

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Jéssica Ponzoni

**PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*:
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS RECOMENDAÇÕES
DA NORMA NBR 16055/2012 NOS PROCEDIMENTOS
EXECUTIVOS EM OBRA DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Porto Alegre
dezembro 2013

JÉSSICA PONZONI

**PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*:
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS RECOMENDAÇÕES
DA NORMA NBR 16055/2012 NOS PROCEDIMENTOS
EXECUTIVOS EM OBRA DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientadora: Cristiane Sardin Padilla de Oliveira

Porto Alegre
dezembro 2013

JÉSSICA PONZONI

**PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*:
VERIFICAÇÃO DO ATENDIMENTO ÀS RECOMENDAÇÕES
DA NORMA NBR 16055/2012 NOS PROCEDIMENTOS
EXECUTIVOS EM OBRA DE EDIFÍCIO RESIDENCIAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Professora Orientadora e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2013

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Ruy Alberto Cremonini (UFRGS)
Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Profa. Ana Paula Kirchheim (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Vinicio e Irani, e a meus irmãos, Gabriel e Cíntia, que sempre me apoiaram e incentivaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que se fez presente em todos os momentos da minha formação, em especial na decisão do tema, escolha da professora orientadora e procura da obra deste trabalho de conclusão.

Agradeço à Profa. Cristiane Sardin Padilla de Oliveira, orientadora deste trabalho, pela dedicação e comprometimento com a realização do mesmo, sempre disposta a responder meus questionamentos e buscar alternativas para o seu desenvolvimento.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt, coordenadora deste trabalho, por todos ensinamentos adquiridos, correções feitas para aprimorar este trabalho e paciência em responder as minhas dúvidas.

Agradeço a todos funcionários, engenheiros e mestres, do empreendimento consultado, pela oportunidade e disponibilidade de fazer a pesquisa em sua obra e disposição de materiais necessários à realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Vinicio e Irani, por todo amor e carinho, educação, dedicação, paciência, bons valores, confiança em mim, porque sempre acreditaram no sucesso dos meus estudos, e mesmo durante as adversidades a nossa família permaneceu unida.

Agradeço aos meus irmãos, Gabriel e Cíntia, por todo amor e carinho, amizade, respeito, consideração, parceria, conhecimento, em todos os momentos, sem exceções.

Agradeço ao meu cunhado, Rodrigo, por todo amor e carinho, amizade, respeito, consideração, parceria e cooperação principalmente durante o período de graduação.

Agradeço aos meus amigos, Carolina Hahn, Ana Paula Franz, Ana Maria Mendes e José Anício Junior, por todo amor e carinho, amizade, respeito, consideração, em todos os momentos.

Agradeço aos meus colegas, Ana Paula Dulinski, Márlon Longhi, Sibeli Bassiani, pelo companheirismo e pelos momentos vivenciados durante todo o período de graduação.

As almas que amam a Deus estão prontas a tudo.

Santo Padre Pio de Pietrelcina

RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação entre o sistema parede de concreto moldada *in loco*, como aplicado em uma obra, e os requisitos e procedimentos da NBR 16055/2012: parede de concreto moldada no local para a construção de edificações. A execução da obra avaliada, um empreendimento de prédios residenciais multifamiliares construídos com esse sistema, localizada na Região Metropolitana de Porto Alegre, iniciou antes da publicação da Norma. Assim, baseando-se no texto da NBR 16055/2012, os requisitos para execução de paredes de concreto moldadas *in loco* foram levantados e foi elaborado um *check-list* para verificação dos procedimentos em obra. Feito o levantamento dos procedimentos da Construtora, tendo como referência a lista elaborada, pode-se constatar o quanto o processo de execução das paredes de concreto realizado pela empresa segue a Norma vigente. Assim sendo, foi demonstrado que a obra não atendeu a todos os requisitos da referida Norma durante a execução desse sistema construtivo.

