8.

A capacidade do concreto em “retardar” a transferência de calor para o meio é notória, dada a sua massa térmica (Figura 5.10). Essa característica pode proporcionar melhores condições de conforto térmico, uma vez que o calor absorvido durante o dia tende a se manter no período noturno, quando as temperaturas caem. A inércia térmica é um fator inerente a este sistema construtivo e, por conseguinte, ratifica a sua aplicabilidade em edifícios habitacionais, como o caso estudado.

Figura 5.10: Diagrama da inércia térmica.



Fonte: Adaptado de FIB, 2013

Contudo, para a avaliação serão consideradas as observações do DATec nº 007 (2013) em que os parâmetros de absorvância – α à radiação solar da superfície externa das paredes será igual a: 0,3 (cores claras); 0,5 (cores médias) e 0,7 (cores escuras).

Conforme a norma de desempenho térmico NBR 15220 (2003), o cálculo de resistência térmica – R_T da parede se dá através da seguinte equação:

$$R_T = \frac{e_{concreto}}{\lambda_{concreto}} \quad (3)$$

Onde:

- e_{concreto} = espessura;
- $\lambda_{\text{concreto}}$ = condutividade térmica.

A partir da resistência térmica é possível determinar a transmitância térmica – U do painel de parede de concreto através da equação:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

A transmitância térmica do PPPC é de 16,66 W / m².K, não atendendo aos valores máximos recomendados pela NBR 15575 – 4 (2013), conforme estabelecido no item 2.9.4.

Segundo o DATec 007, 2013, para a zona bioclimática nº 8 seria necessária a aplicação de pintura de cores claras para este sistema, mas somente em casos de sombreamento e ventilação estipulados em norma.

Portanto, o requisito de desempenho térmico tangente à transmitância térmica não é assegurado neste edifício.

Segundo a ABNT 15575 – 4, as aberturas dos vãos dos ambientes devem ser dimensionadas, para a zona bioclimática nº 8, como \geq a 8% da área do piso.

A fim de auxiliar esta avaliação, as duas tipologias de unidades habitacionais integrantes do pavimento tipo serão classificadas e analisadas separadamente (Tabela 5.5). Ressalta-se, aqui, que a cozinha e a área de serviço serão consideradas integradas e a varanda será desconsiderada na análise, uma vez que não é considerada fechada, pois só possui guarda-corpo.

Tabela 5.5: Classificação do dimensionamento dos vãos das unidades habitacionais.

Tipologias	Ambiente	Dimensões das Esquadrias (L x H) ^a	Área do ambiente (m ²)	$\frac{\text{Área do Vão}}{\text{Área do Ambiente}}$ (%)
1 (63,37)	Living	1,50 x 2,10	15,18	20,07
	Cozinha e Á. Serviço	1,00 x 1,20	7,38	16,26
	Dormitório 1	1,20 x 1,20	8,00	18,00
	Dormitório 2	1,20 x 1,20	8,00	18,00
	Suíte	1,30 x 1,20	9,00	17,00
	Banheiro Suíte	0,92 x 0,90	2,52	32,85
	Banheiro Social	0,60 x 0,70	2,52	16,66
2 (60,39)	Living	1,50 x 2,10	12,33	25,54
	Cozinha e Á. Serviço	1,00 x 1,20	7,38	16,26
	Dormitório 1	1,20 x 1,20	8,00	18,00
	Dormitório 2	1,20 x 1,20	8,00	18,00
	Suíte	1,30 x 1,20	9,00	17,00
	Banheiro Suíte	0,92 x 0,90	2,52	32,85
	Banheiro Social	0,60 x 0,70	2,52	16,66

^a largura x altura

Fonte: Próprio autor.

Portanto, o edifício, em suas duas tipologias habitacionais, satisfaz aos requisitos mínimos de desempenho térmico, no que tangem às aberturas de ventilação.

5.3.1.4 Desempenho acústico

Conforme a ABNT NBR 15575 – 4 e demais normas pertinentes, o valor mínimo de desempenho acústico é de 30dB para paredes de fachada.

