

**Pedro Curvello da Costa Nemer**

**"AVALIAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDES  
DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL A LUZ DAS  
NORMAS TÉCNICAS VIGENTES"**

Belo Horizonte

Março

2016.

**PEDRO CURVELLO DA COSTA NEMER**

**" AVALIAÇÃO DO SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDES  
DE CONCRETO MOLDADO NO LOCAL A LUZ DAS  
NORMAS TÉCNICAS VIGENTES "**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista.

**Orientador(a): Prof. Dr. White José dos Santos**

Belo Horizonte

Março

2016.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Professor Dr. White José dos Santos, pelo incentivo, dedicação e paciência durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus pais e minha namorada que sempre me apoiaram não importando a decisão tomada, e que me ensinaram que perseverança é fundamental para atingir os objetivos.

Aos colegas do curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído, que em meio a atividades e aulas, fizeram minha estadia em Belo Horizonte mais agradável.

## RESUMO

Esta monografia tem como tema a avaliação do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas no local à luz das atuais normatizações técnicas com ênfase na Norma Brasileira de Desempenho em Edificações Habitacionais, ABNT NBR 15575 (2013). O objetivo é analisar o sistema construtivo como um todo desde parâmetros para projeto até as técnicas de execução, sendo o mesmo considerado inovador no Brasil, e em seguida realizar uma análise sobre a potencialidade de atendimento aos requisitos estipulados pela ABNT NBR 15575 (2013), apontando possíveis pontos críticos para a conformidade com os padrões de desempenho atuais, tanto nas etapas de projeto e execução quanto de utilização, que muitas vezes não se traduzem em conforto ao usuário, mas determinam condições mínimas de habitabilidade da edificação, pois segundo o Guia CBIC de Desempenho (2013), nossas habitações recentemente tem sofrido grande modernização tecnológicas de modo a melhorar os seus processos construtivos, que não necessariamente se traduzem em melhorias de desempenho da edificação em geral, por isso a motivação de fazer a análise de um dos métodos construtivos inovadores, que mais se difundiu nesta última década, demonstrando sua capacidade de atendimento à todas as especificações, desde que consideradas ressalvas em determinados parâmetros.

Palavras-chave: Desempenho edificações, paredes de concreto, norma de desempenho, ABNT NBR 15575.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1: Fôrma em madeira para execução de parede de concreto. ....	20
Figura 4.2: Execução de paredes de concreto com fôrmas plásticas.....	21
Figura 4.3: Execução de parede de concreto com formas metálicas de alumínio. ....	22
Figura 4.4: Fôrma composta com painéis compensados e quadros metálicos. ....	22
Figura 4.5: Detalhamento de armadura de reforço para vão de janela .....	29
Figura 4.6: Recomendação de execução de laje/piso nivelador para apoio das fôrmas. ...	30
Figura 4.7: Marcação do posicionamento dos painéis.....	32
Figura 4.8: Execução de montagem de armaduras eletro soldadas para paredes de concreto.....	32
Figura 4.9: Armaduras de Reforço, (a) utilizando vergalhões de aço, (b) telas eletro soldadas. ....	33
Figura 4.10: Montagem das instalações prediais e espaçadores nas armaduras.....	34
Figura 4.11: travamento das instalações (a) Por meio de espaçadores (b) utilizando arrame recozido. ....	35
Figura 4.12: Montagem dos painéis internos de sistema de parede de concreto. ....	36
Figura 4.13: Montagem simultânea de painéis para parede de concreto.....	36
Figura 4.14: Montagem de gabarito para vão de janela.....	37
<i>Figura 4.15: Peças auxiliares para fechamento e travamento das paredes de concreto (a) gravata, (b) grapa, (c) cunha, (d) pinos, (e) sacos EP, (f) escoras, (g) alinhadores, (h) superior tensor de vãos e inferior cantoneira.....</i>	<i>39</i>

<b>Figura 4.16: Montagem paredes de concreto com armaduras treliçadas (a) montagem das fôrma interna, (b) posicionamento da armadura, (c) fixação das instalações e (d) travamento e escoramento dos painéis. ....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 4.17: Transporte e lançamento de concreto com auxilio de deposito intermediário. ....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 4.18: Utilização de funil para lançamento do concreto nas fôrmas. ....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 4.19: Realização de ensaio de abatimento de tronco de cone. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 4.20: Sequencia de realização do ensaio de Espalhamento ou Slump Flow. ....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 4.21: Ensaio para recebimento de concreto fresco: (a) Ensaio de determinação de teor de ar incorporado, (b) ensaio de determinação de massa especifica do concreto. ....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 4.22: Ensaio de aceitação do concreto endurecido, (a) Ensaio de resistência à compressão de concreto, (b) ensaio de resistência a tração por compressão diametral. ....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 4.23: Tolerância para desvios horizontais. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.24: Tolerância para desvios verticais. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 4.25: Orientação para montagem do sistema de formas. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 4.26: Zoneamento bioclimatico brasileiro ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 4.27: Fluxograma ilustrativo de métodos de avaliação do desempenho térmico. ....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 4.28: Características necessárias aos softwares de avaliação de desempenho térmico. ....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 4.29: Influencia da manutenção no desempenho da edificação ao longo do tempo. ....</b>	<b>97</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Deslocamentos limites para cargas acidentais em geral.....	56
Tabela 4.2: Flechas máximas para vigas e lajes - cargas gravitacionais permanentes e acidentais. ....	56
Tabela 4.3: Critérios e níveis de desempenho quanto ao deslocamento e ocorrência de falhas sobe ação de cargas de serviço. ....	56
Tabela 4.4: Limites para deslocamentos segundo a ABNT NBR 6118, 2014. ....	57
Tabela 4.5: Desempenho sob impacto de corpo mole de elementos estruturais e vedações verticais externas com função estrutural – impactos externos em pavimentos acessíveis ao publico (de fora para dentro) e impactos internos para todos os pavimentos.....	60
Tabela 4.6: Impacto de corpo mole para vedações verticais internas. ....	61
Tabela 4.7: Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas). ....	62
Tabela 4.8: Impactos de corpo duro para vedações verticais internas.....	62
Tabela 4.9: Capacidade de suporte para peças suspensas.....	64
Tabela 4.10: Peças suspensas fixadas segundo especificações do fabricante ou do fornecedor .....	64
Tabela 4.11: Capacidade de suporte para peças suspensas.....	65
Tabela 4.12: Classificação dos materiais tendo como base o método ABNT NBR 9442. ....	68
Tabela 4.13: Classificação dos materiais tendo como base o método EN 13823.....	69
Tabela 4.14: Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas.....	74
Tabela 4.15: Estanqueidade à água de vedações externas (fachadas) e esquadrias. ....	74
Tabela 4.16: Transmitância térmica de paredes externas.....	79
Tabela 4.17: Absortância para radiação solar e emissividade para radiações e temperaturas. ....	79
Tabela 4.18: Capacitância térmica de paredes externas. ....	80
Tabela 4.19: Área mínima de ventilação para ambientes de permanência prolongada. ....	81

<b>Tabela 4.20: Influência da <math>D_{nT,w}</math> sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB. ....</b>	<b>86</b>
<b>Tabela 4.21: Parâmetros para verificação de desempenho acústico. ....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 4.22: Índice de redução sonora ponderado, <math>R_w</math>, de fachadas. ....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 4.23: Índice de redução sonora ponderado, <math>R_w</math>, de componentes construtivos utilizados nas vedações de ambientes. ....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 4.24: Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes. ....</b>	<b>90</b>
<b>Tabela 4.25: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, <math>D_{2m,nT,w}</math>, da vedação externa de dormitório. ....</b>	<b>91</b>
<b>Tabela 4.26: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada, <math>D_{nT,w}</math>, entre ambientes. ....</b>	<b>92</b>
<b>Tabela 4.27: Efeito das falhas no desempenho. ....</b>	<b>95</b>
<b>Tabela 4.28: Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício. ....</b>	<b>95</b>
<b>Tabela 4.29: Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil. ....</b>	<b>95</b>
<b>Tabela 4.30: Critérios para o estabelecimento da VUP das partes do edifício. ....</b>	<b>96</b>
<b>Tabela 4.31: Vida útil de projeto mínima e superior (VUP)<sup>a</sup>. ....</b>	<b>98</b>



## **LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS**

**ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland;**

**ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;**

**ASTM - American Society for Testing Materials;**

**CESED – Centro de Ensino Superior e Desenvolvimento**

**CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção;**

**Concreto tipo L1 – Concreto celular;**

**Concreto tipo L2 – Concreto com agregado leve;**

**Concreto tipo M – Concreto aerado;**

**COHAB – COMPANIA DE HABITAÇÕES;**

**CT – Capacitância térmica;**

**dB – Decibels;**

**D<sub>2m,nT,w</sub> – Diferença padronizada de nível ponderada a 2m;**

**D<sub>nT,w</sub> – Diferença padronizada de nível ponderada;**

**EN – European Standards;**

**f<sub>ck</sub> – Resistência característica do concreto aos 28 dias;**

**ISO – International Organization of Standardization;**

**R<sub>w</sub> – Índice de redução sonora ponderado;**

**SINAT – Sistema Nacional de Avaliações Técnicas;**

**SVVE – Sistema de vedações verticais externas;**

**SVVI – Sistema de vedações verticais interno;**

**SVVIE – Sistema de vedações verticais internas e externas;**

**U – Transmitância térmica;**

**UNIPAR – Universidade Paranaense;**

**VUP – Vida útil de projeto.**

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1</b>	<b>SISTEMA CONSTRUTIVO .....</b>	<b>18</b>
<b>4.2</b>	<b>ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.1</b>	<b>FÔRMAS .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.1.1</b>	<b>Madeira .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.1.2</b>	<b>Plástica .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2.1.3</b>	<b>Metálicas .....</b>	<b>21</b>
<b>4.2.1.4</b>	<b>Fôrmas Compostas .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2</b>	<b>CONCRETO .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.2.1</b>	<b>Concreto celular espumoso.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2.2.2</b>	<b>Concreto com alto teor de ar incorporado.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.2.3</b>	<b>Concreto utilizando agregados leves.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.2.4</b>	<b>Concreto convencional e auto adensável.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2.3</b>	<b>ARMADURAS .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>METODOLOGIA CONSTRUTIVA .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3.1</b>	<b>PROJETO .....</b>	<b>29</b>
<b>4.3.2</b>	<b>FUNDAÇÕES.....</b>	<b>30</b>

<b>4.3.3</b>	<b>MONTAGEM DOS PAINEIS E ARMADURAS .....</b>	<b>31</b>
4.3.3.1	<b>Armaduras eletro soldadas com montagem dos painéis individual ou conjuntamente.....</b>	<b>31</b>
4.3.3.2	<b>Armaduras principais treliçadas.....</b>	<b>40</b>
<b>4.3.4</b>	<b>CONCRETAGEM .....</b>	<b>41</b>
4.3.4.1	<b>Preparo.....</b>	<b>41</b>
4.3.4.2	<b>Transporte.....</b>	<b>42</b>
4.3.4.3	<b>Lançamento: .....</b>	<b>43</b>
4.3.4.4	<b>Adensamento:.....</b>	<b>45</b>
4.3.4.5	<b>Controle tecnológico do concreto:.....</b>	<b>46</b>
4.3.4.6	<b>Acabamento: .....</b>	<b>49</b>
4.3.4.7	<b>Cura: .....</b>	<b>50</b>
4.3.4.8	<b>Recebimento e aceitação das paredes de concreto: .....</b>	<b>50</b>
4.3.4.9	<b>Riscos de não conformidade:.....</b>	<b>51</b>
<b>4.4</b>	<b>AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA.....</b>	<b>52</b>
<b>4.4.1</b>	<b>SEGURANÇA ESTRUTURAL.....</b>	<b>53</b>
4.4.1.1	<b>Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural.....</b>	<b>54</b>
4.4.1.2	<b>Deformações ou estados de fissura do sistema estrutural .....</b>	<b>55</b>
4.4.1.3	<b>Critérios de desempenho para resistência a impactos de corpo mole: .60</b>	
4.4.1.4	<b>Critérios de desempenho para resistência a impactos de corpo duro ...62</b>	

4.4.1.5	Cargas transmitidas por peças suspensas.....	63
4.4.1.6	Solicitações transmitidas por portas para as paredes: .....	65
4.4.2	SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO .....	66
4.4.2.1	Dificultar o princípio de incêndio .....	67
4.4.2.2	Dificultar a inflamação generalizada .....	68
4.4.2.3	Dificultar a propagação do incêndio .....	70
4.4.2.4	Minimizar o risco de colapso estrutural:.....	71
4.4.3	SEGURANÇA NO USO E NA OPERAÇÃO .....	71
4.4.4	ESTANQUEIDADE.....	73
4.4.4.1	Estanqueidade à água de chuva considerando a ação dos ventos em sistemas de vedações verticais externos: .....	74
4.4.4.2	Estanqueidade à água de paredes internas e externas decorrentes da ocupação do imóvel .....	75
4.4.5	DESEMPENHO TÉRMICO .....	75
4.4.5.1	Critérios para o procedimento simplificado .....	77
4.4.5.2	Critérios para simulação computacional: .....	82
4.4.6	DESEMPENHO ACÚSTICO.....	86
4.4.6.1	Parâmetros de verificação: .....	88
4.4.6.2	Avaliação dos níveis de ruído permitidos:.....	88
4.4.7	DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE:.....	93
4.4.7.1	Resistência a choque térmico .....	93

4.4.7.2	Vida útil de projeto.....	94
4.4.7.3	Manutenibilidade do sistema: .....	98
5	CONCLUSÃO.....	101
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a última década o mercado da construção civil no Brasil passou por um período de grande aquecimento, devido à facilidade de acesso ao crédito e aos incentivos governamentais que visavam a diminuição no déficit habitacional no país (PACHECO, 2012).

A grande demanda por habitações de interesse social forçou o mercado a investir nos chamados sistemas inovadores, que apresentam processos construtivos racionalizados, que buscam um menor consumo de mão de obra e otimização do tempo de execução através do aumento do uso de produtos e processos industrializados (CIBIC, 2013).

Nesse quadro de mudanças, surgiu a necessidade de adotar requisitos mínimos referentes a conforto, estabilidade, vida útil, segurança estrutural e contra incêndios, visto que muitos dos sistemas inovadores e muitas das construções convencionais que eram edificadas a fim de atender aos programas sociais, não atendiam as necessidades dos consumidores que as adquiriam (CBIC, 2013).

Com o intuito de minimizar possíveis danos as construções, foi publicada a Norma de Desempenho em Edificações Habitacionais – ABNT NBR 15575: 2013, que buscou padronizar tecnicamente o mercado e induzir a uma melhoria da qualidade das construções. Sua importância consistiu no fato de criar um marco regulatório no setor para construção civil (MARQUES, 2015).

Um dos sistemas considerados inovadores e largamente utilizado em edificações de apelo social é o composto por paredes monolíticas de concreto moldado no local. A aplicação dessa técnica gera um custo inicial elevado, porém o investimento é compensado quando as vantagens são analisadas (PONZONI, 2013).

Apesar de ser considerado inovador, o sistema construtivo surgiu na década de 70, porém, pelo fato de na época não existir demanda suficiente para tornar sua utilização

economicamente viável, a tecnologia não foi consolidada no mercado brasileiro, sendo mais utilizada em países sujeitos a abalos sísmicos, como Chile, México, Colômbia e etc. (CORRÊA, 2012).

A demanda pelo sistema foi tamanha, que surgiu a necessidade de normatiza-lo, visto que a técnica vinha sendo utilizada por poucas construtoras do Brasil, que usavam os seus próprios procedimentos, que precisavam ser aprovados em órgão certificador, onde após aprovação recebiam um documento de avaliação técnica, particular para cada sistema (CORSINI, 2012). Atualmente o sistema foi normatizado pela Norma Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – ABNT NBR 16055: 2012, o que acredita-se que serviu de incentivo para a difusão do sistema construtivo.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho consiste na análise do sistema construtivo paredes de concreto moldadas no local, a luz das normas técnicas vigentes com ênfase no desempenho do sistema.

Para atender ao objetivo geral, têm-se os objetivos específicos:

- Análise do sistema por meio das normas técnicas vigentes aplicáveis ao sistema, bem como diretrizes e textos relevantes aos métodos executivos;
- Avaliar o comportamento do sistema construtivo as atuais exigências de desempenho e propor melhorias buscando melhores maneiras de atenda-las.



### **3 METODOLOGIA**

A metodologia do trabalho consistiu em uma extensa revisão bibliográfica sobre o sistema de paredes de concreto moldadas no local, baseada em publicações acadêmicas como teses e artigos científicos, em publicações de organizações como a ABCP e o SINAT, conjuntamente com as diretrizes normativas da ABNT, referentes aos materiais e metodologias para projetos e execução, de modo à analisar as vantagens e desvantagens do sistema construtivo. Em seguida foram analisados os subsistemas componentes da edificação, executada com o sistema construtivo, à conformidade com os atuais níveis de desempenho estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013) e avaliando à importância das etapas de concepção, execução e utilização da edificação, na potencialidade do sistema construtivo, ao atendimento destes parâmetros de desempenho.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 SISTEMA CONSTRUTIVO**

A ABNT NBR 16055 (2012), define parede de concreto como sendo elemento estrutural autoportante, moldado no local. Com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede, excluindo paredes submetidas a carregamentos predominantemente horizontais.

No sistema construtivo paredes de concreto a vedação e a estrutura são compostas como um único elemento, sendo moldadas no local e podendo ter embutidas os demais sistemas de instalações prediais, assim como marcos e esquadrias (MISURELI e MASSUDA, 2009).

O método segundo é inspirado em experiências de construções industrializadas realizadas nas décadas de 70 e 80, com concretos celulares (sistema Gethal) e convencionais (sistema Outinord), sendo o segundo o que mostrou mais potencial, sendo inclusive utilizado na época pelas COHAB's, contudo com a alta taxa de patologias apresentada pelos sistemas e a falência e conseguinte extinção do Banco Nacional da Habitação (BNH), impediu a consolidação da tecnologia (MISSURELI e MASSUDA, 2009; SACHT, 2008).

Atualmente o sistema é constituído basicamente por um jogo de fôrmas, armaduras centralizadas, compostas usualmente por telas eletrosoldadas, e concreto para preenchimento das formas (CORSINI, 2012). Inspirado em processos industrializados, a necessidade de coordenação de projetos é de plena importância, devido a sobreposição de sistemas e ao alto custo em caso de necessidade de retrabalhos (PANDOLFO, 2007).

## **4.2 ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS**

### **4.2.1 FÔRMAS**

As fôrmas são estruturas provisórias com intuito de moldar o concreto fresco, resistindo as solicitações de lançamento e adensamento da matriz de concreto, mantendo sua forma e estanqueidade até o momento de sua retirada (ABCP *et al.*, 2008).

Apesar do sistema de paredes de concreto moldado no local ser frequentemente associado a fôrmas metálicas, principalmente as compostas de alumínio, a execução pode ser realizada utilizando também, as fôrmas de madeira e as chamadas fôrmas plástica, além de opções que envolvam fôrmas compostas pela junção destes materiais.

A seguir são apresentadas os tipos de fôrmas juntamente com suas vantagens e desvantagens para o sistema.

#### **4.2.1.1 Madeira**

Sistema de fôrmas mais difundido no Brasil, composto por chapas de madeira compensadas e podendo estas serem resinadas ou plastificadas nas dimensões 2,20 x 1,10m e 2,44 x 1,22m em espessuras que variam entre 6 e 21mm. Apresenta como principais vantagens a sua versatilidade e adaptabilidade, podendo ser utilizado na confecção de diversas formas e tamanhos, facilidade de transporte no canteiro de obras, necessidade de equipamentos simples para sua modelagem e aliado a vasta familiaridade da mão-de-obra encontrada no mercado, tornam a utilização deste material altamente competitiva. Como suas principais desvantagens, podemos abordar a grande produção de resíduo, a produtividade e durabilidade estão sensivelmente ligadas a capacitação da mão de obra, que em geral são inferiores se comparadas com os outros sistemas de fôrmas (NAKAMURA, 2007).



**Figura 4.1: Fôrma em madeira para execução de parede de concreto.**

**Fonte: Faz fácil (2015).**

#### **4.2.1.2 Plástica**

São compostas por quadros e chapas feitos de plástico reciclável, inertes estas formas começaram a ser produzidas no Brasil no final dos anos 90, foram concebidas para obter uma utilização racionalizada. Tem entre suas principais vantagens a velocidade no processo de montagem e desforma, dispensando a fixação com pregos, e utilizando um número reduzido de componentes, tem sua produção de resíduos reduzida e ciclo de reutilização otimizados, especialmente se comparado com as fôrmas de madeira, sendo as fôrmas plásticas podendo ser produzidas através de reciclagem de compostos plásticos possui também um forte apelo ambiental além de sua facilidade de transporte no canteiro devido a seu baixo peso específico. Tem como suas principais desvantagens as suas limitações em elementos estruturais com elevadas dimensões, seguido de dificuldades com prumo e alinhamento, o sistema é limitado quanto a sua adaptabilidade no canteiro de obras, e a pouca familiaridade da mão-de-obra com este método construtivo pode resultar em baixa produtividade do sistema (NAKAMURA, 2007).