Palavras-chave: NBR 16055/2012. Sistema Parede de Concreto Moldada *in loco*. Execução de Paredes de Concreto Moldadas *in loco*.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Diagrama das etapas do projeto de pesquisa | 17 |
| Figura 2 – Execução das paredes de concreto moldadas no local | 20 |
| Figura 3 – Casas térreas com sistema de paredes de concreto | 20 |
| Figura 4 – Edifício residencial Bogotá na Colômbia | 21 |
| Figura 5 – Ninhos de concretagem | 23 |
| Figura 6 – <i>Radier</i> | 24 |
| Figura 7 – Montagem das fôrmas | 25 |
| Figura 8 – Colocação das armaduras e espaçadores | 26 |
| Figura 9 – Colocação das tubulações e caixas elétricas | 26 |
| Figura 10 – Colocação dos gabaritos | 27 |
| Figura 11 – Colocação e encaixe dos pinos com bucha | 27 |
| Figura 12 – Colocação das réguas alinhadoras | 28 |
| Figura 13 – Realização do <i>slump test</i> | 29 |
| Figura 14 – Ensaio de espalhamento | 29 |
| Figura 15 – Concretagem das paredes com uso de funil | 29 |
| Figura 16 – Desforma | 31 |
| Figura 17 – Tolerâncias para o comprimento da parede | 38 |
| Figura 18 – Tolerância para desvios horizontais | 39 |
| Figura 19 – Tolerância para desaprumo | 39 |
| Figura 20 – Planta de implantação do empreendimento | 49 |
| Figura 21 – Fachada do edifício-exemplo | 49 |
| Figura 22 – Obra em andamento | 50 |
| Figura 23 – Macaco entre os vãos das portas e alinhador ao lado das fôrmas | 52 |
| Figura 24 – Corbatas para fechamento e travamento das fôrmas | 52 |
| Figura 25 – Pinos e cunhas para fechamento e travamento das fôrmas | 53 |
| Figura 26 – Escoramento residual | 53 |
| Figura 27 – <i>Shafts</i> e tubulações hidráulicas | 55 |
| Figura 28 – Tubulações elétrica aparente | 55 |
| Figura 29 – Aplicação de desmoldante | 57 |
| Figura 30 – Armaduras estocadas diretamente no solo | 58 |
| Figura 31 – Espaçadores bolacha e lagartixa | 59 |
| Figura 32 – Armadura sem espaçador e exposta após desforma | 59 |
| Figura 33 – Ancoragem entre lajes e paredes | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 34 – Tentativa de fechamento das juntas e perda de pasta | 61 |
| Figura 35 – Marcação das paredes | 63 |
| Figura 36 – Utilização dos espaçadores bolacha | 64 |
| Figura 37 – Nivelamento da laje | 64 |
| Figura 38 – Abatimento do tronco de cone | 66 |
| Figura 39 – Concretagem das escadas | 66 |
| Figura 40 – Falhas de concretagem | 68 |
| Figura 41 – Junta de concretagem | 69 |
| Figura 42 – Corrosão de armadura provocada pelo contato do revestimento de gesso e descolamento do revestimento de gesso pela infiltração de umidade..... | 71 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – <i>Check-list</i> | 46 |
| Quadro 2 – <i>Check-list</i> projeto fôrmas | 54 |
| Quadro 3 – <i>Check-list</i> componentes embutidos e aberturas temporárias | 56 |
| Quadro 4 – <i>Check-list</i> aplicação de desmoldante | 57 |
| Quadro 5 – <i>Check-list</i> armadura | 60 |
| Quadro 6 – <i>Check-list</i> fôrmas | 62 |
| Quadro 7 – <i>Check-list</i> concretagem | 67 |
| Quadro 8 – <i>Check-list</i> adensamento | 68 |
| Quadro 9 – <i>Check-list</i> controle do concreto | 69 |
| Quadro 10 – <i>Check-list</i> juntas de concretagem | 70 |
| Quadro 11 – <i>Check-list</i> acabamento | 71 |
| Quadro 12 – <i>Check-list</i> cura | 71 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 DIRETRIZES DA PESQUISA | 15 |
| 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA | 15 |
| 2.2.1 Objetivo Principal | 15 |
| 2.2.2 Objetivo Secundário | 15 |
| 2.3 HIPÓTESE | 16 |
| 2.4 PREMISSA | 16 |
| 2.5 DELIMITAÇÕES | 16 |
| 2.6 LIMITAÇÕES | 16 |
| 2.7 DELINEAMENTO DA PESQUISA | 16 |
| 3 SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS <i>IN LOCO</i> | 19 |
| 3.1 DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DAS PAREDES DE CONCRETO | 19 |
| 3.2 VANTAGENS DAS PAREDES DE CONCRETO | 21 |
| 3.3 DESVANTAGENS DAS PAREDES DE CONCRETO | 22 |
| 3.4 PROCESSO CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS <i>IN LOCO</i> | 23 |
| 3.4.1 Fundações | 24 |
| 3.4.2 Montagem dos Painéis e Armaduras | 25 |
| 3.4.3 Colocação das Tubulações e Gabaritos das Esquadrias | 26 |
| 3.4.4 Fechamento das Fôrmas | 27 |
| 3.4.5 Concretagem | 28 |
| 3.4.6 Desforma e Cura | 30 |
| 3.4.7 Acabamento | 31 |
| 4 PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL: REQUISITOS E PROCEDIMENTOS NA NBR 16055/2012 | 32 |
| 4.1 REQUISITOS PARA FÔRMAS | 33 |
| 4.1.1 Componentes Embutidos nas Fôrmas e Redução de Seção | 34 |
| 4.1.2 Aberturas Temporárias em Paredes | 34 |
| 4.1.3 Uso de Agentes Desmoldantes | 35 |
| 4.2 REQUISITOS PARA ARMADURAS | 35 |
| 4.3 REQUISITOS PARA CONCRETAGEM | 37 |
| 4.3.1 Cuidados Preliminares | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 4.3.2 Tolerâncias | 37 |
| 4.3.3 Plano de Concretagem | 40 |
| 4.3.4 Transporte de Concreto na Obra | 41 |
| 4.3.5 Lançamento de Concreto | 41 |
| 4.3.6 Adensamento do Concreto | 42 |
| 4.3.7 Controle Tecnológico do Concreto | 43 |
| 4.3.8 Juntas de Concretagem | 43 |
| 4.3.9 Acabamento | 44 |
| 4.4 REQUISITOS PARA CURA | 45 |
| 5 LEVANTAMENTO DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS NO EMPREENDIMENTO ESTUDADO | 46 |
| 5.1 ELABORAÇÃO DO <i>CHECK-LIST</i> | 46 |
| 5.2 APRESENTAÇÃO DA OBRA-EXEMPLO | 48 |
| 5.3 COMPARAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DA NBR 16055/2012 COM A OBRA ESTUDADA | 51 |
| 5.3.1 Projeto de Fôrmas | 51 |
| 5.3.2 Componentes Embutidos e Aberturas Temporárias | 54 |
| 5.3.3 Aplicação de Desmoldante | 56 |
| 5.3.4 Armadura | 57 |
| 5.3.5 Fôrmas | 61 |
| 5.3.6 Concretagem | 62 |
| 5.3.7 Adensamento | 67 |
| 5.3.8 Controle do Concreto | 68 |
| 5.3.9 Juntas de Concretagem | 69 |
| 5.3.10 Acabamento | 70 |
| 5.3.11 Cura | 71 |
| 6 ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS | 72 |
| REFERÊNCIAS | 75 |