Através de ensaios em laboratório, verificou-se que o índice de isolamento sonora dos painéis de parede com espessura de 0,10 m é de 46 dB (DATec nº 007, 2013). Portanto, o edifício cumpre os requisitos de desempenho acústico estabelecidos em norma, uma vez que o sistema de vedação externa apresenta 0,13 m, como é possível observar na Figura 5.11.

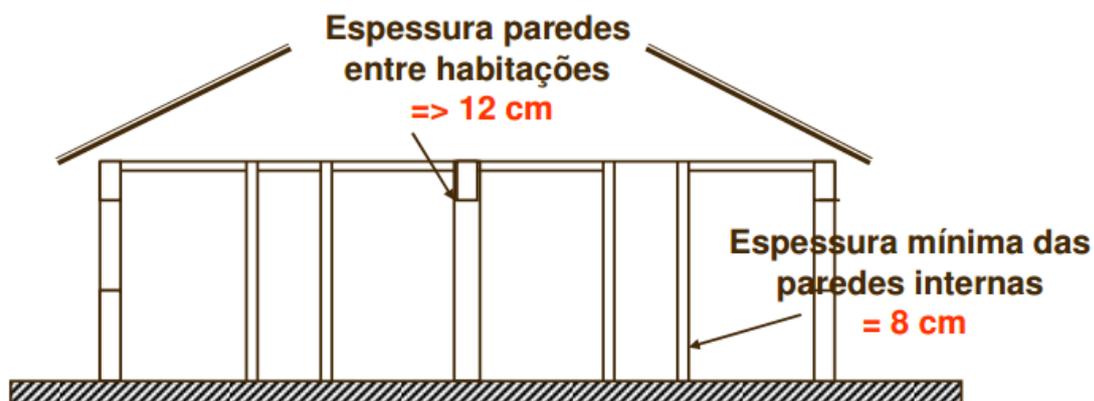
5.3.2 Parede de vedação interna (unidades)

Neste item serão tratados os sistemas de vedação internos no que tange às divisórias entre as unidades habitacionais do pavimento tipo.

5.3.2.1 Desempenho acústico

A ABNT 15575 – 4 (2013) estabelece o valor de 45 dB para paredes entre unidades habitacionais autônomas – parede de geminação, e Wendler (2009) recomenda a espessura mínima para esses elementos (Figura 5.12).

Figura 5.12: Espessuras mínimas de parede.



Fonte: Wendler, 2009.

Ademais, conforme discorrido no item 5.3.1.4, o edifício se apresenta dentro dos requisitos e critérios de desempenho acústico, uma vez que os painéis aplicados nas divisórias das unidades habitacionais possui 0,12 m de espessura (Figura 5.13).

6 CONCLUSÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O SCPPC, impulsionado pela necessidade de reconstrução de países inteiros, caracteriza-se hoje pela agilidade de execução e pela praticidade de um canteiro limpo. É importante salientar que todas as vantagens atribuídas a este sistema dependem consideravelmente de um planejamento sólido, de um projeto bem estruturado e, também, de multifuncionalidade da equipe envolvida no empreendimento.

Quanto à literatura disponível, como normas e manuais internacionais mostram-se fundamentais ao embasamento das aplicações do SCPPC no setor habitacional. Ademais, o projeto de norma de painéis com suas prescrições, em fase de aprovação, vem contribuir substancialmente na proposição de projetos habitacionais, fomentando as empresas do setor na adoção deste sistema.

Nota-se o inegável avanço ocasionados por meio da elaboração da NBR 16475 (2016), nova Norma de Painéis de Parede de Concreto Pré-moldado – Requisitos e Procedimentos – somada aos acréscimos relativos às especificações de espessuras de painéis para incêndio no PN NBR 9062 (2015), já que elas vieram a incorporar a Diretriz nº 2 do SINAT, decorrendo na extinção do caráter de inovação tecnológica dos SCPPC, responsável pelos ensaios experimentais de comprovação de desempenho, ou certificação via DATEC´s.