**Figura 4.2: Execução de paredes de concreto com fôrmas plásticas.**

**Fonte: Faz fácil (2015).**

#### **4.2.1.3 Metálicas**

Neste tipo de formas os quadros e chapas são compostos de aço ou alumínio, como citado anteriormente surgiu em meados da década de 70, e apesar de ter se difundido na época, atualmente é o sistema mais procurado para a execução de paredes de concreto moldadas no local. Tem como pontos fortes a sua elevada vida útil podendo segundo (CORSINI, 2012) ter seu ciclo de utilização entre quinhentas e duas mil vezes, sendo o sistema que menos produz passivos ambientais e ainda constitui o sistema de fôrmas que exige menor manutenção, além de possibilitar ciclos de concretagem menores. Como suas desvantagens podem ser citados seu elevado preço de aquisição ou aluguel, dentre todos os sistemas é o que apresenta menor flexibilidade, por isso é o sistema que necessita de uma melhor análise dos projetos e procedimentos de execução (NAKAMURA, 2007).



**Figura 4.3: Execução de parede de concreto com formas metálicas de alumínio.**

**Fonte: Comunidade da construção (2015).**

#### **4.2.1.4 Fôrmas Compostas**

Como mencionado anteriormente estes sistemas de fôrmas podem ser compostos pela união de um ou mais dos sistemas apresentados anteriormente, sendo entre eles o mais utilizado o composto por chapas de madeira compensada e quadros metálicos, como vantagens apresenta uma menor oneração comparado com as fôrmas metálicas, e apesar de não possuir a mesma vida útil desta, possui um sistema de manutenção e fechamento de formas, otimizado se comparado as fôrmas de madeira (PACHECO, 2012).



**Figura 4.4: Fôrma composta com painéis compensados e quadros metálicos.**

**Fonte: Comunidade da construção (2015).**

Como forma de regularizar os projetos e garantir um desempenho adequado dos sistemas de formas a norma de paredes de concreto moldada no local para a construção de edificações, estabelece os seguintes requisitos quanto aos projetos de formas a serem obedecidos.

Segundo a ABNT NBR 16055 (2012, p. 23), é obrigatório a realização do projeto de fôrmas em conformidade com o projeto estrutural, contemplando: detalhamento geométrico e posicionamento dos painéis; detalhamento geométrico dos equipamentos auxiliares; detalhamento geométrico do travamento e aprumo; detalhamento do escoramento, inclusive escoramento residual permanente; tempo de retirada do escoramento residual; sequência executiva de montagem e desmontagem e coordenação modular de projeto (ABNT NBR 15873, 2010).

#### **4.2.2 CONCRETO**

O concreto de cimento Portland pode ser caracterizado pela mistura de Cimento Portland, água, agregados inertes, podendo possuir em pequenas quantidades produtos que modificam algumas de suas propriedades a fim de adequá-las a determinadas condições (ABNT NBR 11768, 1992), formando uma pasta que com o tempo endurece, adquirindo resistência mecânica e aderindo às partículas de agregado (GIAMMUSSO, 1992).

Dentre as características mais importantes do concreto fresco, uma que apresenta elevada importância, é sua trabalhabilidade, que define sua aptidão para ser empregado em determinada finalidade, sem perda de homogeneidade, esta sensivelmente relacionada com a consistência e com a coesão da pasta de cimento, que dependem respectivamente da quantidade de água adicionada a mistura e a capacidade dos componentes do concreto se manterem misturados (PACHECO, 2012).

A trabalhabilidade do concreto fresco se torna de extrema importância na utilização do sistema de paredes de concreto moldadas no local devido principalmente as formas das paredes que possuem as aberturas de porta e janelas embutidas nas formas, necessitando assim de um

concreto com elevada trabalhabilidade a fim de assegurar um bom lançamento e adensamento dentro das fôrmas (CORSINI, 2012).

De acordo com a ABCP *et al.* (2008, p.147), quatro tipos de concreto são recomendados para a utilização no sistema de paredes de concreto moldadas no local, podendo estas ser executadas com concretos, celulares, com elevado teor de ar incorporado, utilizando agregados leves ou com baixa massa específica, convencional e auto adensável.

#### **4.2.2.1 Concreto celular espumoso**

A ABNT NBR 12645 (1992, p.1), define concreto celular como

“Concreto leve obtido pela introdução em argamassa de bolhas de ar, com dimensões milimétricas, homogêneas, uniformemente distribuídas, estáveis, incomunicáveis e indeformadas ao fim do processo, cuja densidade de massa aparente no estado fresco deve estar compreendida entre  $1300 \text{ kg/m}^3$  e  $1900 \text{ kg/m}^3$ .”

O concreto celular espumoso segundo a ABNT NBR 12646 (1992, p.2), define que os corpos de prova ensaiados segundo a ABNT NBR 5739 (2007), devem apresentar uma resistência característica a compressão estimada ( $f_{ckest}$ ) de 2,5 MPa aos 28 dias de idade, sendo usualmente utilizados concretos celulares com resistência à compressão acima de 4 MPa. Este tipo de concreto segundo a ABCP *et al.* (2008, p. 147), tem como principais características a baixa massa específica e o bom desempenho térmico e acústico, uma vez que possui grande quantidade de bolhas de ar distribuídas uniformemente em seu interior, devendo ser estudado sua utilização em áreas com alta agressividade, pois o alto índice de bolhas pode aumentar sua permeabilidade à agentes agressivos, assim diminuindo sua vida útil. O concreto celular em sistemas de paredes de concreto tem sua utilização usualmente limitada a sobrados e edificações de até dois pavimentos, podendo ser utilizado para edificações de múltiplos pavimentos, desde que especificados os parâmetros de resistência mínima à compressão de cada caso.



#### **4.2.2.2 Concreto com alto teor de ar incorporado**

Este concreto é obtido pela adição de aditivos incorporadores de ar na mistura do concreto que gera a formação de bolhas de ar na matriz de cimento, segundo NEVILLE e BROCK (2013, p. 290), o as bolhas de ar incorporadas atuam como um agregado miúdo adicional, com uma alta compressibilidade e baixíssimo atrito superficial em relação aos demais componentes da mistura, gerando um aumento da plasticidade e trabalhabilidade do concreto fresco.

Assim como o concreto celular, também possui bom desempenho térmico e acústico, porém assim como o concreto celular sua utilização em ambientes de alta agressividade ambiental deve ser estudada devido ao aumento de permeabilidade a certos agentes agressivos como íons cloreto e dióxido de carbono, podendo a utilização indevida resultar em significativa redução de vida útil das armaduras. Ainda em relação a durabilidade, observa-se que a partir de certo teor de ar incorporado, algo entorno de 4%, a durabilidade reduz sensivelmente a durabilidade e desempenho da matriz cimentícia (SACHT, 2008).

Apesar de não normatizada para utilização em sistemas construtivos de paredes de concreto moldadas no local, sua utilização é abordada na DIRETRIZ SINAT (Nº001, Revisão 02, 2011), e a ABCP *et al.* (2008, p. 147), atribui a utilização deste tipo de concreto para paredes de casas com até dois pavimentos, desde que a resistência especificada seja igual ou superior a 6 MPa e com o teor de ar incorporado máximo de 9%.

#### **4.2.2.3 Concreto utilizando agregados leves**

O concreto com agregados leves, ou concreto leve estrutural, este sistema se caracteriza pela substituição total ou parcial dos agregados tradicionais por agregados leves que podem ser obtidos por produtos naturais ou sintéticos, passando pelos subprodutos e rejeitos industriais (SACHT, 2009).

Como agregados leves naturais são utilizados os produtos extraídos diretamente de jazidas, seguida de classificação granulométrica, entre este tipo de agregado que tem como exemplo a pedra pomes, tem pouca utilização na fabricação de concretos estruturais devido a decorrência de variações em suas propriedades (SACHT, 2009).

Os agregados leves, artificiais são obtidos industrialmente e classificados conforme o processo de fabricação e matéria-prima utilizada. Destes os mais utilizados no Brasil são o folhelhos e argilas expandidas, sendo estes na maioria dos processos de fabricação compostos por partículas com diâmetro entre 1 e 25 mm (ROSSIGNOLO, 2009).

Este tipo de concreto se torna uma alternativa interessante para a utilização no sistema de paredes de concreto moldadas no local devido ao seu baixo peso específico, sendo sua massa específica seca abaixo de 1700 Kg/m<sup>3</sup>, o que alivia as cargas nas fundações, trabalhabilidade adequada ao bombeamento e moldagem, valores de resistência à compressão às 12 horas de idade acima de 2 MPa e aos 28 dias de idade acima de 30 MPa, além de possuir um desempenho térmico e acústico superior aos concretos convencionais, ele também possui baixa permeabilidade a agentes agressivos (SACHT, 2009).

Apesar de atingir resistências à compressão similares aos concretos convencionais sua utilização não está prevista na ABNT NBR 16055 (2012), sendo esta especificada à concretos com massa específica da ordem de 2300 Kg/m<sup>3</sup>, o que exige um Documento de Avaliação Técnica (DATEc), para sua utilização nas paredes de concreto, ainda assim a ABCP *et al.* (2008, p. 147), indica a sua utilização deste concreto em edificações de qualquer tipologia desde que os seus requisitos de resistência à compressão sejam de até 25 MPa, e restringe a utilização de agregados a somente a argila expandida alegando que outras opções não atingem a resistência necessária.

#### 4.2.2.4 Concreto convencional e auto adensável

Caracterizado pela mistura de cimento, água e agregados, suas especificações se enquadram com as apresentadas anteriormente, apesar de apresentar o maior peso específico até o momento, e os menores desempenhos tanto térmicos e acústicos, é o material que possui a maior utilização quando da utilização de sistemas de paredes monolíticas de concreto em especial quando utilizado juntamente com aditivos superplastificantes, concreto autoadensável, sendo estes normatizados pela ABNT NBR 16055 (2012), e referenciado tanto na DIRETRIZ SINAT (Nº001, Revisão 02, 2011), quanto na ABCP *et al.* (2008, p. 147), sendo assim especificados seu dimensionamento e parâmetros de utilização.

Este concreto é produzido pela utilização de aditivos superplastificantes, na obra, ao concreto já misturado, tempo de duração dos aditivos e de cerca de 40 minutos, conferindo uma alta plasticidade ao concreto fresco. Como suas principais vantagens, podemos citar sua maior velocidade de lançamento e não necessidade de adensamento, otimizando a produtividade da mão de obra, melhora significativa no acabamento das superfícies, seu melhor adensamento pode aumentar a durabilidade das estruturas devido a falta de falhas de concretagens, no entanto seu uso exerce mais esforço sobre as fôrmas, pois segundo (CHAPE, 2007) “Quanto mais fluido for o concreto, maior será a pressão exercida sobre as fôrmas. Além do *Slump*, outros fatores, como velocidade de lançamento do concreto, também interferem na pressão sobre as fôrmas”.

Como o sistema consiste na concretagem em massa das paredes, que por sua vez são constituídas por placas com elevada superfície de contato com o meio externo, mais suscetíveis as tensões residuais que podem vir a ocorrer devido a retração hidráulica ou devido ao gradiente térmico que pode ocorrer dentro das paredes, causando a fissuração das mesmas. Visando a melhor distribuição destas tensões residuais na matriz cimentícia é recomendada a adição de fibras ao concreto, que tem por característica melhorar a distribuição

de tensões das peças, assim diminuindo e por vezes até mesmo evitando a fissuração das mesmas.

### **4.2.3 ARMADURAS**

Segundo Missureli e Masuda (2009), o sistema de armaduras utilizado no sistema paredes de concreto moldados no local é o composto por telas soldadas como, armadura principal, conforme a ABNT NBR 7481 (1990), posicionadas no eixo vertical da parede, com a utilização de barras e fios, conforme ABNT NBR 7480 (1990), para reforço de bordas, vãos de portas e janelas, para edificações até 5 pavimentos, sendo necessária avaliação de utilização ou não de armaduras duplas em edificações de maior porte.

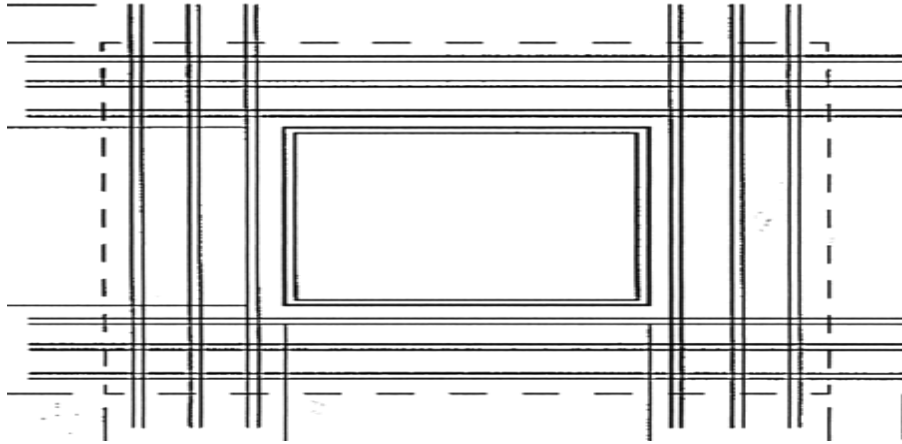
Outros tipos de armaduras como as em formatos treliçados também podem ser utilizadas na execução do sistema, sendo estas também posicionadas centralmente ao eixo dos painéis e possuem mesma necessidade de reforços em vãos de portas e janelas, no entanto esta diferente das telas eletro soldadas não é usualmente aplicada em toda a extensão da parede.

A ABNT NBR 7481 (1990, p,.1), define tela de aço soldada como,

“Armadura pré-fabricada, destinada a armar o concreto, em forma de rede de malhas retangulares, constituídas de fios de aço longitudinais e transversais, sobrepostos e soldados em todos os pontos de contato, por resistência elétrica (caldeamento).”

A utilização destas telas eletro soldadas é de extrema importância no sistema, pois além de fornecer produtividade e desempenho adequados ao sistema, pois possuem a função de resistir aos esforços de flexo-torção, controlar a os esforços de retração das paredes e servir de estruturação para os sistemas de instalações.

As armaduras de reforço são as responsáveis pela absorção e distribuição de esforços nas regiões com altas zonas de influência, evitando deformações e fissurações nestas regiões.



**Figura 4.5: Detalhamento de armadura de reforço para vão de janela**

**Fonte: ABNT NBR 16055 (2012, p. 21)**

### **4.3 METODOLOGIA CONSTRUTIVA**

#### **4.3.1 PROJETO**

Os projetos devem ser constituídos de desenhos, especificações e memorial descritivo, contendo informações claras, corretas e consistentes entre si, tornando possível a sua execução de acordo com os critérios adotados, apresentando desenhos com contendo as plantas de fôrmas, elevações das paredes e respectivas armaduras, apresentando sempre que necessário os pontos de reforço, detalhes de amarração entre paredes, paredes com lajes e posicionamento de juntas de controle ou construtivas (ABNT NBR 16055, 2012, p.4).

A velocidade de execução e o tipo de concreto também devem ser considerados em projeto, sendo estes contemplados com suas respectivas etapas construtivas e respectivas idades e resistências do concreto, tendo em vista a capacidade portante da estrutura nas idades de desforma e a fissuração decorrente do processo construtivo, sendo necessário que os projetos de fôrmas, escoramento, detalhes embutidos ou vazados e os projetos de instalações devem ser aprovados pelo projetista da estrutura (ABNT NBR 16055, 2012, p. 5).

### 4.3.2 FUNDAÇÕES

Como a principal função das fundações é o recebimento dos esforços vindos da edificação e consequente transmissão destes para o solo onde esta apoiada, sendo a escolha desta dependente das condições locais do empreendimento, em especial das resistências das camadas de solo e da altura do nível d'água, devendo esta contemplar os aspectos de segurança, estabilidade e durabilidade necessários para garantir uma boa utilização da edificação, além de um alinhamento e nivelamento de grande importância para a execução das paredes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al, 2008, p. 82).

Para um boa execução do sistema de paredes de concreto as fundações, independente do sistema construtivo, devem obedecer um alinhamento e nivelamento rigoroso, permitindo boas condições de apoio e montagem das fôrmas. A ABCP *et al.* (2008, p.82), recomenda a execução de uma laje/piso na cota do terreno, a fim de constituir um apoio nivelado para as fôrmas a fim de minimizar os desaprumos e evitando o contato direto das fôrmas com o solo.

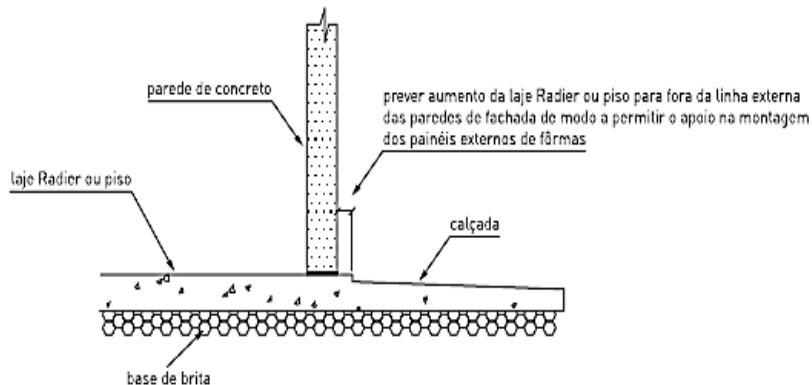


Figura 4.6: Recomendação de execução de laje/piso nivelador para apoio das fôrmas.

Fonte: ABCP *et al.*, 2008, p. 82

Como regra geral, e a partir do detalhamento definido em projeto, as fundações são construídas contendo embutidas as tubulações de águas servidas e outros pontos de conexão.

Portanto, antes da concretagem, devemos posicionar as tubulações com uso de gabarito específico, conforme projetos de instalações, e após a concretagem marcam-se as posições das faces internas e externas das paredes de modo a orientar a montagem e o posicionamento dos painéis. A ancoragem das paredes com a fundação ou sua ausência deve ser realizada segundo projeto estrutural, sendo o mais comum em fundações superficiais, o grauteamento de barras nos apoios das paredes realizando assim sua ligação.

### **4.3.3 MONTAGEM DOS PAINÉIS E ARMADURAS**

Esta etapa pode ser realizada de diversas formas, porém sua execução se mostra de extrema importância para o sucesso do sistema, pois o processo de montagem adequado pode gerar grande aumento na produtividade da equipe, além de diminuição de passivos ambientais e retrabalhos. O processo de montagem dos painéis depende tanto dos sistemas de fôrmas adotado, quanto do sistema de armaduras utilizado, e da empresa que utiliza o sistema, pois anteriormente a normatização, do sistema muitas empresas patentearam seus sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local, assim como o ocorrido com os sistemas Outinord, e Gethal, conseqüentemente varias maneiras de execução do sistema foram elaboradas, mas a ABCP et al, (2008, p. 84) apresenta as seguintes metodologias de montagem dos painéis

#### **4.3.3.1 Armaduras eletro soldadas com montagem dos painéis individual ou conjuntamente.**

- **Marcação dos painéis na fundação:**

Esta etapa é composta pela marcação do posicionamento das fôrmas, na fundação do empreendimento, indica-se que as formas sejam posicionadas em camada plana, regularizada a fim de evitar diferenças de topo entre os painéis.



**Figura 4.7: Marcação do posicionamento dos painéis.**

**Fonte: ABCP et al., 2008, p. 86**

- **Montagem das armaduras:**

Quando a armadura principal do sistema é composta por tela eletro soldadas, usualmente sua montagem pode anteceder a montagem das fôrmas, sendo esta posicionada em toda a extensão das paredes, sem interrupções, estando estas usualmente, com os cortes na malha, para posicionamento de janelas e portas previamente executados.



**Figura 4.8: Execução de montagem de armaduras eletro soldadas para paredes de concreto.**

**Fonte: Soluções para Cidades (2015).**



- **Montagem das armaduras de reforço:**

O sistema adota armaduras de reforço nas regiões com maiores solicitações devido ao formato ou posicionamento sendo mais comum sua utilização nas quinas de parede e nas aberturas de portas e janelas. Sua montagem é realizada logo após a montagem das armaduras principais podendo ser adotadas 3 tipos de armaduras para este reforço sendo eles compostos por, telas eletro soldadas, vergalhões metálicos e treliças metálicas, posicionados centralmente aos eixos das paredes.



Figura 4.9: Armaduras de Reforço, (a) utilizando vergalhões de aço, (b) telas eletro soldadas.