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, atualmente, a construção civil vem sendo impulsionada pelas desafiadoras metas de crescimento da economia do País através de incentivos do governo, como por exemplo, a facilidade de obtenção de crédito e financiamentos. Outro fator que favorece a área, é o aumento da classe média. Segundo pesquisa realizada pelo Instituto Data Popular, “Cerca de 11 milhões de famílias integrantes da Classe C pretendem comprar uma casa própria nos próximos dois anos, [...]” (CLASSE..., 2012). Os construtores e empreendedores, considerando este cenário, buscam alternativas mais eficientes, como a adoção de tecnologias economicamente viáveis, para facilitar o ganho e otimização do trabalho no canteiro de obras.

Uma das opções é o sistema paredes de concreto moldadas no local. A aplicação dessa técnica construtiva gera um custo inicial elevado, porém o investimento é compensado quando as vantagens são analisadas. Por exemplo, através da coordenação modular o sistema de fôrmas é racionalizado, podendo ser aplicado nos mais diversos projetos e permitindo a padronização e a produção em grande escala. A consequência é o aumento de produtividade com a eliminação das improvisações no canteiro que ocasionam erros, desperdícios e retrabalhos.

Segundo Misurelli e Massuda (2009, p. 74), “No sistema construtivo de paredes de concreto, a vedação e a estrutura são compostas por esse único elemento. As paredes são moldadas *in loco*, tendo embutidas as instalações elétricas, hidráulicas e as esquadrias.”. O sistema tem como característica maior velocidade de execução que pode influenciar, consideravelmente, no cumprimento dos prazos.