Entretanto, o SCPPC são elementos multifuncionais, e aliado a isto, tem-se a ABNT NBR 15575 (2013) que apresenta diversos requisitos e critérios de desempenho a serem atendidos simultaneamente, demandando mudanças nos processos de projeto, em que é imperativo o emprego do projeto integrado e colaborativo, mas também se adote a filosofia do *Performance Based Design* – projeto fundamentado no desempenho.

Através da investigação das diretrizes de projeto, foi possível observar a abrangência do conteúdo disseminado na busca pela qualidade e, por assim dizer, o axioma da solução ótima do ponto de vista do desempenho, construtibilidade e sustentabilidade. Os aspectos, nesse campo, visam primordialmente à visão holística do empreendimento, ou seja, trabalho conjunto entre projetistas (em todas as instâncias: sistemas e subsistemas), calculistas, fabricantes e demais profissionais envolvidos, contribuindo para projetos eficazes e eficientes. Ressalta-se aqui que, quanto maiores os níveis de detalhamentos de projetos, peças, componentes, acessórios etc., menores as chances de erros de execução, retrabalhos e, conseqüentemente, menores custos.

6.2 DOS OBJETIVOS

As considerações sobre o objetivo desta pesquisa, de identificação e sistematização de diretrizes de projeto para SCPPC, fundamentadas no desempenho, com o propósito de favorecer e fomentar a escolha desse sistema construtivo, serão observadas a seguir.

Foi realizada a revisão teórica sobre os SCPPC através do levantamento das principais referências técnicas e normatizações, nacionais e internacionais, incluindo o texto em fase de aprovação da norma de painéis pré-moldados no Brasil, tangentes ao sistema construtivo eleito para esta pesquisa. Constatou-se, a partir desta revisão, a profusão de fontes pertinentes à aplicação dos SCPPC.

A identificação das tipologias e sistemas de painéis pré-moldados internacionais com potencial de aplicação na área habitacional proporcionou a sumarização das principais características desse sistema construtivo.

Foi estabelecida a relação sobre os aspectos de projeto, suas principais diretrizes e os pontos cruciais para obter os melhores resultados no aspecto global de um empreendimento. Para tal, foram levados em consideração: sustentabilidade, construtibilidade, integração entre projeto e produção, entre outros, como ponto de partida para obtenção dos requisitos de qualidade.

A síntese dos critérios e diretrizes de desempenho para o projeto de SCPPC com base na diretriz nº 2 do SINAT, na ABNT NBR 15575:2013 e na nova norma de painéis no Brasil viabilizou o estudo de aplicação, bem como o seu diagnóstico.

6.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE O ESTUDO DE APLICAÇÃO

Sobre o estudo de aplicação, ficam neste item demonstradas as principais considerações:

- Etapa projetual: a partir da análise dos requisitos estabelecidos em literatura e normas pertinentes, foi constatado que o Edifício analisado se apresenta de forma satisfatória no que tange ao projeto, com exceção do requisito de funcionalidade (NBR 15575 – 1, 2013), em que as medidas de circulação não são atendidas e não há adoção dos princípios do desenho universal, resultando, portanto, em condições de inacessibilidade para portadores de necessidades especiais.
- Etapa construtiva: a análise considerou primordialmente as questões relacionadas ao desempenho de estabilidade estrutural e segurança contra incêndio e em ambas foram atestadas a garantia dos requisitos mínimos exigidos por normas vigentes.
- Etapa de uso e operação: através da análise foi constatado o atendimento aos requisitos mínimos de desempenho para os SVVI e SVVE, com exceção da transmitância térmica, a qual extrapolou os valores máximos estipulados em norma.

Embora as avaliações apresentem-se de forma satisfatória na grande maioria dos requisitos estabelecidos para este estudo, é imprescindível uma reflexão sobre os resultados obtidos nesta pesquisa e em avaliações futuras, uma vez que a NBR 15575 (2013) e suas partes propõem as prescrições para o desempenho mínimo dos requisitos para edifícios habitacionais. Muito embora esta norma seja um marco de referência no atendimento às garantias das necessidades dos seus clientes, sua aplicação não significa a adoção da solução ótima tangente aos requisitos de qualidade; em suma, o mínimo de desempenho pode não representar a melhor proposta em qualidade.