Fonte: ABCP et al (2008, p. 90)

- **Montagem das instalações e posicionamentos dos espaçadores:**

Após a montagem das telas são executadas as instalações, hidráulicas e elétricas da edificação, sendo as instalações elétricas disponíveis em padrões específicos para a utilização em paredes de concreto, sendo compostas por tampas vedantes e auxílios para a fixação nas armaduras, após as instalações é realizado o posicionamento e travamento dos espaçadores.

Lembrando a importância de obedecer aos cobrimentos adequados, por meio de espaçadores uniformemente distribuídos e devidamente fixados, de modo a não permitir deslocamentos da armadura durante a concretagem das formas (ABNT NBR 16055, 2012, p. 26).



**Figura 4.10: Montagem das instalações prediais e espaçadores nas armaduras.**

**Fonte: CESED (2015)**

Segundo a ABNT NBR 16055 (2012, p.26)

“É imprescindível garantir o posicionamento das armaduras e a geometria dos painéis em obediência ao projeto, especialmente alinhamentos e espessuras de paredes, (...).

As ementas e ancoragens das armaduras nos diferentes elementos estruturais devem seguir as especificações de projeto, sendo que as não previstas em projeto devem ser executadas mediante consulta prévia ao projetista.

Como o sistema construtivo possui suas instalações embutidas nas paredes de concreto, se torna necessário tomar precauções para que as tubulações assim como as armaduras mantenham os cobrimentos de projeto com o mínimo de movimentação das tubulações durante a concretagem das paredes por isso recomenda-se a utilização de espaçadores especiais para as tubulações, ou sua amarração por meio de arame recozido nas armaduras principais das paredes.



Figura 4.11: travamento das instalações (a) Por meio de espaçadores (b) utilizando arrame recozido.  
Fonte: (a) e (b) Comunidade da Construção (2015).

Com relação aos espaçadores a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al, (2008), indica a utilização de espaçadores plásticos afim de evitar as possíveis manchas decorrentes da utilização do arrame para amarração das tubulações.

- **Montagem dos painéis de modo individual:**

Nesta etapa que ocorre a diferenciação entre a montagem simultânea ou individual das fôrmas, sendo ambas antecedidas pela aplicação de desmoldante nas fôrmas, previamente a sua montagem, evitando assim o seu contato com as armaduras, e garantindo sua aderência com a matriz de concreto.

O projeto deve fornecer sequencia executiva da montagem dos painéis, sendo esta usualmente iniciada pelos painéis de partes com instalações hidráulicas, banheiros e cozinhas, colocando-se primeiro os painéis de canto, de modo a formar um “L”, e posteriormente os painéis das faces internas das paredes, sendo esta escolha importante pois permite o posicionamento das tubulações no centro das paredes.



**Figura 4.12: Montagem dos painéis internos de sistema de parede de concreto.**

**Fonte: Comunidade da Construção (2015).**

- **Montagem simultânea dos painéis:**

Nesta situação, todas as etapas anteriores a montagem já devem ter sido executadas, sendo a montagem das formas internas e externas executada conjuntamente.

Para facilitar a utilização deste método a ABCP et al, (2008, p. 87), aconselha que antes da montagem dos painéis, estes devem estar devidamente numerados e indicados no projeto executivo, pois o posicionamento de cada painel deve ser rigoroso e mantido em todas as etapas de todas as unidades construídas.



**Figura 4.13: Montagem simultânea de painéis para parede de concreto.**

**Fonte: ABCP et al., 2008, p. 87**



A montagem dos painéis internos e externos nesta metodologia é realizada simultaneamente, e conjuntamente com os travamentos e escoramentos das fôrmas, de modo a deixar o conjunto pronto para a concretagem.

- **Colocação dos gabaritos (caixilhos) de janelas e portas**

Após a montagem dos painéis e realizada colocação dos gabaritos das aberturas dos vãos de janelas e portas, com folga de 1 cm, de modo a garantir suas dimensões e assim possibilitando a instalação dos componentes das portas e janelas.



**Figura 4.14: Montagem de gabarito para vão de janela.**

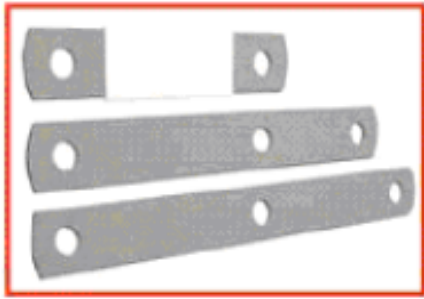
Fonte: PONZONI (2011, p. 27).

- **Travamento e escoramento das fôrmas:**

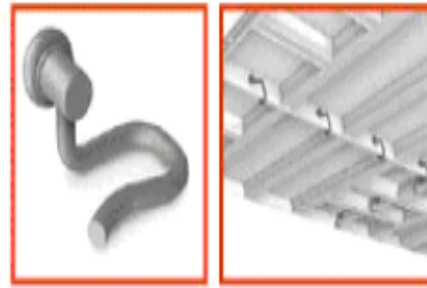
O travamento e escoramento das fôrmas são realizados utilizando peças auxiliares, que trabalham conjuntamente com os painéis, a fim de manter a estabilidade das fôrmas e impedir a movimentação do conjunto durante a etapa de concretagem, mantendo assim o alinhamento e espaçamento das paredes (PACHECO, 2012).

As principais peças auxiliares utilizadas durante o travamento e montagem dos painéis são apresentadas a seguir e ilustradas na figura 4.15.

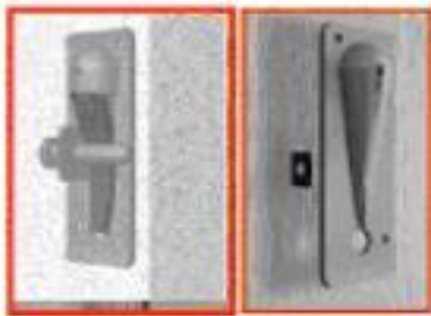
- Pinos: Garantem o travamento dos painéis das fôrmas e gravatas;
- Cunhas: Juntamente com os pinos auxiliam no travamento dos painéis;
- Gravatas: Utilizadas para travar os painéis internos e externos garantindo a espessura das paredes;
- Grapas: Servem para fixar os painéis onde não é possível usar os pinos, como na junção de paredes e lajes;
- Sacos EP: Também conhecidos como camisinhas, serve para o enlucamento da gravata, impedindo contato desta com o concreto e possibilitando a sua remoção;
- Escoras: São utilizadas para escoramento tanto dos painéis quanto das lajes;
- Cantoneiras ou réguas alinhadoras: Servem de guia para alinhamento das paredes, em conjunto com os alinhadores;
- Alinhadores: Alinham as fôrmas e recebem os painéis da proteção periférica
- Tensores: Servem para garantir as medidas dos vãos de portas e janelas.



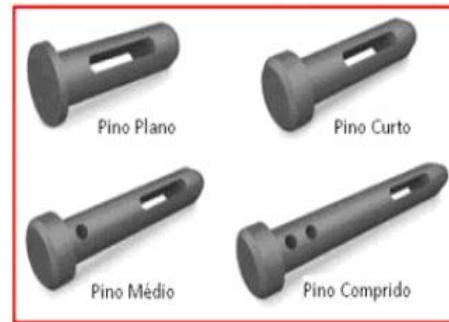
(a)



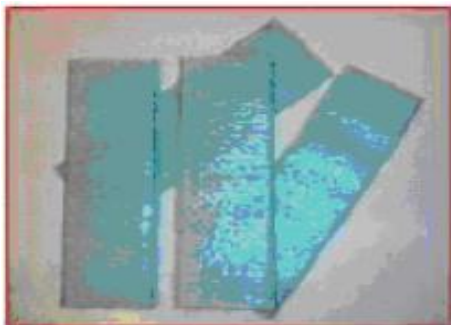
(b)



(c)



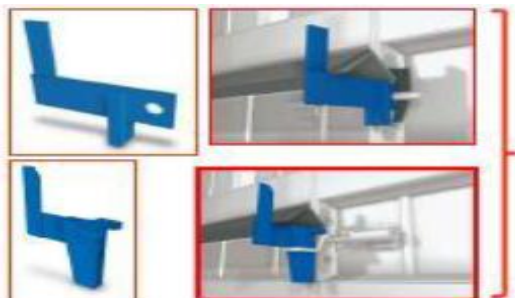
(d)



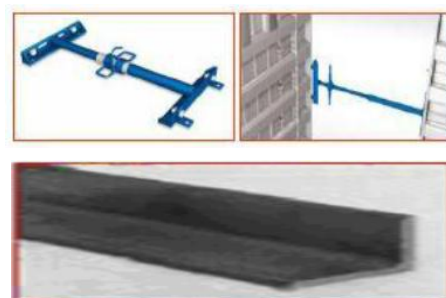
(e)



(f)



(g)



(h)

**Figura 4.15: Peças auxiliares para fechamento e travamento das paredes de concreto (a) gravata, (b) grapa, (c) cunha, (d) pinos, (e) sacos EP, (f) escoras, (g) alinhadores, (h) superior tensor de vãos e inferior cantoneira.**

Fonte: Pacheco, 2012, p. 45-46.

### 4.3.3.2 Armaduras principais treliçadas

Segundo VENTURI (2011), a principal diferença executiva deste tipo de sistema é a montagem dos painéis internos que é realizada logo após a aplicação do desmoldante, sendo as armaduras encaixadas e fixadas nestes painéis, seguidas da fixação de espaçadores e das instalações embutidas nas paredes, com conseguinte posicionamento dos painéis externos, e finalmente sendo realizado o travamento e escoramento das fôrmas, conforme apresentado anteriormente, deixando o conjunto apto a receber a concretagem.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Figura 4.16: Montagem paredes de concreto com armaduras treliçadas (a) montagem das fôrma interna, (b) posicionamento da armadura, (c) fixação das instalações e (d) travamento e escoramento dos painéis.**

Fonte: Ponzoni, 2013, p. 25, 26 e 27.



#### **4.3.4 CONCRETAGEM**

A ABNT NBR 14931 (2004, p.18) exige que a concretagem dos elementos estruturais devem ser realizadas de acordo com um plano de previamente estabelecido, devendo este assegurar o fornecimento da quantidade adequada de concreto, prevendo:

- Áreas ou o volume concretados em função do tempo de trabalho;
- Relação entre lançamento, adensamento e acabamento;
- As juntas de concretagem, quando necessárias;
- Acabamento final a ser obtido.

A capacidade de lançamento deve permitir que o concreto se mantenha plástico e livre de juntas não previstas durante a concretagem, possibilitando o transporte do concreto até o ponto mais distante a ser concretado sem sofrer segregação.

##### **4.3.4.1 Preparo**

Segundo a ABNT NBR 16055 (2012), o concreto destinado às estruturas de paredes de concreto pode ser preparado pelo executante da obra ou por empresa de contratada, sendo ambos responsáveis pelos serviços e cumprimentos cabíveis, as prescrições relativas a preparo, controle e recebimento deste concreto segundo a ABNT NBR 12655 (2006).

Segundo a ABNT NBR 14931 (2004, p. 15), a especificação do concreto deve levar em consideração todas as propriedades requeridas em projeto, especialmente à durabilidade, módulo de elasticidade do concreto, e resistências características, assim como às condições referentes a consistência e trabalhabilidade e dimensões dos constituintes da mistura, em função do método de preparo, lançamento, adensamento e cura.

A concretagem e todas as etapas precedentes são de fundamental importância para garantir o desempenho e durabilidade desejados à estrutura. Temos ainda que para o sistema, um dos métodos executivos mais eficientes é obtido a partir da utilização de concretos dosados em

centrais, pois estes diminuem o tempo de operação na produção do concreto em canteiro, garantem mais uniformidade as paredes, além de facilitar o controle tecnológico, devido a capacidade de fornecer grandes volumes por vez. Esse controle tecnológico se mostra de extrema importância para o sistema, pois devido aos rápidos ciclos de concretagem usualmente adotados, a desforma das paredes somente deve ser realizada, mediante a resistência especificada em projeto para a idade em questão (ABCP et al., 2008).

#### **4.3.4.2 Transporte**

No caso de concreto dosado em central, o trajeto a ser percorrido pelo caminhão betoneira no canteiro de obras até o ponto de descarga, deve estar desimpedido com o terreno firme de modo a evitar dificuldades e atrasos no cronograma de operação. A circulação de caminhões no canteiro deve ser facilitada, de modo que os caminhões possam deixar facilmente o local após a descarga, dando espaço para a entrada de outros caminhões. Como no sistema de paredes de concreto moldadas no local é comum o recebimento de grandes volumes de concreto por vez, recomenda-se prever um local próximo ao de concretagem, a fim de organizar os caminhões a serem descarregados, conforme o tempo decorrido desde o início da mistura, de maneira a evitar desperdícios (ABNT NBR 14931, 2004, p. 18).

“O sistema de transporte deve, sempre que possível, permitir o lançamento direto do concreto nas fôrmas, evitando o uso de depósitos intermediários, porém quando necessários devem ser tomadas medidas preventivas a fim de evitar a segregação do concreto” (ABNT NBR 14931, 2004, p.19).



**Figura 4.17: Transporte e lançamento de concreto com auxílio de depósito intermediário.**

**Fonte: ABCP et al, 2008, p. 146**

A ABNT NBR 16055 (2012, p. 31) recomenda que o intervalo de tempo transcorrido entre o início da mistura, contado a partir da primeira adição de água, até a entrega do concreto na obra, seja inferior a 90 min, salvo condições específicas definidas em projeto, influência de condições climáticas ou a composição do concreto.

#### **4.3.4.3 Lançamento:**

Conforme a ABNT NBR 16055 (2012, p.32), o concreto deve ser lançado com técnica que busca minimizar ou erradicar a segregação entre seus componentes, observando-se maiores cuidados, quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armaduras. Estes cuidados devem ser majorados quando a altura de queda livre do concreto ultrapassar 2 m, no caso de peças estreitas e altas, de modo a evitar a segregação e falta de argamassa, em especial na base das paredes. Entre os cuidados que podem ser tomados, no todo ou em parte, recomenda-se, o emprego de concreto auto adensável, com alta trabalhabilidade e alta coesão, além do uso de dispositivos que conduzam o concreto, minimizando a segregação (funis, calhas, trombas entre outros).



**Figura 4.18:Utilização de funil para lançamento do concreto nas fôrmas.**

**Fonte: ABCP *et al*, 2008, p. 143**

A ABCP *et al.* (2010, p. 53) sugere que o lançamento do concreto deve ser planejado de modo a obedecer um critério de escolha de pontos, evitando o lançamento em pontos concentrados, que possa provocar a deformação no sistema de fôrmas, e de modo que a massa fluida possa caminhar homoganeamente pelas fôrmas e preencher todos os vazios sem quaisquer dificuldades.

Afirmado ainda que o lançamento deve ser iniciado por um dos cantos da edificação, até que uma significativa parcela das paredes próximas ao ponto esteja totalmente cheia, efetuando então a mudança de posição de lançamento para o canto oposto da edificação, repetindo a etapa até que todos os cantos estejam concretados. No caso da utilização de lajes inclinadas nas coberturas, finaliza-se a concretagem com o lançamento na linha mais elevada das fôrmas dos oitões.

A ABNT NBR 16055 (2012, p. 31) define que o tempo decorrido entre o início da mistura e o final da aplicação do concreto na fôrma não pode ultrapassar 150 min, salvo condições específicas definidas em projeto, ou influencia de condições climáticas ou de composição do concreto, não sendo permitido em nenhuma hipótese o lançamento do concreto após o início da pega.

O lançamento de nova camada de concreto após o início da pega do concreto lançado (junta fria não prevista) devem ser tomadas as devidas precauções para garantir a suficiente ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho, sendo necessária a retirada das fôrmas para o preparo da superfície da junta (ABNT NBR 16055, 2012).

#### **4.3.4.4 Adensamento:**

Durante a fase de adensamento, o concreto deve ser vibrado com equipamento adequado, devendo ser realizado de forma cuidadosa, a fim de evitar danos nos painéis e patologias decorrentes da segregação, e do não mau preenchimento das fôrmas.

De acordo com a ABNT NBR 16055 (2012, p. 33), os seguinte cuidados devem ser tomados, a exceção de utilização de concretos auto adensáveis.

- O adensamento (manual ou mecânico) deve garantir que o concreto preencha todos os espaços de fôrma sem prejuízo da aderência das armaduras. Para tanto, é necessário que os mecanismos de adensamento não entrem em contato com as armaduras, ou com as peças embutidas, provocando deslocamentos e ou problemas de aderência com a matriz cimentícia;
- No caso de alta densidade de armaduras, cuidados especiais devem ser tomados para que o concreto seja distribuído em todo o volume da peça e o adensamento se processe de forma homogênea;
- O enchimento das fôrmas deve ser realizado sem a ocorrência de falhas por ar aprisionado, devendo o sistema de fôrmas prever dispositivos que garantam a saída desse ar durante a concretagem, em especial nas regiões logo abaixo das janelas, ou demais locais propícios à formação de vazios, devendo também acompanhar o enchimento das fôrmas por meio de leves batidas com martelo de borracha nos painéis.

Em adição a estes cuidados MISSURELI E MASSUDA (2009, p.10), alertam que no adensamento manual, as camadas de concreto não devem exceder 20 cm, e ainda se a opção for a utilização de vibradores de imersão, a espessura da camada deve ser aproximadamente igual a  $\frac{3}{4}$  do comprimento da agulha, com o vibrador penetrando cerca de 10 cm na camada anterior, conforme ABNT NBR 12655 (2004, p. 21), afirmando que se as exigências para o vibrador de imersão não puderem ser atendidas o mesmo não deverá ser utilizado.

Afirmam ainda que em função das características do sistema construtivo, onde as fôrmas, são constituídas por painéis altos com abertura estreita, é de vital importância que a etapa de adensamento seja bem executada, e devido às propriedades do concreto autoadensável, que permitem eliminar a etapa de adensamento, este deve ser utilizado sempre que possível.

#### **4.3.4.5 Controle tecnológico do concreto:**

O controle tecnológico do concreto segundo a ABNT NBR 16055 (2012, p.33), deve ser realizado em dois momentos: no ato do recebimento do material na obra ou em sua concepção se este for produzido em canteiro, e na sua aceitação quando o concreto está endurecido.

- **Controle de aceitação no estado fresco:**

O controle de aceitação neste estado deve ser realizado pela determinação do abatimento do tronco de cone (Slump test), previsto na ABNT NBR NM 67 (1998), com a frequência e a amostragem estabelecidas na ABNT NBR 12655 (2006), realizado logo após a mistura do concreto se este for produzido no local, ou assim que o concreto chega à obra, se o concreto for produzido em usina externa a obra, este ensaio é realizado antes da adição de fibras e ou aditivos superplastificantes, quando forem utilizados.



**Figura 4.19:Realização de ensaio de abatimento de tronco de cone.**

**Fonte: UNIPAR, 2015.**

Para a utilização de concreto autoadensável, após a realização do Slump, e conseguinte adição dos aditivos superplastificantes, é realizado o ensaio de espalhamento, ou *Slump Flow*, conforme ABNT NBR 15823 (2010), onde é medido o espalhamento do concreto, sendo considerado satisfatório um espalhamento de 60 a 75 cm, e a homogeneidade do concreto.



(a)



(b)



(c)

**Figura 4.20:Sequencia de realização do ensaio de Espalhamento ou Slump Flow.**

**Fonte: ABCP et al, 2008, p. 149**

Demais teste devem ser realizados em função do tipo de concreto utilizado, como por exemplo os ensaios para determinar a massa específica do concreto e ou o teor de ar incorporado no mesmo, segundo ABNT NBR 9833 (2008) para os tipo celular ( L1), com agregado leve (L2), e aerado (M) (ABCP et al, 2008).



**Figura 4.21: Ensaio para recebimento de concreto fresco: (a) Ensaio de determinação de teor de ar incorporado, (b) ensaio de determinação de massa específica do concreto.**

**Fonte: Fonte: ABCP et al, 2008, p. 149**

Após a aceitação do concreto, é iniciada a concretagem e a partir do terço médio do volume de concreto fornecido é realizada a coleta de um volume de concreto para a moldagem de corpos de prova cilíndricos, conforme prescrição da ABNT NBR 5738 (2003) (ABCP *et al.*, 2008).

- **Controle de aceitação do concreto no estado endurecido:**

Segundo a ABNT NBR 16055 (2012) o controle de aceitação do concreto no estado endurecido de ser realizado conforme a ABNT NBR 12655 (2006), sendo comprovado os requisitos estabelecidos em projeto, no mínimo, pela comprovação do ensaio de resistência a compressão do concreto, a resistência na idade de desforma, especificada em projeto, e a resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ), aos 28 de idade, considerando a divisão da estrutura em lotes.

Complementarmente podem ser requeridos ensaios de caracterização como, determinação do módulo de elasticidade tangente inicial a idade de controle e com a carga determinada pelo projetista, conforma ABNT NBR 8522 (2008), coeficiente de retração na idade de controle conforme a ASTM C 157 (2014), resistência a tração pela compressão diametral conforme ABNT NBR 7222 (2010), entre outros conforme requisição de projeto.