Na produção, ocorre a otimização dos processos com a repetição das unidades, mecanização e a reutilização das fôrmas em obras com a mesma tipologia. Outro aspecto importante é a possibilidade de aumento no controle de qualidade, bem como a diminuição das perdas de materiais. Com relação à mão de obra na adoção desse processo, esta não precisa ser especializada, porém se faz necessário garantir uma qualificação da equipe através de simples treinamentos (MISURELLI; MASSUDA, 2009).

Este sistema é recomendável em obras de alta repetitividade, podendo ser tanto em conjuntos habitacionais de casas unifamiliares como em edificações de interesse social com pavimentos

padronizados. Assim, o alto investimento em fôrmas, sendo tanto por aquisição, como por locação, será compensado à medida que as unidades vão sendo entregues.

Na Engenharia Civil, o desenvolvimento de técnicas que não agridem o meio ambiente e permitem a melhoria dos processos construtivos nas edificações são de suma importância. Esse setor é responsável por aproximadamente 450 kg de entulho por habitante por ano no Brasil (CASTRO, 2012, p. 17). Misurelli e Massuda (2009, p. 76) afirmam que a solução com paredes de concreto tem apresentado grande resultado na eliminação do desperdício de materiais. A característica marcante do sistema consiste no reaproveitamento constante das fôrmas, influenciando a preservação da natureza, principalmente se utilizado as fôrmas metálicas, “A aquisição nesses casos pode ser um bom negócio, pois, de acordo com os fabricantes, as fôrmas metálicas de alumínio podem ser reutilizadas até 1,5 mil vezes.” (CICHINELLI, 2010).

As empresas vêm adotando este método construtivo e com a publicação da NBR 16055: parede de concreto moldada no local para a construção de edificações, em abril de 2012, a implementação deste novo sistema consolidou-se para o setor da construção civil. A Norma padroniza os procedimentos executivos para paredes de concreto para edificações com até 5 pavimentos, tornando-se de consulta obrigatória.

O atendimento às recomendações da Norma é essencial para aperfeiçoar a técnica, aumentar a segurança e confiabilidade no sistema, garantindo a qualidade do produto final. O presente trabalho pretende avaliar e comparar o que de fato vem sendo executado na obra em estudo frente aos requisitos executivos agora regulamentados por esta Norma.

Este trabalho é composto por seis capítulos. Inicialmente, é apresentado o tema com a discussão de sua importância e justificativa referente a sua escolha. O segundo capítulo apresenta as diretrizes do trabalho (questão de pesquisa, objetivos, hipótese, premissa, delimitações, limitações e delineamento).

No terceiro capítulo, fruto da revisão bibliográfica, é detalhado o sistema construtivo de paredes de concreto moldadas *in loco*, bem como suas características, vantagens e desvantagens. É dada ênfase aos procedimentos executivos para melhor especificar o modo construtivo. No quarto capítulo são abordados os requisitos da NBR 16055/2012 quanto a estes procedimentos.

No capítulo seguinte, elabora-se um *check-list* para a verificação das etapas construtivas do sistema visando uma comparação com o realizado e o proposto na Norma. Apresenta-se o empreendimento, localizado na Região Metropolitana de Porto Alegre, que adotou o sistema construtivo paredes de concreto moldadas no local e se comenta as principais características da obra. Então, é feita a descrição do acompanhamento e levantamento destes procedimentos executivos em campo, avaliando os resultados com retomada aos principais tópicos abordados e discutidos durante o estudo. Por fim, no sexto capítulo é apresentado a análise e as considerações finais do trabalho.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa a ser respondida neste trabalho é: frente às recomendações da NBR 16055/2012 para execução de paredes de concreto, na obra em estudo, os requisitos relativos a esses procedimentos são atendidos?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

Esta pesquisa tem como objetivo principal a verificação do atendimento das recomendações da NBR 16055/2012, referente à execução das paredes de concreto moldadas *in loco*, no canteiro de obras da Construtora que participa do estudo, avaliando se esta cumpre os requisitos de execução previstos, mesmo tendo a obra iniciado antes da publicação da referida Norma.

2.2.2 Objetivo Secundário

É objetivo secundário deste trabalho a elaboração de um *check-list* dos procedimentos construtivos de paredes de concreto moldado *in loco* para conferência em obra visando à análise dos parâmetros em conformidade com a Norma.

2.3 HIPÓTESE

Como hipótese da pesquisa, admite-se que a Construtora, que tem executado edificações empregando paredes de concreto moldadas *in loco* como sistema construtivo, executa estes elementos conforme previsto na NBR 16055/2012, apesar da Norma ter sido publicada após o início da obra.