6.4 PROPOSTA PARA TRABALHOS FUTUROS

A partir da revisão teórica deste trabalho e da sugestão de um roteiro para análise de um edifício habitacional segundo seu desempenho, pôde-se observar que a pesquisa limitou-se à parte dos requisitos estabelecidos em norma, primeiramente por sua extensão e, não obstante, pela visão direcionada à esfera arquitetônica do empreendimento. Este cenário, por si só, já instiga novas pesquisas.

Sugere-se, então, para trabalhos futuros, o aprofundamento do estudo do desempenho de elementos construtivos e suas interfaces não determinados nesta pesquisa.

Outra sugestão para futuras pesquisas é a avaliação pós-ocupacional do edifício estudado, uma vez que o uso, operação e manutenção do edifício podem levantar outros resultados quando comparados à avaliação do edifício ainda não habitado. Esta análise pode colaborar na revisão das normas vigentes, bem como o estabelecimento de banco de dados para a produção de empreendimentos que atendam aos máximos requisitos de qualidade.

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da revisão da vasta literatura nacional e internacional sobre o SCPPC e da síntese dos sistemas de painéis com potencial de aplicação para edifícios habitacionais, conclui-se que a possível adoção deste sistema no Brasil se mostra promissora, colaborando com a solução da problemática do déficit habitacional do país. Além disso, a iminente aprovação da NBR de Painéis de Concreto pela ABNT vem corroborar com a sua aplicação, já que as suas prescrições e a parametrização do sistema favorecerão futuras certificações pelos órgãos responsáveis.

As diretrizes pertinentes ao desempenho das edificações asseguradas na NBR 15575 (2013) ratificam a inevitabilidade de sua aplicação, desde o planejamento do empreendimento, ou seja, as primeiras instâncias, tais como estudos de viabilidade e projeto, até a operação do produto final e conseqüente manutenção. Então, a fim de aprofundar sua representatividade, sugere-se que sejam realizadas avaliações pós-ocupacionais.

Quanto às diretrizes de projeto, fica evidenciado neste trabalho que a visão holística do processo global do edifício, mais que uma necessidade, se torna imprescindível aos sistemas racionalizados de construção, uma vez que a eficiência e eficácia deste processo depende de detalhamentos e pormenorizações que são impraticáveis em compatibilizações de projeto.

Por fim, a sugestão oportuna de um roteiro para avaliação de desempenho de um edifício pode beneficiar, desde o desenvolvimento de projeto, bem como às etapas posteriores de um empreendimento, dado principalmente a sua organização e sua estrutura, podendo dar origem a *check lists* e a programas de qualidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR PN 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Revisão. Janeiro 2015.

_____. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 14.432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

_____. **NBR 15.220 – 3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.575 – 4**: Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15.575-1**: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR PN_18_600_19**: Painéis pré-moldados de concreto. Draft. Abril, 2015.

_____. **NBR 16.675**: Painéis de parede pré-moldados de concreto – Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2016.

AZEVEDO, C. P. B.; SANTOS, R. B. T. D.. **Construção do Shopping Boulevard em Belo Horizonte**. Artigo apresentado no 52º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC 2010, 2010.

BRUNA, P. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. São Paulo: EDUSP/Perspectiva, 1976. Coleção Debates, número 135.

CASTILHO, V.C.; EL DEBS, M. K; GIL, L. S. **Contribuição dos Painéis Pré-Moldados de Fechamento no Enrijecimento da Estrutura Principal: Estudo de Caso**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, n. 17, p. 59-73, 2001.

CHASTRE, C.; LÚCIO, V. **Estruturas pré-moldadas no mundo**. In: CHASTRE, C.; LÚCIO, V (Coord.). Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural. Guarulhos. Parma, 2012, p. 1-6.

COSTA, D. B. **Diretrizes para concepção, implementação e uso de sistemas de indicadores de desempenho para empresas de construção civil**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. RS.