(a)



(b)

Figura 4.22: Ensaio de aceitação do concreto endurecido, (a) Ensaio de resistência à compressão de concreto, (b) ensaio de resistência a tração por compressão diametral.

Fonte: Laboratório de estruturas e materiais estruturais USP.

#### 4.3.4.6 Acabamento:

Segundo a ABNT NBR 16055 (2012), a fim de obter uma superfície durável e uniforme de concreto, processos adequados devem ser cuidadosamente seguidos, a fim de evitar falhas e possíveis retrabalhos.

A escolha do traço e consistência do concreto deve atender aos requisitos de projeto da estrutura e as condições de trabalhabilidade necessárias a sua execução. Os processos de lançamento e adensamento, realizados de modo a obter um material homogêneo e compacto, com o mínimo de manuseio possível, de modo a não apresentar vazios na massa de concreto (ABNT NBR 16055, 2012, p. 34).

Deve ser evitada a vibração excessiva do concreto, a fim de combater a segregação do material e a migração de finos e água para a superfície, exsudação, e as bolhas superficiais, formadas pelo acúmulo de água de ar nas proximidades dos painéis devido à pressão exercida pela massa de concreto e da dificuldade de eliminação destes devido a sua viscosidade (Geyer, 1995, p. 13 -27).

#### **4.3.4.7 Cura:**

Enquanto não atingir endurecimento satisfatório, o concreto deve ser curado e protegido contra os agentes prejudiciais como mudanças bruscas de temperatura, vento, águas torrenciais, agentes químicos, choques e vibrações excessivas, dentre outros, de modo a evitar a perda de água pela superfície exposta, assegurar uma superfície com resistência adequada, e a formação de uma camada superficial durável (ABNT NBR 16055 (2012), p. 35).

O processo de cura envolve alguns cuidados específicos, sendo importante seguir a ABNT NBR 14931 (2004), de modo a evitar sua secagem prematura, pelo menos nos primeiros sete dias, sendo necessário manter a sua superfície umedecida, por meio da utilização de um processo de molhagem das peças, ou devido a sua proteção por uma película impermeável, ou agentes de cura, desde que estes não prejudiquem a aderência da peça com o revestimento previsto (ABCP et al., 2008).

A cura do concreto do concreto deve sempre ser executada, sendo seu início previsto logo após a retirada das fôrmas, e em caso de lajes, após o acabamento do concreto, evitando a perda de água superficial, e conseqüentes efeitos devidos a retração hidráulica, possibilitando que este desenvolva resistência e durabilidade adequadas. Recomenda-se que a cura seja realizada o mais cedo possível devido a grande área de exposição das paredes e minimizando a possibilidade de ocorrência de fissuras superficiais (ABNT NBR 16055, 2012, p. 35).

#### **4.3.4.8 Recebimento e aceitação das paredes de concreto:**

O recebimento das paredes de concreto deve ser aceito desde esteja em acordo com as exigências de documentação do projeto de estruturas de paredes de concreto, e documentação e qualidade da estrutura de paredes de concreto estabelecidas na ABNT NBR 16055 (2012).

#### **4.3.4.9 Riscos de não conformidade:**

Segundo a ABCP *et al.*, (2008), as conformidades em relação as normas técnicas devem ser identificadas claramente por meio do controle tecnológico do concreto sendo elas;

- **Trabalhabilidade inadequada:**

O concreto de obedecer claramente as especificações previstas, sendo em casos de concretos com baixa trabalhabilidade, permitido o ajuste conforme ABNT NBR 7212 (2012). Para concretos com plasticidade superior ao especificado, a trabalhabilidade deve ser medida novamente, e em caso de confirmação o concreto deve ser rejeitado.

- **Resistência inferior à especificada em projeto:**

Certificar que o concreto atingiu a resistência prevista em projeto, e restringir as áreas onde o concreto não atingiu a resistência especificada, podendo ser esta a resistência para a desforma ou a resistência característica, especificadas por meio dos ensaios do corpos de prova moldados no local.

Em casos de não conformidade quanto a resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ), recomenda-se a avaliação da dureza superficial, ABNT NBR 7584 (2012), e testemunho de estruturas de concreto ABNT NBR 7680 (2015), a fim de verificar o comportamento da estrutura.

- **Massa especifica diferente da especificada:**

Se o concreto recebido possuir massa especifica inferior à projetada, sua resistência à compressão estará comprometida, é em casos onde sua massa especifica for superior ao estabelecido, seu desempenho termoacústico é influenciado, assim como as cargas transmitidas às fundações tem um aumento significativo, devendo o concreto ser rejeitado em ambos os casos.

- **Teor de ar incorporado diferente da especificação:**

Esta situação é similar aos requisitos quanto a massa específica, pois um teor de ar incorporado superior ao especificado compromete a resistência a compressão do concreto e sua durabilidade, e um teor de ar incorporado menor, afeta em seu desempenho termoacústico, além das cargas transmitidas as fundações.

- **Cura insuficiente ou mal executada:**

Quando esta etapa não é executada corretamente, os efeitos de superfície, como a retração hidráulica, prejudicam sensivelmente as propriedades do concreto endurecido pois a fissuração gerada ocasiona uma diminuição tanto da resistência da peça quanto da durabilidade da mesma, devendo ser analisada e conforme critérios da ABNT NBR 15575 (2013), ser reparada ou rejeitada.

#### **4.4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO SISTEMA**

De acordo com a ABNT NBR 15575-1 (2013), a avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou processo construtivo destinado a atender uma função independente da solução técnica adotada, devendo este atingir pelo menos os critérios mínimos de desempenho (M), para os requisitos do usuário conforme os seguintes fatores:

- **Segurança:**

- Segurança estrutural;
- Segurança contra incêndio e pânico;
- Segurança no uso e na operação.

- **Habitabilidade:**

- Estanqueidade;
- Desempenho térmico;
- Desempenho acústico;

- Desempenho lumínico;
  - Saúde, higiene e qualidade do ar;
  - Funcionabilidade e acessibilidade;
  - Conforto tátil antropodinâmico.
- **Sustentabilidade:**
    - Durabilidade;
    - Manutenibilidade;
    - Impacto ambiental.

#### **4.4.1 SEGURANÇA ESTRUTURAL**

Segundo a ABNT NBR 15575 (2013), a segurança estrutural, durante a vida útil de projeto (VUP), sob as diversas ações atuantes e condições de exposição, deve atender aos seguintes requisitos gerais:

- Não ruir ou perder a estabilidade de qualquer de suas partes;
- Prover segurança aos usuários sob ação de impactos, choques, vibrações e outras solicitações decorrentes da utilização normal da edificação, previsíveis na época de projeto;
- Não provocar situações de insegurança aos usuários devido a deformações de quaisquer elementos da edificação, desde que as deformações se mantenham dentro dos limites estabelecidos segundo as normas técnicas vigentes;
- Não repercutir em estados inaceitáveis de fissuras em sistemas estruturais, de vedação e acabamentos;
- Não prejudicar a manobra normal de partes móveis, como portas e janelas, ou o funcionamento normal das instalações em face das deformações dos elementos estruturais;

- Atender às disposições previstas das ABNT NBR 5629 (2006), ABNT NBR 11682 (1991) e ABNT NBR 6122 (2010) relativas às interações com o solo e com o entorno da edificação.

De acordo com a DIRETRIZ SINAT (Nº 001, REV. 02, 2011), o sistema estrutural de paredes de concreto não se enquadra totalmente ao conceito estrutural da ABNT NBR 6118 (2014), devendo obedecer conjuntamente a esta, às exigências contempladas na ABNT NBR 16055 (2012), devendo as premissas de projeto levar em consideração as solicitações, atendendo a verificação dos estados limites de últimos e estados limite de utilização, considerando a resistência mecânica dos materiais, componentes e as solicitações características de acordo com as normas técnicas vigentes, simulando através de modelos matemáticos e ou físicos as possíveis situações de ruína por perda da capacidade portante da estrutura, ou por instabilidades.

#### **4.4.1.1 Estabilidade e resistência do sistema estrutural e demais elementos com função estrutural**

A ABNT NBR 16055 (2012), preconiza que uma estrutura em parede de concreto deve ser projetada e construída de modo que, resista a todas as ações que produzam efeitos significativos, tanto em etapa construtiva, quanto durante a sua utilização, conservando sob as condições ambientais, preconizados em projeto, sua segurança e estabilidade, durante o período correspondente à sua vida útil.

Segundo a ABNT NBR 15575-2 (2013), as condições de desempenho devem ser comprovadas analiticamente, demonstrando o atendimento ao estado-limite ultimo, com as combinações de ações respeitando as normas técnicas vigentes.

Como referido previamente para o dimensionamento de paredes de concreto moldadas no local, são utilizadas conjuntamente a ABNT NBR 6118 (2014), e a ABNT NBR 16055 (2013),

devendo em caso de conflito entre elas, a utilização do critério mais rigoroso de modo a contemplar ambas na etapa de projeto e assim garantir a segurança em favor de ambas.

A ABCP *et al.* (2008), afirma que o sistema de paredes de concreto contempla o estabelecido na norma de desempenho de edificações habitacionais, devido ao seu dimensionamento, segundo os conceitos das normas brasileiras, complementado por normas europeias e americanas, avaliando as premissas de projeto que levam em conta tanto as solicitações, quanto a verificação de estados limites últimos e de utilização, das estruturas dimensionadas como painéis, apresentando deformações muito inferiores aos processos convencionais, comprovado pela sua larga utilização, em edificações de múltiplos pavimentos, durante muito tempo ao redor do mundo, cabendo assim ao projetista adotar o melhor modelo de cálculo para implementação do sistema.

#### **4.4.1.2 Deformações ou estados de fissura do sistema estrutural**

De acordo com a ABNT NBR 15575 (2013) a edificação não deve apresentar deslocamentos ou fissuras excessivas aos elementos de construção vinculados ao sistema estrutural, considerando as combinações de ações permanentes e de utilização, permitindo o livre funcionamento de elementos componentes da edificação, como portas e janelas, e sem repercutir no funcionamento das instalações.

Sob a ação de cargas gravitacionais, temperatura, vento, recalques diferenciais das fundações ou quaisquer outras solicitações passíveis de ocorrência na edificação os componentes estruturais não podem apresentar, deslocamentos maiores que os estabelecidos nas normas de projeto específicas ou nas tabela 1, 2 e 3 apresentadas a seguir (ABNT NBR 15575-2, 2013).

**Tabela 4.1: Deslocamentos limites para cargas acidentais em geral**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 62.

Razão da limitação	Elemento	Deslocamento-limite	Tipo de deslocamento
Visual / insegurança psicológica	Pilares, paredes, vigas, lajes (componentes visíveis)	L/250 ou H/300 <sup>(1)</sup>	Deslocamento final incluindo fluência (carga total)
Destacamentos, fissuras em vedações ou acabamentos, falhas na operação de caixilhos e instalações	Caixilhos, instalações, vedações e acabamentos rígidos (pisos, forros, etc.)	L/800	Parcela da flecha ocorrida após a instalação da carga correspondente ao elemento em análise (parede, piso, etc.)
	Divisórias leves, acabamentos flexíveis (pisos, forros etc.)	L/600	
Destacamentos e fissuras em vedações	Paredes e/ou acabamentos rígidos	L/500 ou H/500 <sup>(1)</sup>	Distorção horizontal ou vertical provocada por variações de temperatura ou ação do vento, distorção angular devida ao recalque de fundações (deslocamentos totais)
	Paredes e acabamentos flexíveis	L/400 ou H/400 <sup>(1)</sup>	
<p>H - É a altura do elemento estrutural.                      L - É o vão teórico do elemento estrutural.  <sup>(1)</sup> - Para qualquer tipo de solicitação, o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício deve ser limitado a <math>H_{total}/500</math> ou 3 cm, respeitando-se o menor dos dois limites.                      Nota - Não podem ser aceitas falhas, a menos aquelas que estejam dentro dos limites previstos nas normas prescritivas específicas.</p>			

**Tabela 4.2: Flechas máximas para vigas e lajes - cargas gravitacionais permanentes e acidentais.**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 62.

Parcela de carga permanente sobre vigas e lajes		Flecha imediata <sup>(1)</sup>			Flecha final (total) <sup>(3)</sup>
		$S_{gk}$	$S_{qk}$	$S_{gk} + 0,7 S_{qk}$	$S_{gk} + 0,7 S_{qk}$
Paredes monolíticas, em alvenaria ou painéis unidos ou rejuntados com material rígido	Com aberturas <sup>(2)</sup>	L/1 000	L/2 800	L/800	L/400
	Sem aberturas	L/750	L/2 100	L/600	L/340
Paredes em painéis com juntas flexíveis, divisórias leves, gesso acartonado	Com aberturas <sup>(2)</sup>	L/1 050	L/1 700	L/730	L/330
	Sem aberturas	L/850	L/1 400	L/600	L/300
Pisos	Constituídos e/ou revestidos com material rígido	L/700	L/1 500	L/530	L/320
	Constituídos e/ou revestidos com material flexível	L/750	L/1 200	L/520	L/280
Forros	Constituídos e/ou revestidos com material rígido	L/600	L/1 700	L/480	L/300
	Forros falsos e/ou revestidos com material flexível	L/560	L/1 600	L/450	L/260
Laje de cobertura impermeabilizada, com inclinação $i \geq 2\%$		L/850	L/1 400	L/600	L/320
Vigas calha com inclinação $i > 2\%$		L/750	-	-	L/300
<p>L - É o vão teórico.  <sup>(1)</sup> - Para vigas e lajes em balanço, são permitidos deslocamentos correspondentes a 1,5 vez os respectivos valores indicados.  <sup>(2)</sup> - No caso do emprego de dispositivos e detalhes construtivos que absorvam as tensões concentradas no contorno das aberturas das portas e janelas, as paredes podem ser consideradas "sem aberturas".  <sup>(3)</sup> - Para a verificação dos deslocamentos na flecha final, reduzir a rigidez dos elementos analisados pela metade.</p>					

**Tabela 4.3: Critérios e níveis de desempenho quanto ao deslocamento e ocorrência de falhas sobe ação de cargas de serviço.**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 64.



Elemento	Solicitação	Critério
SVVE com função estrutural	Cargas verticais: $S_d = S_{gk} + 0,7 S_{qk} + S_{wk}$ (desconsiderar $S_{wk}$ no caso de alívio da compressão)	Não ocorrência de falhas; Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/500$ $d_{hr} \leq h/2\ 500$
SVVE com ou sem função estrutural	Cargas permanentes e deformações impostas $S_d = S_{gk} + S_{ek}$	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 <sup>(b)</sup> : $d_h \leq h/500$ (SVVE com função estrutural); $d_{hr} \leq h/2\ 500$ (SVVE com função estrutural); $d_h \leq h/350$ (SVVE com função de vedação); $d_{hr} \leq h/1\ 750$ (SVVE com função de vedação). Entende-se neste critério como SVVE as paredes de fachada
<sup>(a)</sup> - No caso de ensaios de tipo considerar $S_d = S_{gk} + 0,8 S_{wk}$ . <sup>(b)</sup> - Para paredes de fachada leves ( $G \leq 60\text{ Kg/m}^2$ ), sem função estrutural, os valores de deslocamento instantâneo <sup>(dh)</sup> - 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 às cargas permanentes; $S_{ek}$ é o valor característico da solicitação devido à deformação específica do material; $S_{qk}$ é o valor característico da solicitação devido às cargas acidentais ou sobrecargas de uso; $S_{wk}$ é o valor característico da solicitação devido ao vento.		

Quanto ao referido na ABNT NBR 16055 (2013), se estabelece que os limites para as situações de serviços, com exceção a ensaios específicos, deve seguir as exigências estabelecidas na ABNT NBR 6118 (2014), para aceitação de deslocamentos referentes aos estados de serviços, segundo sua utilização, estabelecendo seus limites conforme a tabela 4 a seguir.

**Tabela 4.4: Limites para deslocamentos segundo a ABNT NBR 6118, 2014.**

Fonte: ABNT NBR 6118, 2014, p. 77-78.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento-limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$l/250^a$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$l/350+$ contraflecha <sup>b</sup>
			Ocorrido após a construção do piso	$l/600$
Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento	

Podemos observar que ambas as normas limitam os deslocamentos de componentes estruturais a  $L/250$  sendo, L o comprimento teórico do elemento estrutural.

Quanto ao desaprumo a ABNT NBR 15575 (2013), adota que para qualquer tipo de edificação o desaprumo ou deslocamento horizontal deve ser limitado a  $H_{total} / 500$ , ou a no máximo 3 cm, respeitando-se o menor dos limites, quanto a ABNT NBR 16055 (2012), limita o desaprumo individual de cada parede ( $T_h$ ), como  $L/500$  ou 5 mm, e em relação ao desaprumo global para edificações de múltiplos pavimentos através de um ângulo  $\theta$  definido conforme a equação 4.1

$$\theta = \frac{1}{170\sqrt{H}} \quad (4.1)$$

Onde:  $\theta$  é o ângulo de desaprumo, expresso em radianos (rad);

H é a altura da edificação, expressa em metros (m).

Quanto ao desaprumo vertical das paredes, a ABNT NBR 16055 (2012), adota que a tolerância individual para cada pavimento deve ser menor ou igual a  $h/500$  ou 5 mm, adotando-se o menor valor obtido, e a tolerância cumulativa para o desaprumo ( $T_{VT}$ ) deve ser menor que 10 mm, sendo h a altura do pavimento, expressa em milímetros.

Assim o desaprumo para edificações habitacionais em sistemas de paredes de concreto moldadas no local fica atribuído ao menor dos 3 critérios previamente expostos atendendo ao assim ao nível de desempenho mínimo (M) conforme ABNT NBR 15575 (2013).

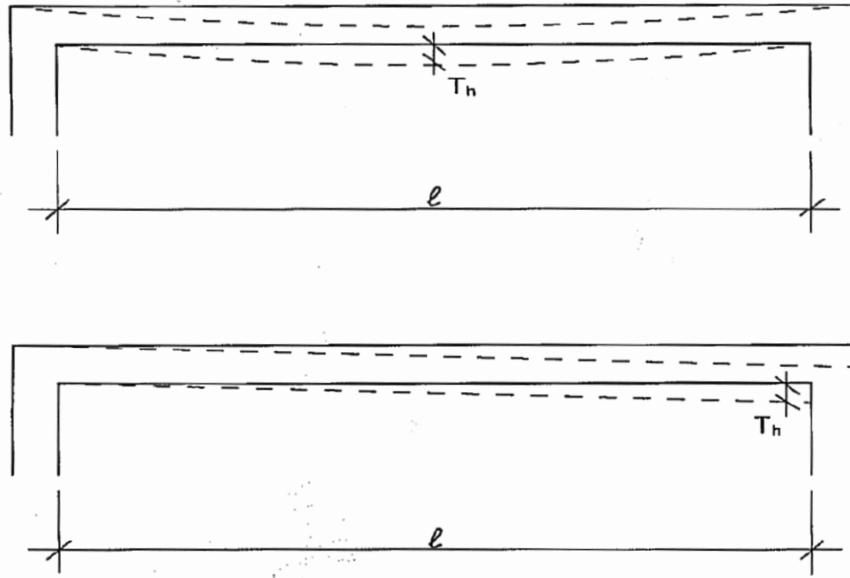


Figura 4.23: Tolerância para desvios horizontais.

Fonte: ABNT NBR 16055, 2012, p. 29.

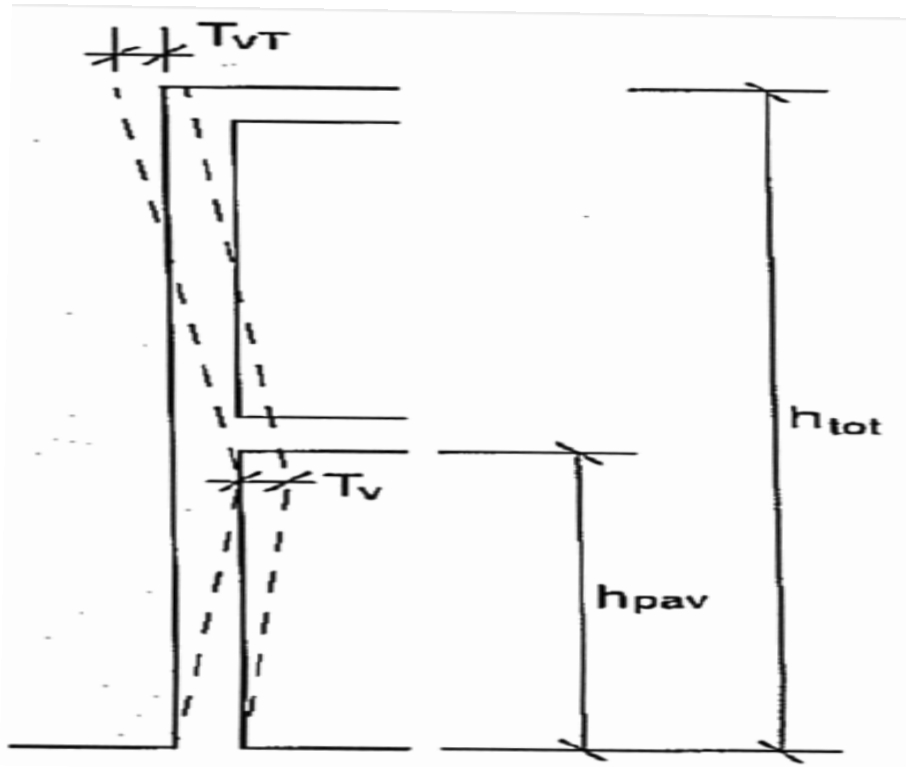


Figura 4.24: Tolerância para desvios verticais.