2.4 PREMISSA

A execução de paredes de concreto armado deve atender aos procedimentos regulamentados na Norma Técnica vigente na busca de estruturas com maior qualidade e melhor desempenho.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho fica delimitado a verificação do atendimento dos procedimentos executivos da NBR 16055/2012 em obra construída com paredes de concreto armado moldadas no local, na Região Metropolitana de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

Como limitações do estudo proposto estão a verificação de apenas:

- a) três itens da Norma, ou seja, requisitos para,
 - montagem das armaduras e fôrmas;
 - concretagem;
 - cura;
- b) um ciclo de concretagem na obra em estudo, porém considerado suficiente para o contexto deste trabalho de diplomação.

2.7 DELINEAMENTO DA PESQUISA

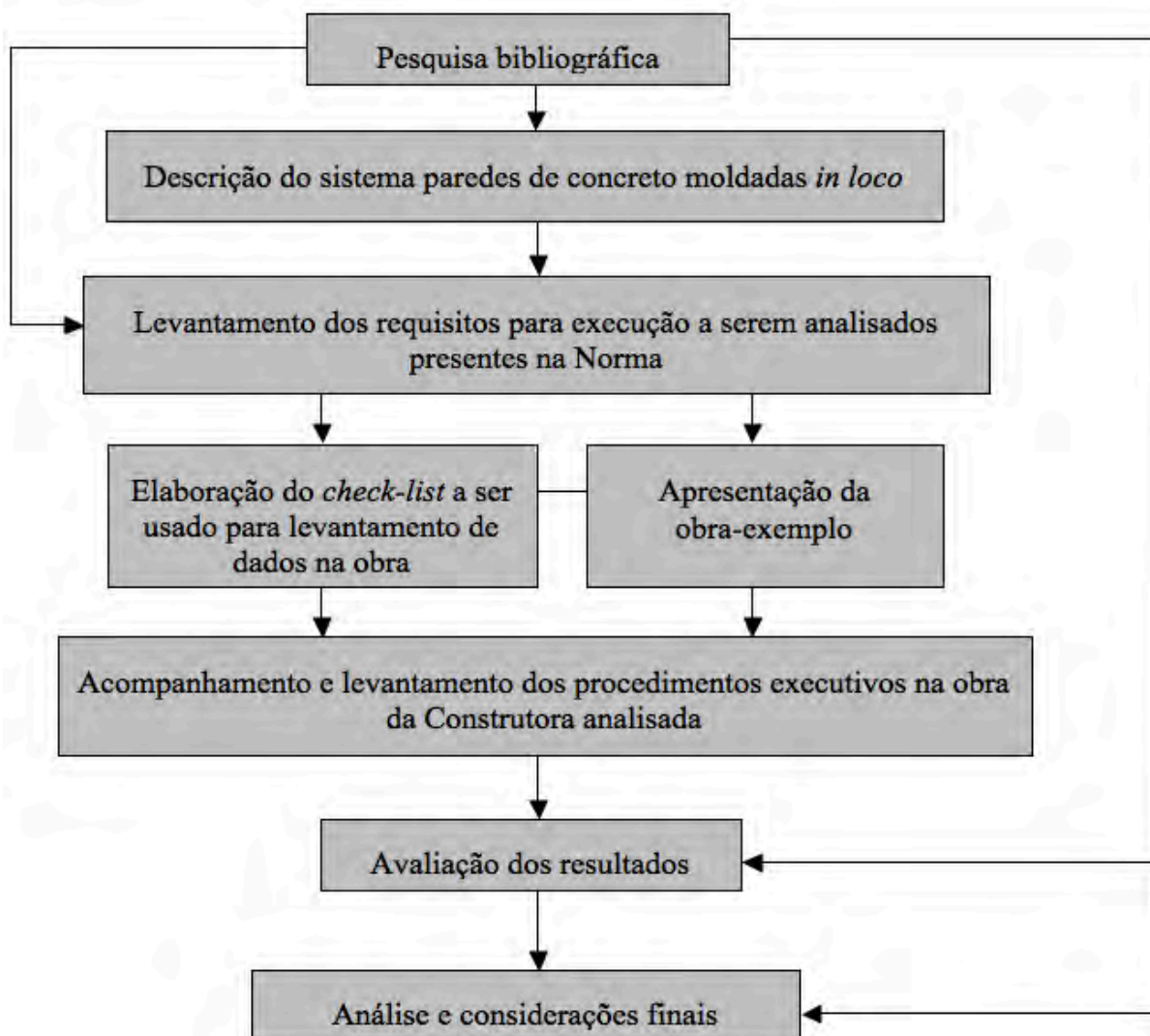
O trabalho foi desenvolvido através das seguintes etapas:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) descrição do sistema paredes de concreto moldadas *in loco*;