BRASIL - Ministério da Cidade. **DATec nº 007** – Sistema ROSSI de painéis estruturais pré-moldados maciços de concreto armado para parede. Sistema Nacional de Avaliações Técnicas (SINAT): Brasília (2013)

DONIAK, I. L. O.; GUTSTEIN, D. **Estruturas de concreto no Brasil: Normalização, sustentabilidade e aplicações**. In: CHASTRE, C.; LÚCIO, V. (Coord.). Estruturas pré-moldadas no mundo: aplicações e comportamento estrutural. Guarulhos. Parma, 2012, p. 7-38.

EL DEBS, M. K. **Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações**. EESC-USP. São Carlos, 2000. 456p.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DO BÉTON (FIB). **Guide to Good Practice: Precast Insulated Sandwich Panels** – Draft. October, 2012.

_____. **Planning and Design Handbook on Precast Building Structures** – Final Draft. May 2013.

FERREIRA, F. A.; SILVA, H. C. da; OLIVEIRA, M. E. S. de. **Sistema Construtivo de Painéis Pré-Moldados**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado obtenção do título de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Anhembi Morumbi. 2011.

FERREIRA, M. de A. (2003). **A importância dos sistemas flexibilizados**. 2003. 8p. (Apostila).

FERREIRA, M. de A. (2013). **Diretrizes de projeto: sistemas pré- moldados de concreto**. 2013. 162p. (Notas de aula).

FRANCO, L. S. **Racionalização Construtiva**. Sem menção de data. 6p. (Apostila). Disponível em: <http://www.gerenciamento.ufba.br/Disciplinas/Inova%C3%A7%C3%A3o_Tecnologica/Racionalizacao%20Construtiva.pdf> Acesso em: Mar./2015.

FRANCO, L. S.; AGOPYAN, V. **Implantação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto**. São Paulo, EPUSP, 1993. Boletim Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

GURGEL, M. **Projetando espaços**: guia de arquitetura de interiores para áreas residenciais. 5ª. ed. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2002.

HANAI, J. B. de. **Construções de Argamassa Armada: Situação, Perspectivas e Pesquisas**. 1981. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1981.

KOURY, Ana Paula. **Planejamento Habitacional e Sistemas Construtivos (1964 -1986): Apontamentos para um Debate**. Artigo apresentado no XIV Encontro Nacional Da Anpur – Rio de Janeiro - RJ – Brasil, 2011.

KRÜGER, Eduardo. **Tecnologias apropriadas e habitação social no Brasil**. Projeções, v. 19/20, p. 17-22, dez / jan 2001/2002, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – CEFET – PR.

LANA, M. P. C. V.; ANDERY, P. R. P. **Integração projeto – produção: um novo paradigma cultural**. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. Anais... São Carlos: USP, 2001.

MASCARÓ, J. L. **O custo das decisões arquitetônicas**. Porto Alegre. Masquatro, 2010, 5ª. Ed.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Diretriz para avaliação técnica de produtos. **DIRETRIZ SINAT N. 002**. Revisão 01. Sistemas construtivos integrados por painéis pré-moldados para emprego como paredes de edifícios habitacionais. Brasília, julho 2012.

MINTO, F. M.; MELHADO, S. B. **Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios**. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. Anais... São Carlos: USP, 2001.

MOREIRA NETO, E. **Concepção Arquitetônica Condicionada ao Sistema Construtivo em Pré-Fabricados de Concreto**. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. 2012.

MOURA, A. DE SÁ, M. V. V. A. A influência da racionalização e industrialização na construção civil. **Revista Tecnologia & Informação**. Ano 1, n.1, nov.2012/fev.2014. p. 64-77.

NASCIMENTO, D. M.; TOSTES, S. P. Programa Minha Casa Minha Vida: a (mesma) política habitacional no Brasil. **Arquitextos**, São Paulo, ano 12, n. 133.03, Vitruvius, jun. 2011. <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.133/3936>>. Acesso em Jun./2015.