Fonte: ABNT NBR 16055, 2012, p. 29.

#### 4.4.1.3 Critérios de desempenho para resistência a impactos de corpo mole:

Sob ação de impactos de corpo mole, os componentes da estrutura não devem sofrer ruptura ou instabilidade, sendo tolerada a ocorrência de fissuras, escamações, delaminações e outros danos em impactos de segurança, respeitados os limites para deformações instantâneas e residuais dos componentes, não causando ainda danos a quaisquer outros componentes acoplados aos componentes sob ensaio. (DIRETRIZ SINAT, N°001, Revisão 02, 2011).

Assim especificado os critérios de desempenho para os sistemas de vedação internos e externos (SVVIE), segundo a ação de carregamentos progressivos de acordo com as tabelas 4.5 e 4.6.

**Tabela 4.5: Desempenho sob impacto de corpo mole de elementos estruturais e vedações verticais externas com função estrutural – impactos externos em pavimentos acessíveis ao público (de fora para dentro) e impactos internos para todos os pavimentos.**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 66.

Impacto	Energia de impacto de corpo mole (J)	Critérios de desempenho	
Impacto externo (local com acesso externo do público, em geral andar térreo, impactos de fora p/dentro)	960	Paredes	Pilares e vigas – Níveis I, S
	720	Pilares e vigas - Nível M	
	480	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)	
	360		
	240	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1\ 250$ para pilares e paredes, sendo h a altura do pilar ou da parede $d_h \leq L/200$ e $d_{hr} \leq L/1\ 000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga	
	180	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)	
	120		
Impacto na face interna da parede ou do componente estrutural (todos os pavimentos)	480	Não ocorrência de ruína nem o traspasse da parede pelo corpo percussor de impacto (estado-limite último)	
	240	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço) Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h \leq h/250$ e $d_{hr} \leq h/1\ 250$ para pilares e paredes, sendo h a altura do pilar ou da parede $d_h \leq L/200$ e $d_{hr} \leq L/1\ 000$ para vigas, sendo L o vão teórico da viga.	
	180		
	120		

**Tabela 4.6: Impacto de corpo mole para vedações verticais internas.**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 69.

Elemento	Energia de impacto de corpo mole J	Crerios de desempenho
Vedações com função estrutural	360	Não ocorrência de ruína (estado-limite último)
	240	São permitidas falhas localizadas
	180	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)
	120	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço). Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/250$ ; $d_{hr} < h/1\ 250$
	60	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço)
Vedações sem função estrutural	120	Não ocorrência de ruína (estado-limite último) São permitidas falhas localizadas
	60	Não ocorrência de falhas (estado-limite de serviço). Limitação da ocorrência de deslocamento: $d_h < h/125^a$ $d_{hr} < h/625$
<sup>a</sup> - 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. Vedações sem função estrutural que não excedam os deslocamentos acima para impactos de 120 J e que não rompam com impactos de 180J correspondem ao Nível I. Suportando 240J correspondem a desempenho Nível S.		

De acordo com a DIRETRIZ SINAT (Nº001, Rev. 02, 2011), considera-se que para efeito de avaliação técnica, que para as paredes de concreto armado, com utilização de concreto com peso específico comum (massa específica da ordem de  $2300\text{ kg/m}^3$  e  $f_{ck} \geq 20\text{ MPa}$ ), e concreto com ar incorporado (massa específica da ordem  $1900\text{ kg/m}^3$  e  $f_{ck} \geq 14\text{ MPa}$ ), dimensionadas de acordo com a ABNT NBR 6118 (2014), e com espessura mínima de 10 cm atendem aos critérios relativos a impactos de corpo mole.

A ABCP *et al* (2008), alega o atendimento aos requisitos nos ensaios de corpo mole, das paredes de concreto moldadas no local em diferentes configurações de utilização sendo os ensaios realizados utilizando configurações com e sem lajes, assim como com portas e com janelas, mostrando que o sistema se mostra eficiente na absorção dos impactos de choques de pessoas e objetos contra as paredes, segundo os seguintes ensaios.

- Concreto celular – CCE\_FURNAS-DCT.T.15.005.2003-R1 – Anexo D (Intec-PUC-PR) – Não apresentou fissuras até 960 J.
- Concreto normal ou autoadensável – DCT.C.15.003.2006-RO – item 5.1.1.1 - Não apresentou fissuras até 960 J.

- Concreto com agregados leves – FPTE 0826/2005 – item 2.1.1 - Não apresentou fissuras até 960 J.

Conforme apresentado o sistema de paredes de concreto atende ao requisito mínimo de desempenho (M), indicado na ABNT NBR 15575-4 (2013), pois suporta o carregamento estipulado sem ocorrência de falhas.

#### 4.4.1.4 Critérios de desempenho para resistência a impactos de corpo duro

A ABNT NBR 15575-4 (2013), estipula que os sistemas de vedação sob a ação de impactos de corpo duro, não podem apresentar fissuras, escamações, delaminações ou qualquer outro tipo de dano (impactos de utilização), sendo permitidas mossas localizadas, para os impactos de corpo duro indicado nas tabelas 4.7 e 4.8, e não apresentar ruptura ou traspassamento sob ação dos impactos nas tabelas. .

**Tabela 4.7: Impactos de corpo duro para vedações verticais externas (fachadas).**

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013, p. 17.

Sistema	Impacto	Energia de impacto de corpo duro J	Critérios de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	Impacto externo (acesso externo do público)	3,75	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
		20	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado-limite último)
	Impacto interno (todos os pavimentos)	2,5	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
		10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado-limite último)

**Tabela 4.8: Impactos de corpo duro para vedações verticais internas.**

Fonte: ABNT NBR 15575-4, 2013, p. 17.

Sistema	Energia de impacto de corpo duro J	Critérios de desempenho
Vedação vertical com ou sem função estrutural	2,5	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
	10	Não ocorrência de ruína, caracterizada por ruptura ou traspassamento (estado-limite último)

De acordo com a ABCP *et al* (2008), o sistema estrutural em paredes de concreto executadas no local, utilizando os concretos autoadensável, normal, celular e com agregados leves, obtiveram os seguintes resultados:

- Concreto normal e autoadensável - DCT.C.15.003.2006-R0 – item 5.1.1.2 - O sistema não apresentou ruína ou traspassamento, nem de falhas que impeçam o uso do sistema.
- Concreto celular - Anexo D (Intec-PUC-PR) – item 3.1.1 - O sistema não apresentou ruína ou traspassamento, nem de falhas que impeçam o uso do sistema.
- Concreto com agregados leves - FPTE 0826/2005 – item 4.2.2 – O sistema não apresentou ruína ou traspassamento, nem de falhas que impeçam o uso do sistema.

Conforme os resultados apresentados o sistema atinge o desempenho mínimo (M), requerido na ABNT NBR 15575-4 (2013), sendo relevante implicar que como o impacto de corpo duro, verifica a resistência localizada das paredes de concreto, quanto maior a resistência do concreto utilizado para a fabricação das vedações, melhores serão os resultados obtidos nos ensaios de resistência a carregamentos externos.

#### **4.4.1.5 Cargas transmitidas por peças suspensas**

As paredes externa e internas devem possuir a capacidade de resistir a fixação de peças suspensas (armários, prateleiras, lavatórios, hidrantes, quadros e outros) previstas no projeto, respeitando-se as recomendações e limitações definidas pelo fabricante. Sob ação de cargas aplicadas excêntrica em relação à face da parede ou cargas aplicadas faceando a superfície das paredes, não devem apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos ou residuais, lascamentos, rupturas ou quaisquer outros tipos de falhas, ou permitir o arranchamento dos dispositivos de fixação ou seu esmagamento segundo as tabelas 4.9 e 4.10.

**Tabela 4.9: Capacidade de suporte para peças suspensas**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 77

Carga de ensaio aplicada em cada ponto kN	Carga de ensaio aplicada na peça kN	Crítérios de desempenho	Nível de desempenho
0,4	0,8	Ocorrência de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	M
0,4	1,0	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	I
0,6	1,2	Não ocorrência de fissuras ou destacamentos. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ $d_{hr} < h/2\ 500$	S

Onde  
 $h$  é altura do elemento parede;  
 $d_h$  é o deslocamento horizontal;  
 $d_{hr}$  é o deslocamento residual.

**Tabela 4.10: Peças suspensas fixadas segundo especificações do fabricante ou do fornecedor**

Fonte: DIRETRIZ SINAT, N°001, Rev. 02, 2011, p. 16.

Carga de ensaio	Crítério de desempenho
Carregamentos especiais previstos conforme informações do fornecedor <sup>(1)</sup>	Não ocorrência de fissuras. Não ocorrência de destacamento dos dispositivos de fixação. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ ; $d_{hr} < h/2500$
Carga de 2 kN, aplicada em ângulo de 60° em relação à face da vedação vertical <sup>(2)</sup>	Não ocorrência de fissuras, destacamentos ou rupturas do sistema de fixação. Coeficiente de segurança à ruptura mínimo igual dois, para ensaios de curta duração.

<sup>(1)</sup> A carga de ruptura deve ser três vezes maior que a carga de uso.  
<sup>(2)</sup> Exemplo: rede de dormir.

A DIRETRIZ SINAT (N°001, Rev. 02, 2011), considera que para efeitos de avaliação técnica, as paredes de concreto armado com emprego de concreto comum (massa específica da ordem de 2300 kg/m<sup>3</sup> e  $f_{ck} \geq 20$  MPa), ou com emprego de concreto com ar incorporado (massa específica da ordem de 1900 kg/m<sup>3</sup> e  $f_{ck} \geq 14$  MPa) desde que atendam os critérios de armadura mínima de acordo com a ABNT NBR 16055 (2012), com espessuras mínima de 10 cm, atendem aos critérios relativos por peças suspensas para as paredes. Porém a diretriz adotou critérios de diferentes da ABNT NBR 15575-4 (2013), pois as cargas de uso aplicada



em cada ponto e carga de ensaio aplicada em cada peça adotadas pelo SINAT, são os carregamentos propostos pela ABNT NBR 15575 (2010), que sofreram sensível alteração se comparados com os propostos pela ABNT NBR 15575 (2013), como pode ser observado na tabela 4.11.

**Tabela 4.11: Capacidade de suporte para peças suspensas**

Fonte: DIRETRIZ SINAT, N°001, Rev. 02, p. 16, (2011).

Carga de uso aplicada em cada ponto	Carga de ensaio aplicada em cada peça	Critérios de desempenho
0,2 kN	0,4 kN	Ocorrência de fissuras toleráveis. Limitação dos deslocamentos horizontais: $d_h < h/500$ ; $d_{hr} < h/2500$
Onde: $h$ é altura do elemento parede; $d_h$ é o deslocamento horizontal; $d_{hr}$ é o deslocamento residual.		

Como pode ser observado ao se comparar as tabelas 4.9 e 4.11, que os carregamentos considerados pela SINAT, não podem ser adotados segundo os novos parâmetros de desempenho segundo os critérios de cargas transmitidas por peças suspensas. Similarmente a ABCP *et al* (2008), caracteriza que o sistema paredes de concreto utilizando concreto comum (massa específica da ordem de  $2300 \text{ kg/m}^3$  e  $f_{ck} \geq 20 \text{ MPa}$ ), atende aos critérios estabelecidos previamente, e logo estes devem ser revisados a fim de estabelecermos que o sistema atinge os requisitos mínimos de desempenho (M) referentes a este item.

#### **4.4.1.6 Solicitações transmitidas por portas para as paredes:**

As vedações devem atender aos critérios especificados na ABNT NBR 15575-4 (2013), devendo permitir o acoplamento de portas apresentando desempenho compatível com as seguintes condições:

- Quando as portas forem submetidas a dez operações de fechamento brusco, as paredes não podem apresentar falhas, como rupturas, fissuras, 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 da porta, não pode ocorrer arrancamento do marco, nem ruptura ou perda de estabilidade da parede. É permitida, no contorno do marco, a ocorrência de danos localizados, como fissuras e estilhaçamentos.

Segundo a ABCP *et al* (2008), As paredes de concreto se mostram muito resistentes, absorvendo totalmente o impacto das portas, desde que a ligação entre batente e paredes seja corretamente executada, conforme o ensaio realizado para concreto comum ou autoadensável e concreto com agregados leves, segundo as referencias de ensaio a seguir:

- Concreto comum e autoadensável – DCT.C.15.003.2006 – RO – item 5.1.2.3.1, sem ocorrência de falhas;
- Concreto com agregados leves – FPTE 0826/2005 – item 4,4 – sem ocorrência de falhas.
- Sob a ação de impacto de corpo mole no centro geométrico d folha da porta, o ensaio foi realizado para concretos comum ou autoadensável apresentando o seguinte resultado:
- Concreto comum ou autoadensável – DCT.C.15.003.2006-RO - item 5.1.2.3.2 – sem ocorrência de falhas.

#### **4.4.2 SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO**

Segundo a DIRETRIZ SINAT (Nº 001, Rev. 02, 2011), considerando a sequência de desenvolvimento de um incêndio e a segurança dos usuários referentes a segurança contra incêndios, a edificação como um todo deve oferecer os seguintes requisitos de desempenho:

- Dificultar a ocorrência do princípio de incêndio;
- Dificultar a ocorrência de inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio;
- Dispor de meios adequados para permitir a extinção do incêndio antes da ocorrência da inflamação generalizada no ambiente de origem do incêndio;
- Dificultar a propagação do incêndio no pavimento de origem do incêndio e entre pavimentos;
- Dispor de meio que facilitem a fuga dos usuários em situação de incêndio;
- Dificultar a propagação de incêndio para edifícios adjacentes;
- Não sofrer ruína parcial ou total dentro do prazo estabelecido de 30 min.;
- Apresentar condições que facilitem as operações de combate ao incêndio e resgate as vítimas.

Ainda de acordo com os requisitos para desempenho em situações de incêndio, a DIRETRIZ SINAT (Nº 001, Rev. 02, 2011), resume que para a análise de elementos e sistemas construtivos, os requisitos necessários estabelecidos pela ABNT NBR 15575-1 (2013), são os referentes a reação ao fogo dos materiais de acabamento de pisos, tetos e paredes e a resistência ao fogo dos elementos construtivos, particularmente dos elementos estruturais e de compartimentação.

#### **4.4.2.1 Dificultar o princípio de incêndio**

Para a análise deste requisito devem ser considerados, as premissas adotadas em projeto e na execução da edificação, sendo necessária a verificação dos seguintes itens:

- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas;
- Proteção contra risco de ignição nas instalações elétricas;
- Proteção contra risco de vazamento nas instalações de gás;

Sendo a análise do atendimento ao desempenho, referida a comprovação de eficiência dos critérios abordados anteriormente, pela análise de projeto ou por inspeção em protótipo.

#### 4.4.2.2 Dificultar a inflamação generalizada

O sistema deve atender ao critério de propagação superficial de chamas, dificultando 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 de acordo com a ABNT NBR 15575-1 (2013).

Para isso a ABNT NBR 15575-4 (2013), define critérios de avaliação da reação ao fogo dos sistemas de vedações de acordo com a classificação dos materiais segundo o método da ABNT 9442 (1988), ou com base no método En 13823 (2010) de acordo com as tabelas 4.12 e 4.13.

**Tabela 4.12: Classificação dos materiais tendo como base o método ABNT NBR 9442.**

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 95

Classe		Método de ensaio		
		ISO 1182	ABNT NBR 9442	ASTM E662
I		Incombustível $\Delta T \leq 30 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $\Delta m \leq 50 \%$ ; $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	$D_m \leq 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	$D_m \leq 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	$D_m \leq 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	$D_m \leq 450$
VI		Combustível	$l_p > 400$	-
Notas $l_p$ – Índice de propagação superficial de chama. $D_m$ – Densidade específica óptica máxima de fumaça. $\Delta m$ – Variação da massa do corpo de prova. $t_f$ – Tempo de flamejamento do corpo de prova. $\Delta T$ – Variação da temperatura no interior do forno.				

Tabela 4.13: Classificação dos materiais tendo como base o método EN 13823.

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 96.

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

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.

Segundo a ABNT NBR 15575-4 (2013), as superfícies internas das vedações verticais externas, bem como ambas as superfícies das vedações verticais internas devem classificar-se como:

- I, II A ou III A, quando estiverem associados a espaços de cozinha;
- I, II A, III A ou IV A, quando estiverem associados a outros locais internos da habitação, exceto cozinhas;
- I, II A, quando estiverem associadas a locais de uso comum da edificação;

- I, II A, quando estiverem associadas ao interior das escadas, porém com Dm inferior a 100.

Sendo os materiais empregados no centro das paredes (miolo), devem ser classificados como I, II A ou III A.

Conforme DIRETRIZ SINAT (Nº 001, Rev. 02, 2011), para as paredes estruturais de concreto armado, se os acabamentos internos forem constituídos do próprio concreto, ou revestidos com gesso liso ou massa corrida e pintados são considerados incombustíveis, caso outros materiais de acabamento sejam utilizados devem apresentar índices de propagação de chamas compatíveis para a aceitação do sistema em relação a inflamação generalizada.

#### **4.4.2.3 Dificultar a propagação do incêndio**

A edificação deve dificultar a propagação de incêndios para as unidades contíguas e atender aos critérios de isolamento de risco à distancia e por proteção e assegurar estanqueidade e isolamento, (DIRETRIZ SINAT, Nº 001, Rev. 02, 2011).

Caso não seja possível o atendimento ao critério de isolamento de risco à distancia ou proteção, a edificação não é considerada independente e os critérios de dimensionamento das medidas de proteção contra incêndio devem ser realizados, considerando o conjunto de edificações como uma única unidade, (ABNT NBR 15575-1, 2013).

De acordo com a DIRETRIZ SINAT (Nº 001, Rev. 02, 2011), para efeito de avaliação técnica, o sistema de paredes de concreto moldadas no local, destinado a produção de casas térreas geminadas, sobrados geminados ou casas sobrepostas com emprego de concreto com ar incorporado, desde que possua paredes de espessura mínima de 10 cm e respeite o critério de dimensionamento de armadura mínima, atende ao exposto neste item. E ainda para emprego de edificações de até cinco pavimentos utilizando concreto comum ou autoadensável, desde

que respeite os critérios de dimensionamento de armadura mínima e as paredes possuam espessura mínima de 10 cm, atende aos requisitos estabelecidos neste item.

#### **4.4.2.4 Minimizar o risco de colapso estrutural:**

Deve-se garantir a estabilidade da estrutura por um tempo requerido de resistência ao fogo, minimizando o risco de colapso estrutural da edificação em situação de incêndio, de forma a cumprir com as exigências estabelecidas na ABNT NBR 14432 (2001). As paredes estruturais de edifícios de até cinco pavimentos e de casas sobrepostas, bem como as paredes estruturais de geminação de casas térreas e de sobrados devem apresentar resistência ao fogo por um período mínimo de 30 minutos, (DIRETRIZ SINAT, Nº 001, Rev. 02, 2011).

Segundo a ABCP *et al* (2008), o sistemas de paredes de concreto é um dos melhores para a segurança contra incêndio, pois é composto por material incombustível e de baixa transmissão de calor atendendo as especificações segundo o ensaio a seguir.

Concreto comum ou autoadensável - DCT.C.15.003.2006-R0 – item 5.3.2 – ASTM E119

Temperatura na face não exposta (item 5.3.2.1.4) – atende à ABNT NBR 15575 (2013).

Resistente ao fogo por 125 min – atende à Norma.

Durabilidade após 10 ciclos – atende à Norma.

#### **4.4.3 SEGURANÇA NO USO E NA OPERAÇÃO**

A segurança no uso e na operação dos sistemas e componentes da edificação habitacional deve ser considerada em projeto, especialmente no que diz respeito à presença de agentes agressivos (CBIC, 2013).