- c) levantamento dos requisitos para execução a serem analisados presentes na Norma;
- d) elaboração do *check-list* a ser usado para levantamento de dados na obra;
- e) apresentação da obra-exemplo;
- f) acompanhamento e levantamento dos procedimentos executivos na obra da Construtora analisada;
- g) avaliação dos resultados;
- h) análise e considerações finais.

Na figura 1, apresenta-se a sequência de etapas de como a pesquisa foi desenvolvida. Cada etapa foi detalhada a seguir.

Figura 1 — Diagrama das etapas do projeto de pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A **pesquisa bibliográfica** voltou-se principalmente para a análise da NBR 16055/2012, que trata de paredes de concreto moldadas *in loco* e aborda desde os requisitos gerais para a qualidade da parede até as propriedades de materiais, análise estrutural e os procedimentos para a execução das paredes. Também são analisados artigos técnicos, bem como coletâneas de ativos sobre o sistema de paredes de concreto.

Na sequência, **descreve-se o sistema paredes de concreto moldadas *in loco***, sendo abordadas as etapas de execução acompanhadas na obra. Para se obter as informações necessárias para a análise do trabalho, faz-se o **levantamento dos requisitos para execução** baseados nessa Norma.

Na próxima etapa, **elabora-se o *check-list* a ser usado para levantamento de dados na obra** que é estruturado nos itens presentes nos procedimentos executivos definidos anteriormente, considerando desde o sistema de fôrmas até a cura do concreto. Faz-se a **apresentação da obra-exemplo** selecionada para o estudo, que possui as características adequadas para o desenvolvimento da pesquisa. O *check-list* serviu de apoio para o passo seguinte, a verificação das etapas realizadas na obra apresentada.

As fases de execução do empreendimento são acompanhadas e assim, pode-se **levantar os procedimentos executivos da obra da Construtora** frente ao *check-list*. Nesse momento, são comparados os dados coletados com os definidos na Norma. Assim, pode-se **avaliar os resultados** da questão apontada anteriormente.

Finalmente, com todo o conhecimento adquirido e com a evolução do trabalho, realiza-se a **análise final** do modo como a Empresa vem executando o sistema parede de concreto. Então se pode avaliar se a respectiva obra atende aos critérios de execução indicados na Norma ou se a Construtora ainda precisa adequar seu processo construtivo.

3 SISTEMA CONSTRUTIVO PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*

O sistema construtivo apresentado no trabalho é de estruturas com paredes de concreto armado moldadas *in loco*. Esse sistema é apresentado e detalhado nos próximos subitens através de sua definição, aplicação, vantagens, desvantagens e uma das maneiras possíveis do seu processo construtivo .

3.1 DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO DAS PAREDES DE CONCRETO

Parede de concreto é, por definição da NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 3), “Elemento estrutural autoportante, moldado no local, com comprimento maior que dez vezes sua espessura e capaz de suportar carga no mesmo plano da parede.”. A Norma também considera as paredes como sendo concretadas com os elementos de fachada e armaduras. Já as instalações elétricas e hidráulicas podem ou não ser embutidas. Considera também que as lajes e as paredes funcionam como um único sistema. A figura 2 representa uma estrutura com parede de concreto em execução.

A Norma contempla apenas edifícios baixos de até cinco pavimentos (figura 3), visto que “A escolha dessa configuração não foi feita ao acaso. A principal explicação é a de que as construtoras passaram a ver, nessa tipologia, um produto promissor para um mercado em expansão - o de habitação popular.” (FARIA, 2009b). Faria (2009b) ainda acrescenta que “[...] a elaboração de uma norma específica para essa tipologia seria mais rápida que a de um texto que também contemplasse torres com mais pavimentos.”.

Apesar dessa Norma ser específica para cinco pavimentos, temos edificações com mais andares utilizando este sistema, como visto em obras no exterior, exemplificado na figura 4.