NEUFERT, P. **Arte de projetar em arquitetura**. Tradução de Benelisa Franco. 17ª. ed. Barcelona: Gustavo Gili, 2004.

OLIVEIRA, L. A. de. **Tecnologia de Painéis Pré-Fabricados Arquitetônicos de Concreto para Emprego em Fachadas de Edifícios**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade São Paulo. SP.

OLIVEIRA, L. A.; SABBATINI, F. H. **Um paralelo entre a concepção dos projetos de painéis pré-fabricados arquitetônicos de concreto e o cumprimento de suas funções como elemento do subsistema vedação vertical**. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos. Anais... São Carlos: USP, 2001.

OLIVEIRA, L. A.; MELHADO, S. B.; SABBATINI, F. H. **O Papel Estratégico do Projeto para a Qualidade dos Painéis Pré-Fabricados de Fachada**. Sem menção quanto a publicações ou data. Acessado em 2013.

OLIVEIRA, M. **Um método para obtenção de indicadores visando a tomada de decisão na etapa de concepção do processo construtivo: a percepção dos principais intervenientes**. Tese (Doutorado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre. RS. 1999.

OLIVEIRA, M.; FREITAS, F. **Indicadores de qualidade de projeto para edificações: o caso do Campus Universitário da UFRGS**. Angra dos Reis – RJ. In: Anais do 20º ENANPAD, ANPAD, Produção Industrial e Serviços, 23-25 de Setembro 1996, p. 127 dos Anais Resumidos.

OLIVEIRA, M.; FREITAS, H. Melhoria da qualidade da etapa de projeto de obras de edificações: um estudo de casos. **Revista de Administração Pública**. Rio de Janeiro. V. 32, n. 3, p. 111 -133. 1998.

PERES, L. D. P. **Avaliação de Propriedades Mecânicas de Peças Pré-Moldadas Submetidas À Cura Térmica pelo Método da Maturidade: Estudo de Caso**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

PICCHI, F. A.; AGOPYAN, V. **Sistemas da qualidade na construção de edifícios**. São Paulo, EPUSP, 1993. Boletim Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

PIGOZZO, B. N.; SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. de A. **A industrialização na construção e o estudo de uma rede de empresas em obra de pré-fabricados em concreto armado**. Artigo apresentado no XII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 2005.

PRESTRESSED CONCRETE INSTITUTE (PCI). **Architectural precast concrete**. 3 ed., Chicago. 2007.

PRONK, E. **Dimensionamento em arquitetura**. 7ª. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2003. 56 p.

RIBEIRO, M. S. **A Industrialização como Requisito para a Racionalização da Construção**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, PROARQ / FAU, 2002.

SABBATINI, F. H.; AGOPYAN, V. **Desenvolvimento de Métodos Processos e Sistemas Construtivos**. São Paulo, EPUSP, 1991. Boletim Técnico, Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

SERRA, S. M. B.; FERREIRA, M. A.; PIGOZZO, B. N. **Evolução dos Pré-fabricados de Concreto**. Artigo apresentado no 1º Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto Pré-Moldado – Núcleo de Estudos e Tecnologia em Pré-moldados (NET-PRÉ), Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, 2005.

SILVA JR, N. L. **Indicadores de desempenho em projetos de arquitetura no eixo Brasília-Goiânia**. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DP. 2010.

TOMO, F. C. **Critérios para projetos de edifícios com paredes portantes de concreto pré-moldado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos – EESC. Universidade de São Paulo. SP. 2013.

UNIDADE de habitação pré-fabricada: 1967. Disponível em: <http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/04_revistas/artigos/Acropole/decada1960/1967n343p43-45.jpg>. Acesso em: 15 ago. 2015.

WEBER, M. S. C. **Brazilian Housing Policy and Sustainable Building Initiatives**. In: UNEP Sustainable Buildings and Climate Initiative – Fall Symposium. Philadelphia. October, 2011.

WENDLER A. **Sistema Construtivo Parede de Concreto**: Um sistema com bom desempenho. In: Concrete Show, 2009. São Paulo.