De acordo com a DIRETRIZ SINAT, (Nº 001, Rev. 02, 2011), de uma forma geral os requisitos e critérios de desempenho devem assegurar a segurança dos usuários na utilização da edificação executada com o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas no local, avaliando-se:

- Possibilidades de ocorrência de falhas que possam colocar em risco a integridade física do usuário do edifício e eventualmente de terceiros;
- Existência de partes expostas cortantes ou perfurantes que possam colocar em risco a integridade física dos usuários da edificação, e eventualmente de terceiros;
- Possibilidade de ocorrência de falhas que possam comprometer o aspecto psicológico do usuário;
- Possibilidades de deformações e defeitos das paredes de concreto acima dos limites especificados nas referencias normativas.

Por isso na fase de construção o sistema de formas e acessórios devem prever dispositivos de tal forma a minimizar o risco de acidentes, acessos não controlados a locais com maiores riscos de quedas e outros ferimentos provocados por falhas na execução do sistema.

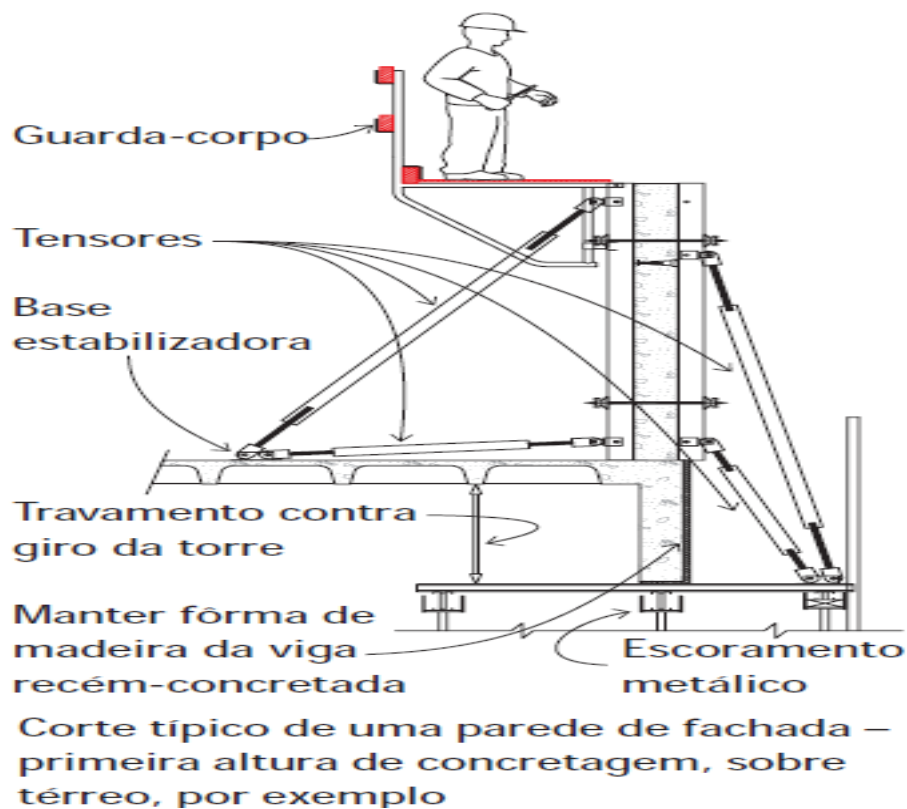


Figura 4.25: Orientação para montagem do sistema de formas.

Fonte: PANDOLFO (2007, p. 63)



Para o caso específico do sistema de paredes de concreto moldadas no local, considera-se que os critérios relativos à integridade física do usuário estejam atendidos, em razão da concepção e da correta execução do sistema construtivo, visto que as falhas e os deslocamentos acentuados, já estão sendo considerados na análise estrutural.

#### **4.4.4 ESTANQUEIDADE**

Como o sistema contempla as paredes como peças portantes e de vedação a análise da estanqueidade à água deve ser verificada, para elementos internos em áreas molháveis e sujeitos à ação de da água de uso e lavagem dos ambientes, e para elementos externos, sujeitos à ação da água de chuva e outras fontes. Sendo consideradas para a análise do sistema em questão as seguintes fontes de umidade, (DIRETRIZ SINAT, Nº 001, Rev. 02, 2011):

- **Externas:** Ascensão de umidade do solo pelas fundações e infiltração de água de chuva pelas fachadas, lajes expostas e coberturas;
- **Internas:** Água decorrente dos processos de uso e limpeza dos ambientes, vapor de água gerado nas atividades normais de uso, condensação de vapor de água e vazamentos de instalações.

A exposição do sistema a fontes de umidade deve ser considerado em projeto, que deve considerar as principais áreas de contato, e assim contemplar os detalhes construtivos necessários para atender aos requisitos estabelecidos na ABNT NBR 15575 (2013), considerando os sistemas de vedação, lajes e cobertura. Deve-se considerar se existe a possibilidade de ocorrência de fissuras generalizadas, problemas de estanqueidade nas juntas das paredes, entre outros podendo comprometer a integridade do sistema como um todo (DIRETRIZ SINAT, Nº 001, Rev. 02, 2011).

#### 4.4.4.1 Estanqueidade à água de chuva considerando a ação dos ventos em sistemas de vedações verticais externos:

Os sistemas de vedação vertical externa, incluindo a junção entre janelas e paredes, 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 nas tabelas 4.14 e 4.15.

**Tabela 4.14: Condições de ensaio de estanqueidade à água de sistemas de vedações verticais externas.**

Fonte: Guia CIBIC, 2013, p. 183

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

(\*) Conforme item 12.3.2, coberturas são ensaiadas com as mesmas pressões acima, todavia com a vazão de 4 litros / minuto / m<sup>2</sup>  
 Nota: Para edificações térreas, com beirais de no mínimo 0,50 m de projeção, a pressão estática do ensaio pode ser reduzida de 10 Pa nas regiões II a V

**Tabela 4.15: Estanqueidade à água de vedações externas (fachadas) e esquadrias.**

Fonte: Guia CIBIC, 2013, p. 183

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	Nível de desempenho
Térrea (somente a parede de vedação)	7	10	M
		Sem manchas	I; S
Com mais de um pavimento (somente a parede de vedação)	7	5	M
		Sem manchas	I; S
Esquadrias		Devem atender à ABNT NBR 10821-3	M

Segundo a DIRETRIZ SINAT, (Nº 001, Rev. 02, 2011), para efeito de avaliação técnica, as paredes de concreto com emprego de concreto comum, ou com emprego de concreto com ar

incorporado, que possuam espessura mínima de paredes de 10 cm, e protegidas por sistemas de pintura, atendem ao critério relativo a estanqueidade à água de chuva, devendo-se no entanto analisar as interfaces das paredes com as aberturas externas e pela ligação das paredes com peitoris e gradis.

#### **4.4.4.2 Estanqueidade à água de paredes internas e externas decorrentes da ocupação do imóvel**

Não é permitida a infiltração de água através das faces das paredes quando em contato com áreas molháveis ou molhadas. Devem ser atendidos os critérios de desempenho estabelecidos de acordo com o ambiente onde a parede se encontra.

- **Paredes em contato com áreas molhadas:**

De acordo a ABNT NBR 15575-4 (2013), Em relação à estanqueidade de paredes com incidência direta de água – áreas molhadas, a quantidade de água que penetra não deve ser superior a 3 cm<sup>3</sup>, por um período de 24 horas, numa área exposta com dimensões de 34 cm x 16 cm.

Segundo a DIRETRIZ SINAT, (Nº 001, Rev. 02, 2011), as paredes de concreto com emprego de concreto comum, ou com ar incorporado, com espessura mínima de 10 cm, e protegidas por sistemas de pintura e ou revestimentos cerâmicos já conhecidos, atendem aos critérios referentes à estanqueidade à água decorrente da ocupação do imóvel, devendo-se no entanto verificar, as interfaces das paredes com os demais componentes construtivos e aberturas.

#### **4.4.5 DESEMPENHO TÉRMICO**

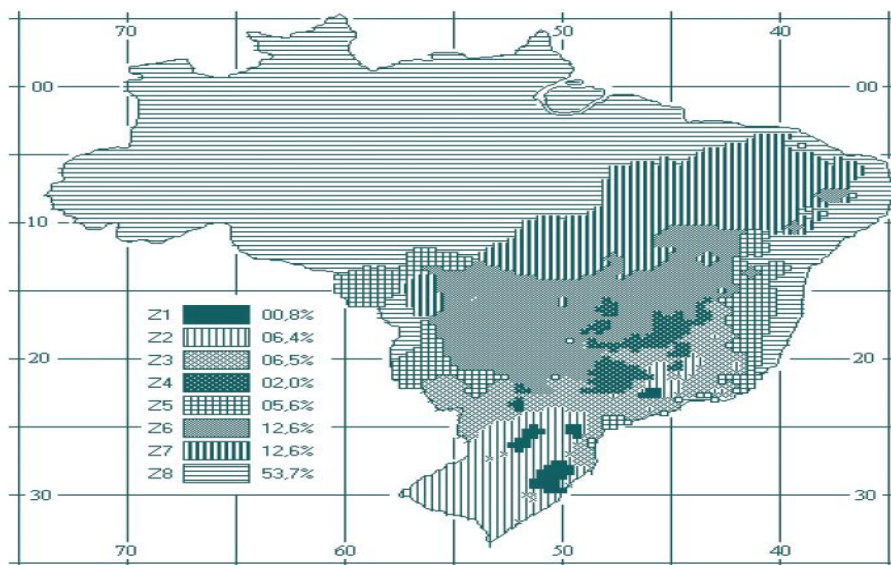
De acordo com a ABNT NBR 15575 (2013), os sistemas verticais de vedações externos (SVVE), podem ser avaliados, primeiramente considerando o procedimento simplificado de análise, verificando a capacidade do sistema de suprir às condições mínimas necessárias a edificação. Caso o SVVE não atenda aos critérios especificados no procedimento simplificado,

é necessário avaliar o desempenho térmico da edificação como um todo, através de modelos computacionais.

A ABNT NBR 15575(2013), propõem ainda mais um método de verificação de desempenho térmico da edificação, sendo este realizado por meio de medições em edificações ou protótipos construídos. No entanto segundo a Diretiva 2 da ABNT NBR 15575 (2013), este método tem caráter meramente informativo e não se sobrepõe aos procedimentos apresentados anteriormente.

O nível de satisfação ou insatisfação depende, dentre outros, do tipo de atividades no interior da edificação, quantidade de mobília, numero de ocupantes, a região de locação da edificação e etc., desta forma buscou-se definir parâmetros mínimos suficientes a habitabilidade da edificação (CBIC, 2013).

Considerando a grande extensão do território brasileiro, as coordenadas geográficas da cidade onde se localiza a obra têm grande influência, devido a grande variedade climática que possuímos em nosso território. A ABNT NBR 15220-3 (2003), divide o pais em oito regiões bioclimáticas, conforme a figura 4.26.



**Figura 4.26: Zoneamento bioclimatico brasileiro**

Fonte: anual CBIC, 2013, p. 137.

Para cada uma das zonas bioclimáticas são definidos, o dia típico de inverno e o dia típico de verão, estabelecidos com base na temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade dos ventos e radiação solar incidente, segundo a media observada num numero representativo de anos. Informações referentes a estes parâmetros climáticos, dos dias típicos de inverno e verão para algumas cidades brasileiras, podem ser encontrados no Anexo A da ABNT NBR 15220-3 (2003).

O CBIC (2013), apresenta um fluxograma para a avaliação de desempenho térmico a fim de facilitar a abordagem do tema, mostrando as etapas a serem avaliadas e como prosseguir de acordo com o resultado alcançado, conforme ilustrado em 4.27.

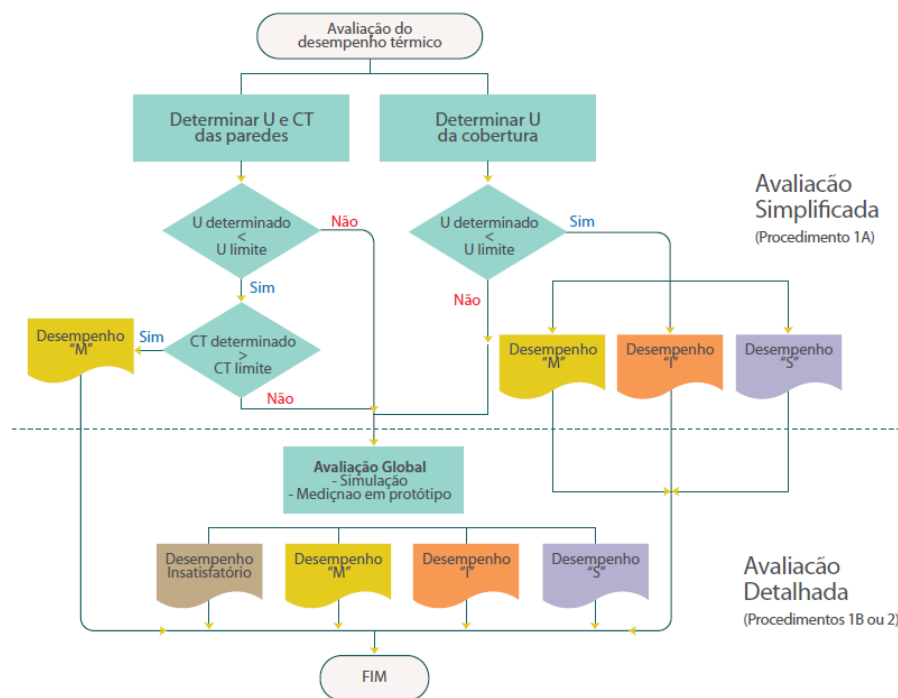


Figura 4.27: Fluxograma ilustrativo de métodos de avaliação do desempenho térmico.

Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 139.

#### 4.4.5.1 Critérios para o procedimento simplificado

O procedimento simplificado deve contemplar, o atendimento aos critérios de desempenho estabelecidos, tanto para as paredes externas, quanto para a cobertura, sendo necessário que

ambos apresentem pelo menos os requisitos mínimos de desempenho, afim de obtenção de conformidade do sistema em relação ao desempenho térmico (DIRETRIZ SINAT N° 001, Rev. 02, 2011).

Para o sistema de vedações os requisitos referentes aos seguintes critérios devem ser atendidos:

- **Transmitância das paredes externas:**

A transmitância térmica ou coeficiente global de transferência de calor é obtido pela inverso da resistência total das paredes externas, sendo a resistência total destas, o somatório do conjunto de resistências térmicas correspondente às camadas das paredes, incluindo as resistências superficiais internas e externas, de acordo com as formulas 4.2 e 4.3 .

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (4.2)$$

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (4.3)$$

Sendo:  $U$ : Transmitância térmica;

$R_T$ : Resistência total;

$R_t$ : Resistencia térmica de superfície a superfície.

$R_{si}$  e  $R_{se}$ : Resistência Superficial interna e externa, respectivamente.

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica ( $U$ ), das paredes externas é apresentado segundo a tabela 4.16.

**Tabela 4.16: Transmitância térmica de paredes externas.**

Fonte: DIRETRIZ SINAT Nº001, Rev. 02, 2011.

Transmitância Térmica (U, em W/(m <sup>2</sup> .K))		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
	$\alpha^{(1)} < 0,6$	$\alpha^{(1)} \geq 0,6$
$U \leq 2,5$	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$
<sup>(1)</sup> $\alpha$ é absorvância à radiação solar da superfície externa da parede.		

Sendo a absorvância à radiação da solar da superfície em função de sua coloração, segundo a tabela 4.17.

**Tabela 4.17: Absorvância para radiação solar e emissividade para radiações e temperaturas.**

Fonte: Tabela elaborada de acordo com os dados da ABNT NBR 15220-2, 2003, p. 8.

Absorvância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).		
Tipo de superfície	$\alpha$	$\epsilon$
concreto aparente	0,65/0,80	0,85/0,95
pintura branca	0,20	0,90
pintura amarela	0,30	0,90
pintura verde clara	0,40	0,90
pintura "aluminio"	0,40	0,50
pintura verde escura	0,70	0,90
pintura vermelha	0,74	0,90
pintura preta	0,97	0,90

De acordo com a ABNT NBR 15220-3 (2005), as paredes de concreto maciço, com espessura de 10 cm oferecem a transmitância térmica de 4,40 [W / (m<sup>2</sup> x K)], ou seja superior a 3,70 [W / (m<sup>2</sup> x K)], não atendo aos requisitos mínimos estabelecidos para análise simplificada de desempenho térmico.

Para os concretos com agregados leves e com ar incorporado, observa-se a diminuição da condutividade térmica conforme o peso específico do concreto diminui. As propriedades dos concretos leves são significativamente diferentes das observadas nos concretos tradicionais, principalmente devido ao ar aprisionado na estrutura, que reduz a transferência e absorção de

calor em relação aos concretos convencionais (SACHT, ROSSIGNOLO e SANTOS, 2010). No entanto é difícil modelar uma parede de concreto leve, segundo os modelos de análise simplificada devido a incerteza na distribuição e quantidade de ar aprisionado.

- **Capacidade térmica das paredes externas:**

É definida na ABNT NBR 15220 (2005), como a quantidade de calor necessária para variar para variar em uma unidade a temperatura de um sistema. A capacitância térmica de componentes pode ser determinada pela expressão 4.4 a seguir.

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times R_i \times c_i \times \rho_i \tag{4.4}$$

Onde:  $\lambda_i$ : Condutividade térmica do material da camada;

$R_i$ : Resistência térmica da camada;

$e_i$ : Espessura da camada;

$c_i$ : Calor específico do material da camada;

$\rho_i$ : Densidade de massa aparente do material da camada.

De acordo com a ABNT NBR 15575 (2013), os valores mínimos admissíveis para a capacitância térmica (CT), das paredes externas são apresentadas segundo a tabela 4.18.

**Tabela 4.18: Capacitância térmica de paredes externas.**

**Fonte: DIRETRIZ SINAT Nº 001, Rev. 02, 2011.**

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

Segundo o ABNT NBR 15220 (2005), as paredes maciças de concreto com espessura mínima de 10 cm, apresentam capacidade térmica de 240 [kJ/(m<sup>2</sup>.K)], atendendo assim pelo menos os



requisitos mínimos de desempenho térmico, porém como a transmitância das paredes usualmente utilizadas foi inferior ao requerido, temos portanto que não é possível apenas a partir dos materiais que compõem o sistema de vedações, estabelecer sua adequabilidade à obtenção do desempenho térmico (ABCP *et al*, 2008).

A ABCP *et al* (2008), apresenta uma serie de ensaios realizados com os concretos convencional, leve, e celular, aonde observou-se evolução do desempenho térmico conforme o aumento de ar incorporado ao concreto.

- **Aberturas para ventilação:**

Fica sendo necessário que a edificação apresente aberturas, nas fachadas das habitações, com dimensões adequadas para proporcionar a ventilação interna dos ambientes.

Os ambientes de permanência prolongada, aos quais se aplicam este critério, como salas e dormitórios, devem possuir aberturas para a ventilação com áreas que atendam à legislação específica do local da obra, incluindo códigos sanitários entre outros (ABNT NBR 15575-4, 2013).

Para o caso onde não houver requisitos de ordem legal, para o local de implantação da obra devem ser adotados os valores indicados na tabela a 4.19.

**Tabela 4.19: Área mínima de ventilação para ambientes de permanência prolongada.**

**Fonte: Guia CBIC, 2013, p. 151.**

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

#### **4.4.5.2 Critérios para simulação computacional:**

Segundo o CBIC (2013), para a realização das simulações computacionais, devem ser utilizados como referencia os dados apresentados nas Tabelas A.1, A.2 e A.3 do Anexo A da ABNT NBR 15575-1 (2013), onde são fornecidas as informações sobre localização geográfica de algumas cidades brasileiras e os dados climáticos correspondentes aos dias típicos de projeto de verão e inverno. Na falta de dados para a cidade em estudo recomenda-se utilizar os dados de uma cidade próxima com a mesma altitude, e características climáticas semelhantes dentro da mesma zona Bioclimática.

Segundo a ABNT NBR 15575 (2013), para a realização das simulações computacionais recomenda-se o emprego do programa EnergyPlus, podem-se utilizar também outros programas desde que estes permitam a determinação do comportamento térmico de edificações sob condições dinâmicas de exposição ao clima, sendo capazes de reproduzir os efeitos de inercia térmica e validados pela ASHRAE Standard 140.

A crescente facilidade de manipulação de informações e cálculos, agiliza e facilita as simulações computacionais possibilitando a geração de diversos modelos mesmo em fases avançadas de desenvolvimento, otimizando tanto tempo quanto recursos (FABRICIO e MELHADO, 2002). De forma geral os softwares de simulação do comportamento térmico de edificações devem reunir as características básicas indicadas conforme o fluxograma ilustrado em 4.28 (CBIC, 2013).