Figura 2 – Execução das paredes de concreto moldadas no local



(fonte: FARIA, 2009a)

Figura 3 – Casas térreas construídas com sistema de paredes de concreto



(fonte: MISURELI; MASSUDA, 2009, p. 74)

Figura 4 – Edifício residencial Bogotá na Colômbia



(fonte: MAYOR, 2008)

3.2 VANTAGENS DAS PAREDES DE CONCRETO

Como vantagens das paredes de concreto pode-se citar:

- a) “[...] utilização do concreto para a construção total de uma residência é mais caro que a tradicional alvenaria, [...] mas em escala, ele é **mais barato** e, principalmente, muito **mais rápido**.” (PARA..., 2007, grifo nosso);
- b) “[...] uma das coisas mais importantes é que há a garantia de **uniformização**, o processo se torna industrial, não há mais as variações do processo artesanal.” (PARA..., 2007, grifo nosso);
- c) “Processos que utilizam fôrmas preenchidas de concreto, quase como se fossem casas de montar, tem uma **economia média de tempo de 50%**. Além disso, o número de **empregados por metro quadrado também cai**.” (PARA..., 2007, grifo nosso);
- d) “Boa solução para empreendimentos que tenham **alta repetitividade**, necessidade de **padronização** e **rapidez na construção**.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008, p. 21, grifo nosso);
- e) “[...] sistema baseado inteiramente em conceitos de **industrialização de materiais e equipamentos, mecanização, modulação, controle tecnológico, multifuncionalidade e qualificação da mão de obra**.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008, p. 175, grifo nosso);
- f) “[...] são **eliminadas cerca de dez etapas** [em comparação com a alvenaria estrutural], [...] eliminamos arremates de vãos de janelas, vergas e contravergas, colocação e acabamento de partes elétricas, grauteamento, produção de argamassa para assentar blocos, transporte de blocos, e muitas outras.” (FERREIRA, 2012, grifo nosso).

Além da alta velocidade de execução, segundo a ABESC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM, 2012), ocorre menos desperdício de materiais, sendo mais apropriado se comparado ao sistema convencional. No que diz respeito ao acabamento, a parede tem uma planicidade maior e pode ser pintada diretamente, dispensando a execução de revestimento argamassado. A qualidade também é maior por diminuir a variação do prumo da parede. Com isso é possível fixar o caixilho apenas com espuma, eliminando-se outras etapas, como as de fixação e chumbamento de contramarco. A ABESC também afirma que o sistema pode eliminar a proteção de periferia da laje onde as paredes já foram moldadas, tornando o sistema mais seguro e também diminuindo este custo para a obra.

3.3 DESVANTAGENS DAS PAREDES DE CONCRETO

Algumas desvantagens desse sistema são:

- a) “Como a tecnologia ainda é uma novidade, exige **mobilização maior de tempo** e recursos por parte de calculistas. Assim, num primeiro momento, os **projetos** tendem a ficar de 20% a 30% **mais caros** do que de estruturas aperticadas convencionais.” (FARIA, 2009b, grifo nosso);
- b) “[...] provável **condicionamento do projeto arquitetônico.**” (NUNES, 2011, p. 28, grifo nosso);
- c) “[...] **dificuldade de reformas** que modifiquem a disposição das paredes estruturais.” (NUNES, 2011, p. 28, grifo nosso);
- d) “[...] **elevado investimento** inicial para a construtora.” (NUNES, 2011, p. 28, grifo nosso).

Barbosa (2005, p. 64) relata que o grande investimento inicial se deve essencialmente à necessidade de aquisição do sistema de fôrmas para cada tipologia, sendo, assim, empregado em obras com elevado número de repetições que possibilita a diminuição desses custos.

A dificuldade de realização de reparos após a ocupação dos indivíduos é outro quesito que deve ser levado em consideração. Costa (2013), apresentou os problemas encontrados de origem elétrica e hidráulica, como a presença de tubulações elétricas entupidas pelo concreto em eletrodutos desprotegidos. A estanqueidade das paredes também pode gerar um problema. Se a impermeabilização não for realizada de forma correta, pode surgir umidade elevada nas paredes causando um transtorno aos moradores.

Ainda podem ocorrer falhas de concretagem que comprometem a estrutura da parede, “[...] principalmente em locais com grande presença de armaduras, eletrodutos, caixas ou no espaço entre o peitoril da janela e a espera para o ar condicionado.” (PACHECO, 2012). A figura 5 mostra ninhos de concretagem abaixo de caixas elétricas.