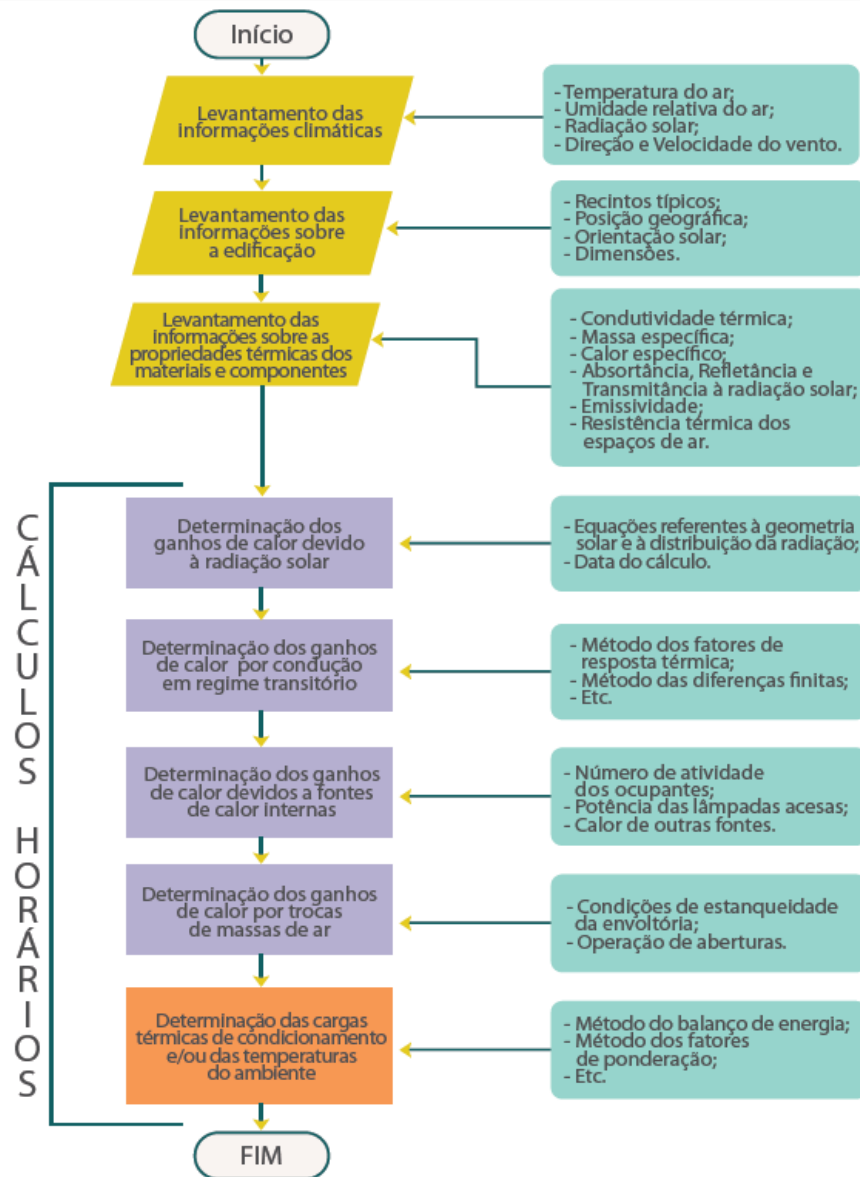


Figura 4.28: Características necessárias aos softwares de avaliação de desempenho térmico.

Fonte: CBIC, 2013, p.147.

Para a geometria do modelo em simulação, deve-se tomar a habitação como um todo, considerando cada ambiente como uma zona térmica. Devem ser reproduzidas todas as características construtivas, ou seja, dimensões em planta e pé direito dos cômodos, aberturas e tipo de portas e janelas, materiais constituintes das paredes e da cobertura, considerando todas as condições climáticas para os dias típicos de inverno e verão, incluindo temperatura e

umidade relativa do ar, radiação solar, nebulosidade, direção e velocidade do vento (CBIC, 2013).

A alimentação do programa deve ser realizadas utilizando dados fidedignos das propriedades dos materiais e/ou componentes construtivos, obtidos através de normas técnicas, ou por meio de ensaios, sendo necessários os dados referentes à condutividade térmica, calor específico, densidade de massa aparente, emissividade, absorvância a radiação solar, parâmetros foto energéticos e por fim resistência ou transmitância térmica de elementos (CBIC, 2013).

Como parte dos requisitos para a obtenção de desempenho mínimo a edificação deve apresentar condições térmicas no interior da edificação melhores ou iguais às do ambiente externo, à sombra para o dia típico de projeto de verão (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Para avaliação da edificação devem ser simulados todos os recintos de permanência prolongada na unidade habitacional, considerando a pior situação, um cômodo na extremidade da habitação com orientação geográfica mais crítica do ponto de vista térmico.

Para edificações com múltiplos pavimentos, a unidade selecionada deve ser uma pertencente ao último pavimento considerando o pior posicionamento geográfico do ponto de vista térmico, lembrando que este posicionamento é diferente ao analisarmos as condições para desempenho em situações de verão e inverno (CBIC, 2013).

Segundo a ABNT NBR 15575-1 (2013), a taxa de ventilação adotada no modelo deve ser de 1 ren/h, tanto para a cobertura quanto para os ambientes internos da edificação.

A absorvância à radiação solar das superfícies expostas deve ser definida conforme a cor e as características das superfícies externas das vedações e cobertura, expostas.

A avaliação da cobertura deve ser realizada segundo os materiais utilizados constituintes da superfície exposta da cobertura, ou telhado caso esta seja coberta.

Os SVVE, devem assumir o valor da absorvância à radiação solar correspondente a cor definida no projeto, caso esta não tenha sido especificada realizar simulação considerando as três alternativas de cor a seguir (ABNT NBR 15575-1, 2013):

- **Cor clara:**  $\alpha = 0,3$ ;
- **Cor média:**  $\alpha = 0,5$ ;
- **Cor escura:**  $\alpha = 0,7$ .

A unidade habitacional que não atender aos critérios estabelecidos para o verão deve ser simulada novamente, considerando as seguintes alterações:

- **Ventilação:** Nova configuração de taxa de ventilação de cinco renovações do volume de ar do ambiente por hora (5,0 ren/h) e janelas sem sombreamento;
- **Sombreamento:** Inserção de proteção solar externa ou interna da esquadria externa com dispositivo capaz de cortar no mínimo 50% da radiação solar direta que entraria pela janela, com taxa de uma renovação do volume de ar do ambiente por hora (1,0 ren/h);
- **Ventilação e sombreamento:** Combinação das duas estratégias anteriores, ou seja inserção de dispositivo de proteção solar e taxa de renovação do ar de 5,0 ren/h.

Apesar do sistema de paredes de concreto moldadas no local não poder ser avaliado segundo o método simplificado, a DIRETRIZ SINAT (Nº001, Rev.02, 2011), considera para efeito de avaliação técnica, que as edificações com paredes estruturais de concreto armado destinadas a casa térreas, sobrados, casas sobrepostas e a edificações habitacionais até cinco pavimentos, com pé direito mínimo de 2,5 m, de piso a teto, paredes de 10 cm, espessura, lajes de 10 cm, telhado com telhas de fibrocimento e com espessura de ao menos 6,0 mm, telhas de concreto com espessura de 11mm ou maior, telhas cerâmicas com presença de ático entre a laje de cobertura e o telhado, altura mínima de 50 cm, com faces externas dos SVVE em tonalidades médias ou claras para as zonas bioclimáticas Z1 a Z7 e tonalidades claras para

a zona bioclimática Z8, com emprego de isolante térmico na cobertura, com resistência térmica de pelo menos 0,67 m<sup>2</sup>.K/W, atendem ao critério mínimo de desempenho.

A ABCP *et al* (2008), argumenta que como vários fatores além do sistema de vedações, são importantes para a obtenção do desempenho térmico conforme cada região. E afirma que é possível alcançar os parâmetros mínimos de desempenho térmico em quaisquer regiões bioclimáticas desde que o projeto compreenda estes requisitos.

#### 4.4.6 DESEMPENHO ACÚSTICO

A ABNT NBR 15575-4 (2013), apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre os meios interno e externo entre unidades autônomas e entre unidades autônomas e áreas comuns. O estabelecimento de desempenho deve ser compatível com a proteção da privacidade contra a intrusão de ruído de atividades nos ambientes adjacentes, como a fala, música etc, a tabela 4.20 a seguir apresenta uma estimativa de inteligibilidade simplificada em função do isolamento acústico e do nível de ruído no ambiente.

**Tabela 4.20: Influência da  $D_{nT,w}$  sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB.**

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013), p. 56.

<b>Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente</b>	<b>Isolamento sonoro, <math>D_{nT,w}</math> dB</b>
Claramente audível: ouve e entende	35
Audível: ouve, entende com dificuldade	40
Audível: não entende	45
Não audível	≥ 50
Fonte: Adaptado da <i>Association of Australian Acoustical Consultants</i> , 2010.	

A ABNT NBR 15575-4 (2013), apresenta três métodos disponíveis para a verificação do isolamento acústico, sendo eles:

- **Método de precisão realizado em laboratório:**

Este método determina a isolação sonora de componentes e elementos construtivos (parede, janela, porta e outros), fornecendo valores de referência de cálculo para projetos. O método de ensaio é descrito na ISO 10140-2. Como forma de avaliar o desempenho da edificação é necessário avaliar cada um dos componentes e depois calcular o isolamento global do conjunto. Os resultados são expressos em dB, adotando-se um índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) (ABNT NBR 15575-4, 2013);

- **Método simplificado de campo:**

Permite a obtenção de uma estimativa do isolamento global das vedações externas (conjunto fachada e cobertura para unidades térreas e sobrados, e somente fachada para edifícios multipavimentos), do isolamento global entre recintos internos, em situações onde não se dispõe de instrumentação necessária para medir o tempo de reverberação, ou quando as condições de ruído de fundo não permitem obter este parâmetro. O método é descrito na ISO 10052, e seus resultados restringem-se as medições efetuadas em campo. Os resultados obtidos são expressos em função da diferença padronizada de nível ponderada a 2m ( $D_{2m,nT,w}$ ), expressa em dB, sendo medida tomadas a 2 metros do elemento analisado (ABNT NBR 15575-4, 2013);

- **Método de engenharia realizado em campo:**

Método realizado em campo determinando de forma rigorosa, o isolamento sonoro global caracterizando de forma direta o comportamento acústico do sistema tanto de forma externa (conjunto fachada e cobertura em unidades térreas e sobrados, e somente fachada para edifícios multipavimentos), e de forma interna avaliando o isolamento entre unidades autônomas e áreas comuns. Este método é descrito na ISO 140-4, sendo a forma de avaliação mais precisa de avaliação, seus resultados restringem-se as medições efetuadas em campo

assim como no método simplificado. Os resultados são obtidos segundo a diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ), medida em dB (ABNT NBR 15575-4, 2013).

#### 4.4.6.1 Parâmetros de verificação:

A tabela 4.21 a seguir apresenta os parâmetros utilizados pela ABNT NBR 15575-4 (2013), para a avaliação de desempenho acústico de áreas internas e externas de edificações.

**Tabela 4.21: Parâmetros para verificação de desempenho acústico.**

**Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013), p. 30.**

Símbolo	Descrição	Norma	Aplicação
$R_w$	Índice de redução sonora ponderado	ISO 10140-2 ISO 717-1	Componentes, em laboratório
$D_{nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada	ISO 140-4 ISO 717-1	Vedações verticais e horizontais internas, em edificações (paredes etc.)
$D_{2m,nT,w}$	Diferença padronizada de nível ponderada a 2 m de distância da fachada	ISO 140-5 ISO 717-1	Fachadas, em edificações Fachadas e coberturas em casas térreas e sobrados
<p>NOTA Como as normas ISO referenciadas não possuem versão em português, foram mantidos os símbolos nelas consignados com os seguintes significados:  <math>R_w</math> – índice de redução sonora ponderado (<i>weighted sound reduction index</i>).  <math>D_{nT,w}</math> – diferença padronizada de nível ponderada (<i>weighted standardized level difference</i>).  <math>D_{2m,nT,w}</math> – diferença padronizada de nível ponderada a 2 m (<i>weighted standardized level difference at 2 m</i>).</p>			

#### 4.4.6.2 Avaliação dos níveis de ruído permitidos:

A seguir serão apresentados os valores de referencia para a avaliação do dos níveis de ruídos permitidos. No entanto devemos lembrar que o desempenho acústico de uma unidade autônoma depende do sistema construtivo, dos componentes utilizados, e da execução adequada destes.

- **Isolação sonora de vedações segundo o ensaio de laboratório:**

As tabelas 4.22 e 4.21 a seguir apresentam os índices de redução sonora ponderado ( $R_w$ ), de acordo com a ABNT NBR 15575-4 (2013), de acordo com a localização da parede dentro da unidade autônoma.



Tabela 4.22: Índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , de fachadas.

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013), p. 58.

Classe de ruído	Localização da habitação	$R_w$ dB <sup>a</sup>	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	≥ 25	M
		≥ 30	I
		≥ 35	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 30	M
		≥ 35	I
		≥ 40	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	≥ 35	M
		≥ 40	I
		≥ 45	S

NOTA Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ( $D_{nT,w}$  e  $D_{2m,nT,w}$ ) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório ( $R_w$ ). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).

<sup>a</sup>  $R_w$  com valores aproximados

Tabela 4.23: Índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , de componentes construtivos utilizados nas vedações de ambientes.

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013), p. 59.

Elemento	$R_w$ dB <sup>a</sup>	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	35 a 39	M
	40 a 44	I
	≥ 45	S
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	50 a 54	M
	55 a 59	I
	≥ 60	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo <i>hall</i>	45 a 49	M
	50 a 54	I
	≥ 55	S

NOTA Os valores de desempenho de isolamento acústico medidos no campo ( $D_{nT,w}$  e  $D_{2m,nT,w}$ ) tipicamente são inferiores aos obtidos em laboratório ( $R_w$ ). A diferença entre estes resultados depende das condições de contorno e execução dos sistemas (ver ISO 15712 e EN 12354).

<sup>a</sup>  $R_w$  com valores aproximados.

A tabela 4.24, a seguir apresenta alguns valores indicativos de redução sonora ponderada para alguns sistemas construtivos segundo suas características geométricas e de revestimento.

**Tabela 4.24: Valores indicativos do índice de redução sonora ponderado para alguns sistemas de paredes.**

Fonte: CBIC, 2013, p. 162.

Tipo de parede	Largura do bloco / tijolo	Revestimento	Massa aproximada	R <sub>w</sub> (dBA)
Blocos vazados de concreto	9 cm	argamassa 1,5 cm em cada face	180 kg/m <sup>2</sup>	41
	11,5 cm		210 kg/m <sup>2</sup>	42
	14 cm		230 kg/m <sup>2</sup>	45
Blocos vazados de cerâmica	9 cm	argamassa 1,5cm em cada face	120 kg/m <sup>2</sup>	38
	11,5 cm		150 kg/m <sup>2</sup>	40
	14 cm		180 kg/m <sup>2</sup>	42
Tijolos maciços de barro cozido*	11 cm	argamassa 2cm em cada face	260 kg/m <sup>2</sup>	45
	15 cm		320 kg/m <sup>2</sup>	47
	11 + 11 cm**		450 kg/m <sup>2</sup>	52
Paredes maciças de concreto armado	5 cm	sem revestimento	120 kg/m <sup>2</sup>	38
	10 cm		240 kg/m <sup>2</sup>	45
	12 cm		290 kg/m <sup>2</sup>	47
Drywall	2 chapas + lâ de vidro	sem revestimento	22 kg/m <sup>2</sup>	41
	4 chapas		44 kg/m <sup>2</sup>	45
	4 chapas + lâ de vidro		46 kg/m <sup>2</sup>	49

(\*) Valores indicados pela Universidade de Coimbra.  
(\*\*) Parede dupla 11 + 11 cm, com espaço interno de 4 cm preenchido com manta de lâ de rocha 70 kg/m<sup>3</sup>.

Analisando a tabela 4.24, observamos que o sistema em paredes de concreto maciças tem capacidade de atender aos requisitos mínimos de desempenho acústico na maior parte das situações estabelecidas na ABNT NBR 15575-4 (2013), sendo as situações de parede de divisa entre unidade autônoma e áreas comuns de permanência de pessoas e entre unidades autônomas quando pelo menos um dos ambientes é dormitório.

Conforme abordado nas tabelas 4.22 e 4.23 os valores obtidos em laboratório tendem a ser superiores aos obtidos em campo, pois especialmente em paredes de concreto moldadas em loco pode ocorrer uma sensível diferença nos índices de redução sonora ponderada com as medições realizadas em campo, devido a falhas ou brocas na concretagem, aos sistemas de instalações serem acoplados as paredes, e diversas outras situações onde as condições de

contorno se tornam imprecisas, sendo necessária assim uma ressalva quanto aos resultados obtidos por esta avaliação.

Este tipo de avaliação é recomendada principalmente nas etapas de projeto, pois a partir das necessidades podem ser adaptadas soluções para as situações como no caso de divisa de ambiente com dormitório, e assim aumentando as chances de obtenção do desempenho adequado.

- **Isolação sonora de vedações segundo o método simplificado de campo:**

De acordo com a ABNT NBR 15575-4 (2013), devem ser avaliados os dormitórios das unidades habitacionais, sendo as medições realizadas com portas e janelas fechadas, conforme entregues pelo fornecedor. A tabela 4.25 a seguir apresenta os valores mínimos aceitos da diferença padronizada de nível ponderada, para sistemas de vedações externas.

**Tabela 4.25: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{2m,nT,w}$ , da vedação externa de dormitório.**

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013), p. 30.

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ dB
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	$\geq 20$
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 25$
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação	$\geq 30$
NOTA 1 Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos. NOTA 2 Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias, há necessidade de estudos específicos.		

Apesar de não terem sido encontrados valores de referencia para o sistema em paredes de concreto moldadas em loco, a DIRETRIZ SINAT (Nº001, Rev. 02, 2011), atribui ao sistema com paredes maciças de pelo menos 10 cm de espessura em concreto comum caracterizado com

massa específica da ordem de 2300 kg/m<sup>3</sup>, atende o mínimo requerido especificamente para parede cega, aos requisitos estabelecidos na tabela 4.25.

- **Isolação sonora de vedações segundo o método de engenharia realizado em campo:**

A ABNT NBR 15575-4 (2013) estabelece que os sistemas de vedações internas afim de apresentar pelo menos o desempenho acústico mínimo, deve apresentar sua diferença padronizada de nível ponderada ( $D_{nT,w}$ ) segundo a tabela 4.26 a seguir.

**Tabela 4.26: Valores mínimos da diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$ , entre ambientes**

Fonte: ABNT NBR 15575-4 (2013), p. 31.

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), no caso de pelo menos um dos ambientes ser 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 <i>hall</i> ( $D_{nT,w}$ obtida entre as unidades).	≥ 40

Novamente a DIRETRIZ SINAT (Nº001, Rev. 02, 2011), atribui ao sistema com paredes maciças de pelo menos 10 cm de espessura em concreto comum caracterizado com massa específica da ordem de 2300 kg/m<sup>3</sup>, atende o mínimo requerido especificamente para parede cega, aos requisitos estabelecidos na tabela 4.26. Contudo a fim de evitar perdas da capacidade de redução acústica do sistema e aconselhável a não colocação de tubulações em especial as referentes ao sistema elétrico, pois as caixas e tubulações embutidas nas paredes

diminuem sensivelmente a eficiência da divisória podendo a edificação não alcançar os valores mínimos de desempenho.

#### **4.4.7 DURABILIDADE E MANUTENIBILIDADE:**

##### **4.4.7.1 Resistência a choque térmico**

A ABNT NBR 15575-4 (2013), especifica os requisitos sobre durabilidade e manutenibilidade, para os sistemas estruturais e de vedações separadamente, no entanto como no caso do sistema em paredes de concreto moldadas no local as vedações possuem características estruturais, sua análise deve avaliar os critérios nos diferentes sistemas e adotando para ambos os sistemas o critério mais conservador entre eles.

Para as vedações devem limitados os deslocamentos, fissuras e falhas nas paredes e revestimentos externos, em função de ciclos de exposição ao calor e resfriamento que ocorrem durante a vida útil do edifício. As paredes externas e seus revestimentos, quando submetidos a dez ciclos sucessivos de exposição ao calor e resfriamento por meio de jato de água, não podem apresentar falhas como fissuras, destacamentos, empolamentos, descoloração e outros danos, bem como deve ser limitado o seu deslocamento horizontal instantâneo, no plano perpendicular ao corpo de prova, superior a  $h/300$ , sendo  $h$  a altura do corpo de prova (ABNT NBR 15575-4, 2013).

De acordo com a DIRETRIZ SINAT (Nº001, Rev. 02, 2011), as paredes de concreto armado destinadas a unidades habitacionais, com emprego de concreto comum ( massa específica da ordem de  $2300\text{kg/m}^3$ ) e com concreto com ar incorporado (massa específica da ordem de  $1900\text{kg/m}^3$ ), e espessura mínima de 10 cm, atendem ao critério relativo à resistência a choque térmico.

#### **4.4.7.2 Vida útil de projeto**

Segundo a ABNT NBR 15575-4 (2013), as paredes devem manter a capacidade funcional e suas características estéticas, ambas sendo compatíveis com o envelhecimento natural dos materiais durante a vida útil de projeto.

Os SVVIE da edificação devem apresentar vida útil de projeto (VUP) igual ou superior aos períodos especificados na ABNT NBR 15575-1 (2013), e ser submetidos a manutenções preventivas (sistemáticas) e sempre, que necessário, a manutenções corretivas e de conservação previstas no manual de uso, operação e manutenção (ABNT NBR 15575-4, 2013).

Para a determinação da VUP mínima podem-se adotar diversas metodologias. A prevista nas ABNT NBR 15575-1 a ABNT NBR 15575-6 incorpora três conceitos essenciais:

- O efeito que uma falha no desempenho do sistema ou elemento acarreta;
- A maior facilidade ou dificuldade de manutenção e reparação em caso de falha de desempenho;
- O custo correção da falha, considerando-se inclusive o custo de correção de outros subsistemas ou elementos afetados (por exemplo, a reparação de uma impermeabilização de piscina pode implicar a substituição de todo o revestimento de piso e paredes, e o custo resultante é muito superior ao custo da própria impermeabilização).

Para parametrização da VUP, com fundamento nestes conceitos, foram utilizados conhecimentos já consolidados internacionalmente, principalmente os da BS 7453 (ABNT NBR 15575-1, 2013).

A tabelas 4.27, 4.28 e 4.29 a seguir apresentam alguns parâmetros adotados pela ABNT NBR 15575-1 (2013), para a determinação de vida útil.

**Tabela 4.27: Efeito das falhas no desempenho**

Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 51.

<b>Categoria</b>	<b>Efeito no desempenho</b>	<b>Exemplos típicos</b>
A	Perigo à vida (ou de ser ferido)	Colapso repentino da estrutura
B	Risco de ser ferido	Degrau de escada quebrado
C	Perigo à saúde	Séria penetração de umidade
D	Interrupção do uso do edifício	Rompimento de coletor de esgoto
E	Comprometer a segurança de uso	Quebra de fechadura de porta
F	Sem problemas excepcionais	Substituição de uma telha

NOTA Falhas individuais podem ser enquadradas em duas ou mais categorias.

**Tabela 4.28: Categoria de vida útil de projeto para partes do edifício**

Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 52.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Exemplos típicos</b>
1	Substituível	Vida útil mais curta que o edifício, sendo sua substituição fácil e prevista na etapa de projeto	Muitos revestimentos de pisos, louças e metais sanitários
2	Manutenível	São duráveis, porém necessitam de manutenção periódica, e são passíveis de substituição ao longo da vida útil do edifício	Revestimentos de fachadas e janelas
3	Não manutenível	Devem ter a mesma vida útil do edifício, por não possibilitarem manutenção	Fundações e muitos elementos estruturais

**Tabela 4.29: Custo de manutenção e reposição ao longo da vida útil.**

Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 52.

<b>Categoria</b>	<b>Descrição</b>	<b>Exemplos típicos</b>
A	Baixo custo de manutenção	Vazamentos em metais sanitários
B	Médio custo de manutenção ou reparação	Pintura de revestimentos internos
C	Médio ou alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição (do elemento ou sistema) equivalente ao custo inicial	Pintura de fachadas, esquadrias de portas, pisos internos e telhamento
D	Alto custo de manutenção e/ou reparação Custo de reposição superior ao custo inicial Comprometimento da durabilidade afeta outras partes do edifício	Troca integral da impermeabilização de piscinas
E	Alto custo de manutenção ou reparação Custo de reposição muito superior ao custo inicial	Troca integral dos revestimentos de fachada e estrutura de telhados

A tabela 4.30 a seguir foi elaborada utilizando os critérios estabelecidos nas tabelas anteriores afim de se estabelecer uma vida útil para os vários elementos e sistemas da edificação em função da vida útil da própria edificação que segundo a *European Organization for Technical Approvals* (ver *CIB Report Publication 294, 2004*), deve possuir uma VUP normal de 50 anos.

**Tabela 4.30: Critérios para o estabelecimento da VUP das partes do edifício.**

**Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 53.**

Valor sugerido de VUP para os sistemas, elementos e componentes	Efeito da falha (Tabela C.1)	Categoria de VUP (Tabela C.2)	Categoria de custos (Tabela C.3)
Entre 5 % e 8 % da VUP da estrutura	F	1	A
Entre 8 % e 15 % da VUP da estrutura	F	1	B
Entre 15 % e 25 % da VUP da estrutura	E, F	1	C
Entre 25 % e 40 % da VUP da estrutura	D, E, F	2	D
Entre 40 % e 80 % da VUP da estrutura	Qualquer	2	D, E
Igual a 100 % da VUP da estrutura	Qualquer	3	Qualquer

NOTA 1 As VUP entre 5 % e 15 % da VUP da estrutura podem ser aplicáveis somente a componentes. As demais VUP podem ser aplicáveis a todas as partes do edifício (sistemas, elementos e componentes).  
 NOTA 2 Existem internacionalmente diversas e variadas proposições para determinação da VUP do edifício. No entanto, em relação aos edifícios habitacionais, observa-se que elas apresentam notável convergência, situando a VUP destes edifícios entre 50 e 60 anos.

A VUP do edifício habitacional, deve ser estabelecida em comum acordo entre os empreendedores e os projetistas, e também os usuários, quando for o caso, ainda na fase de concepção do projeto. Porém, para que esta vida útil possa ser atingida é necessário que sejam atendidos simultaneamente todos os seguintes aspectos (ABNT NBR 15575-1, 2013):

- Emprego de componentes e materiais de qualidade compatível com a VUP;
- Execução com técnicas e métodos que possibilitem a obtenção da VUP;
- Atendimento em sua totalidade dos programas de manutenção corretiva e preventiva;
- Atendimento aos cuidados preestabelecidos para se fazer um uso correto do edifício;
- Utilização do edifício em concordância ao que foi previsto em projeto.

Nota-se que as duas primeiras citações são dependentes dos profissionais da construção civil sendo eles os projetistas, construtores e incorporadores sendo essenciais para que a



edificação possua capacidade de atender integralmente à VUP. No entanto os demais itens abordados são essenciais ao alcance efetivo desta VUP, e dependem dos usuários da edificação que devem ser informados sobre estes através do manual de uso, operação, e manutenção do edifício, a ser entregue pelo empreendedor (ABNT NBR 15575-1, 2013).

Aos usuários é incumbido realizar os programas de manutenção, segundo ABNT NBR 5674 (2012), considerando as instruções do manual de uso, operação e manutenção e recomendações técnicas das inspeções prediais visando garantir o ou mesmo aumentar a VUP da edificação.

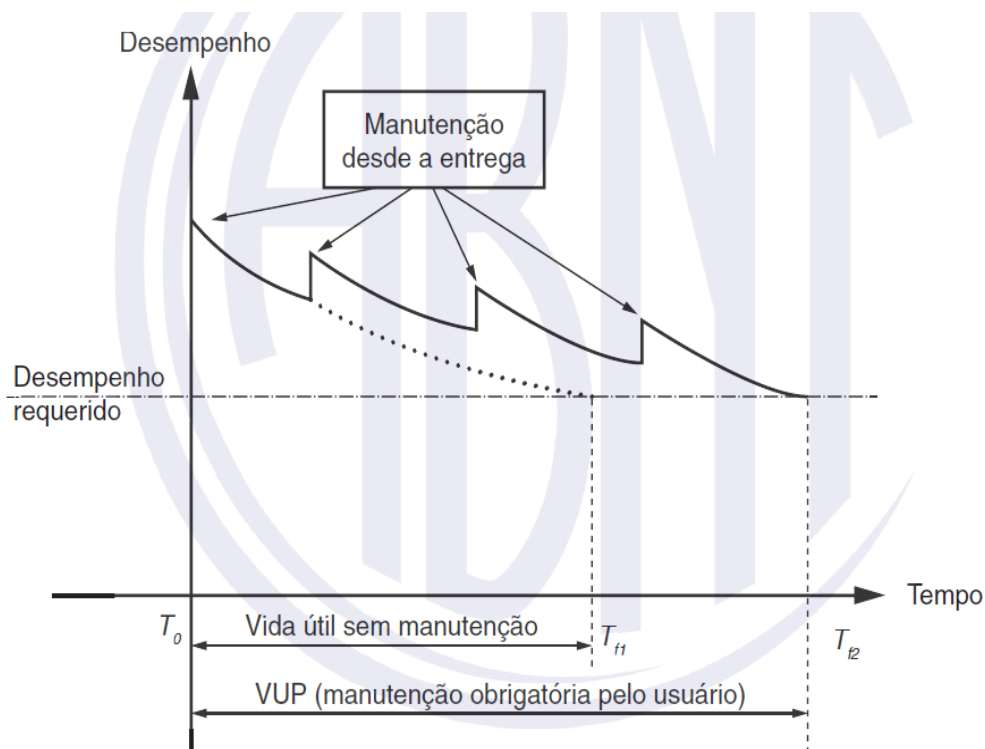


Figura 4.29: Influencia da manutenção no desempenho da edificação ao longo do tempo.

Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 50.

A tabela 4.31 a seguir apresenta as diversas classes de VUP, para cada sistema componente da edificação.

**Tabela 4.31: Vida útil de projeto mínima e superior (VUP)<sup>a</sup>**

**Fonte: ABNT NBR 15575-1, 2013, p. 54.**

Sistema	VUP anos		
	Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura	≥ 50	≥ 63	≥ 75
Pisos internos	≥ 13	≥ 17	≥ 20
Vedação vertical externa	≥ 40	≥ 50	≥ 60
Vedação vertical interna	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Cobertura	≥ 20	≥ 25	≥ 30
Hidrossanitário	≥ 20	≥ 25	≥ 30

<sup>a</sup> Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Como pode ser analisado na tabela 4.31, pelo fato de as vedações se comportarem também de modo portante, sua VUP mínima deve ser de 50 anos. Como o sistema é normalizado segundo a ABNT NBR 12655 (2012), e pela ABNT NBR 6118 (2014), que possuem parâmetros de durabilidade no dimensionamento das estruturas, podemos assumir que se bem projetadas, concretadas, curadas as paredes de concreto que possuírem manutenção adequada certamente possuíram um alto potencial de atendimento a VUP.

#### **4.4.7.3 Manutenibilidade do sistema:**

De acordo com a ABNT NBR 15575 (2013) o projetista tem total responsabilidade em desenvolver um projeto de forma a proporcionar maneiras e espaços que favoreçam as condições de acesso a inspeção predial, facilitando a manutenção. Além de desenvolver um manual completo de uso, operação e manutenção, que deverá ser fornecido ao edifício ao termino da obra.

Em relação à manutenibilidade do sistema construtivo que compõe a edificação, a fim de que seja atendida a durabilidade projetada para a estrutura e seus componentes, devem ser previstas em manual do usuário e realizadas manutenções preventivas (sistemáticas) e, sempre que necessárias, manutenções com caráter corretivo. Estas últimas devem ser realizadas assim que o problema se manifestar, impedindo que pequenas falhas progridam às vezes rapidamente para extensas patologias. As manutenções devem ser realizadas em estrita obediência ao manual de operação, uso e manutenção fornecido pelo incorporador e/ou pela construtora. Condições especiais de manutenção também devem estar previstas no manual de operação, uso e manutenção, ou simplesmente manual do proprietário e de áreas comuns (DIRETRIZ SINAT N°001, Rev.02, 2011).

A ABNT NBR 15575-1 (2013), expõe que O fabricante do produto, o construtor, o incorporador público ou privado, isolada ou solidariamente, devem especificar em projeto todas as condições de uso, operação e manutenção dos sistemas de vedações verticais internas e externas, especialmente com relação a:

- Caixilhos, esquadrias e demais componentes;
- Recomendações gerais para prevenção de falhas e acidentes decorrentes de utilização inadequada;
- Periodicidade, forma de realização e forma de registro de inspeções;
- Periodicidade, forma de realização e forma de registro das manutenções;
- Técnicas, processos, equipamentos, especificação e previsão de materiais necessários para as diferentes modalidades de manutenção;
- Menção às normas aplicáveis.

Deve-se manter a capacidade do edifício e de seus sistemas e permitir ou favorecer as inspeções prediais bem como as intervenções de manutenção prevista no manual de operação uso e manutenção, com os menores custos. Convém, ainda, que os projetos sejam

desenvolvidos de forma que o edifício e os sistemas projetados tenham 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 (DIRETRIZ SINAT, N°001, Rev.02, 2011).

A ABNT NBR 14037 (1998) apresenta que a função do manual é informar aos usuários as características técnicas da edificação, descrever os procedimentos necessários e adequados para alcançar o melhor aproveitamento da edificação, orientar as atividades necessárias para a manutenção, prevenir as ocorrências de falhas e acidentes decorrentes do uso inadequado, e por fim contribuir para a durabilidade da edificação para que alcance seu tempo de vida útil.

Analisando os critérios estabelecidos é possível avaliar a potencialidade de atendimento do sistema desde que utilizado de forma a possibilitar a manutenção em especial da tubulações, pois como, o sistema de paredes de concreto, possui suas instalações embutidas nas paredes, recomenda-se a utilização de chafts, para passagem destas tubulações entre pavimentos e quando possível utilização de paredes hidráulicas sem finalidades portantes, devido as limitações de passagem das tubulações e favorecendo a manutenção destas.

## 5 CONCLUSÃO

Através da análise do sistema construtivo em paredes de concreto moldadas no local, foi possível perceber os motivos pelos quais sua utilização teve um sensível aumento no setor de edificações residenciais e em especial nas edificações destinadas a atender os programas sociais de habitações, visto que este sistema construtivo oferece uma alternativa rápida e eficiente de construção com formato mais industrializado, que apesar de utilizar um alto custo de insumos se comparado com os sistemas tradicionais, em concreto armado e com vedações em alvenaria estrutural, apresenta uma altíssima produtividade aliada a uma elevada produtividade que parece equilibrar financeiramente os empreendimentos com alto grau de repetitividade.

Quanto aos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), conclui-se que algumas de suas exigências não garantem necessariamente o conforto do usuário final da edificação, mas visam garantir condições mínimas de habitabilidade as edificações neste período de grande evolução na indústria da construção civil brasileira.

Com relação ao seu desempenho foi observada a importância da etapa de projeto, com intuito da obtenção de pelo menos requisitos, mínimos de desempenho, estabelecidos pela ABNT NBR 15575 (2013), pois tem-se que as espessuras das paredes não apresentam grandes variabilidades, e os projetos em especial a sua

A etapa de projetos, agora com relação aos cálculos estruturais, apresenta importância crítica para a confiabilidade, estabilidade e durabilidade da edificação, devendo-se adotar parâmetros de cálculos conforme normatização técnica já vigente afim de garantirmos a segurança destas edificações. É também durante a etapa de projetos que grande parte das diretrizes de manutenção são elaboradas a fim de estipular a utilização adequada do espaço, bem como as necessidades de inspeção e intervenção buscando atingir pelo menos a VUP, de cada sistema.

As etapas de execução também são cruciais para a aceitabilidade da estrutura, pois falhas na execução podem comprometer tanto, a aceitação visual das habitações devido a falhas fissuras, destacamentos, e estanqueidade das paredes. Tem-se também a durabilidade, pois uma execução inadequada pode reduzir sensivelmente a vida útil da estrutura, devido a porosidade das paredes bem como as falhas anteriormente mencionadas, são dois fatores cruciais para evitar a penetração de agentes nocivos.

Outro ponto de elevado interesse é a utilização dos manuais fornecidos pelos empreendedores da edificação onde são estipuladas as condições de utilização, manutenção das edificações de modo a compartilhar a responsabilidade pela durabilidade dos sistemas e se corretamente executados possuem grandes possibilidades de atendimento a VUP.

Conclui-se então, que a capacidade técnica do sistema paredes de concreto moldadas no local tem de garantir desde que bem projetado, executado e utilizado pelo menos os requisitos mínimos estabelecidos pela ABNT NBR 15557 (2013), e provando ser não somente um sistema construtivo inovador no Brasil, mas também um sistema construtivo de elevadas eficiência e eficácia.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Paredes de Concreto**: coletânea de ativos. São Paulo, 2007/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5629: Execução de tirantes ancorados no terreno – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5674: Manutenção de edificações - Procedimentos — Requisitos para o sistema de gestão de manutenção - Referências - Elaboração*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão em corpos de prova cilíndricos – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6122: Projeto e execução de fundações – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7212: Execução de concreto dosado em central – Procedimento – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7481: Tela de aço soldada – armadura para concreto*. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7584: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7680: Concreto – Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhas de corpos de concreto – Elaboração*. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo elástico de elasticidade à compressão – Elaboração. Rio de Janeiro, 2008.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9833: Concreto fresco – Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico – Elaboração. Rio de Janeiro, 2008.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11682: Estabilidade de encostas – Elaboração. Rio de Janeiro, 2009.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 11768: Aditivos químicos para concreto de cimento portland – Requisitos – Elaboração. Rio de Janeiro, 1992.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12655: Concreto de Cimento Portland – Preparo controle e recebimento – Procedimento - Elaboração. Rio de Janeiro, 2006.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – Procedimento - Elaboração. Rio de Janeiro, 2004.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 2: Requisitos para os Sistemas Estruturais - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 3: Requisitos para os Sistemas de Pisos - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais Internas e Externas - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 5: Requisitos para os Sistemas de Coberturas - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho Parte 6: Requisitos para os Sistemas Hidrossanitarios - Referências - Elaboração. Rio de Janeiro, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15823: Concreto auto – adensável – Classificação, controle e aceitação no estado fresco – Elaboração. Rio de Janeiro, 2010.*



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 16055: Parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – Requisitos e procedimentos - Elaboração*. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 67: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone – Referências – Elaboração*. Rio de Janeiro, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM C-157 – 91 – Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete. In: Annual Book of ASTM, 1991.

BERNARDES, G. *CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO* Disponível em: <<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/abnt-publica-norma-de-desempenho-15-575-desempenho-de-edificacoes-habitacio>> Acesso em: 05 Mar. 2015, 11:55:30.

CHAPE, W.T. Fôrmas de madeira – Norma geral. *Revista Técnica*, n. 147, p. 30, jun. 2007

CORRÊA, J.M. **Considerações sobre projeto e execução de edifícios em paredes de concreto moldado *in loco***. 2012. 78f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio São Carlos, São Carlos, 2012.

CORREIA, R. *CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO* Disponível em:<http://www.cbic.org.br/sala-de-imprensa/noticia/abnt-publica-norma-de-desempenho-15-575-desempenho-de-edificacoes-habitacio> Acesso em março 2014.

CORSINI, R. Paredes Normalizadas. *Revista techne*, São Paulo, ano 20, n. 183, p. 40-46, jun. 2012.

GEYER, A.L.B. **A melhoria da qualidade das superfícies do concreto através da drenagem com formas revestidas internamente por um geotêxtil**. 1995. 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pos-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GIAMMUSO, S.E. **Manual do Concreto**. São Paulo: Pini, 1992.

MARQUES, C.S. **Análise crítica da norma de desempenho, ABNT NBR 15575: 2013 com ênfase em durabilidade e manutenibilidade**. 2015. 74f. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Departamento de Materiais de Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Paredes de Concreto. *Revista Técnica*, n. 147, p. 74-78, jun. 2009.

NAKAMURA, J. Fôrmas de madeira – Cuidados na desforma. **Revista Técnica**, n. 147, p. 31, jun. 2009.

NEVILLE, A.M; BROOKS, J.J; **Tecnologia do Concreto**. Ed. Bookman, 2ª Edição. São Paulo 2013. 467p.

PACHECO, F. H. **Sistema parede de concreto: Elaboração de listas de verificação para aprimorar a execução dos serviços**. 2012. 76f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PANDOLFO, A. Edificações com paredes de concreto. . **Revista techne**, São Paulo, ano 15, n. 118, p. 61-64, jan. 2007.

PONZONI, J. **Paredes de concreto moldadas in loco: verificação do atendimento às recomendações da norma ABNT NBR 16055/2012 nos procedimentos executivos em obra de edifício residencial**. 2013. 79f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ROSSIGNOLO, J.A. Concreto estrutural leve. In: ISAIA, G.C.(Org.). **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. Vol. 2, p. 1331-1362..

SACHT, H, M. **Painéis de vedação de concreto moldados in loco: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimentos de concretos**. 2008, 286f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

SISTEMA NACIONAL DE AVALIAÇÕES TÉCNICAS. **Diretriz para Avaliação Técnica de sistemas construtivos em paredes de concreto armado moldadas no local**. Nº 001. Revisão 02. Brasília, 2011.

VENTURINI, J. Casas com paredes de concreto. *Revista Equipe de Obras*, São Paulo: Pini, n. 37, jul. 2011. Não paginado. Disponível em: <http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/37/artigo220698-1.asp>. Acesso em 15 jun. 2015.