Figura 5 – Ninhos de concretagem



(fonte: PACHECO, 2012)

3.4 PROCESSO CONSTRUTIVO DE PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS *IN LOCO*

Conforme Venturini (2011), “A execução de paredes de concreto pode variar de acordo com os processos construtivos adotados por diferentes construtoras. O material das fôrmas e seu fechamento, assim como o tipo de concreto utilizado, são alguns itens que podem mudar de empresa para empresa.”. As principais etapas de execução, que são detalhadas nos próximos itens, são:

- a) fundações;
- b) montagem dos painéis e armaduras;
- c) colocação das tubulações e gabaritos das esquadrias;
- d) fechamento das fôrmas;

- e) concretagem;
- f) desforma;
- g) cura;
- h) acabamento.

3.4.1 Fundações

Existem diferentes tipos de fundações possíveis de serem adotados. Por exemplo, segundo a ABCP, “Podem ser empregados os sistemas de fundações em sapata corrida, laje de apoio (*radier*) e blocos de travamento para estacas ou tubulões conforme especificações de projeto.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND et al., 2008, p. 77).

A ABCP indica que a escolha do tipo da fundação depende da resistência mecânica do solo do local onde o empreendimento estará localizado. Venturini (2011) exemplifica o caso no qual foi utilizada laje do tipo *radier*, indicando que “[...] é preciso fazer o *radier*, fundação rasa de concreto estruturada com telas metálicas e atravessada por parte das tubulações [de esgoto] da residência.”, como ilustrado na figura 6. Neste caso, não é necessário executar contrapiso para colocar o revestimento cerâmico final no piso do pavimento térreo. A concretagem das paredes pode ser iniciada dois dias após a finalização da fundação.

Figura 6 – *Radier*



(fonte: VENTURINI, 2011)

3.4.2 Montagem dos Painéis e Armaduras

Segundo Venturini (2011), após a aplicação do desmoldante, que impede a aderência do concreto nas fôrmas, o próximo passo é a montagem dos painéis. Primeiro, são montados os painéis internos das paredes (figura 7). As armaduras devem estar prontas para serem encaixadas e fixadas nos painéis (figura 8).

O autor salienta que o uso de espaçadores é obrigatório, pois garantem o cobrimento das armaduras. Nas armaduras verticais (figura 8), o autor também sugere o uso de dois espaçadores menores justapostos para facilitar o deslizamento do concreto dentro das fôrmas.

Figura 7 – Montagem das fôrmas



(fonte: FONSECA JUNIOR; BARELLA FILHO, 2008, p. 23)

Figura 8 – Colocação das armaduras e espaçadores



(fonte: VENTURINI, 2011)

3.4.3 Colocação das Tubulações e Gabaritos das Esquadrias

O passo seguinte é o posicionamento dos componentes das instalações elétricas e hidráulicas nas fôrmas. Conforme apresentado na figura 9, as caixinhas de comando e de distribuição são aparafusadas nos painéis. Eles possuem encaixes específicos para fixação desses elementos. Os gabaritos das esquadrias são colocados nas fôrmas (figura 10), com folga de 1 cm, para que seja garantido o vão na parede após a concretagem e seja possível instalar as portas e janelas (VENTURINI, 2011).

Figura 9 – Colocação das tubulações e caixas elétricas



(fonte: VENTURINI, 2011)

Figura 10 – Colocação dos gabaritos



(fonte: VENTURINI, 2011)

3.4.4 Fechamento das Fôrmas

Conforme Venturini (2011), as fôrmas estão prontas para serem fechadas pelos painéis externos quando a colocação dos pinos com bucha forem feitas nos furos dos painéis (figura 11). Esses pinos devem ser encaixados corretamente, porque são eles que garantem a espessura especificada em projeto. Se os pinos forem bem posicionados, as fôrmas ficam bem alinhadas depois de fechadas. O autor ainda acrescenta que os pinos também têm a função de fixar as régua alinhadoras, necessárias no travamento de estruturas metálicas (figura 12).

Figura 11 – Colocação e encaixe dos pinos com bucha



(fonte: VENTURINI, 2011)

Figura 12 – Colocação das régulas alinhadoras



(fonte: VENTURINI, 2011)

3.4.5 Concretagem

Primeiramente, a parte inferior das fôrmas é fechada com pasta de cimento para evitar que a nata na hora da concretagem vaze pela base da fôrma. Durante o recebimento do concreto é feito a verificação da qualidade. Em seguida, o concreto pode ser bombeado se suas propriedades previamente especificadas pelo projetista foram atingidas pelo ensaio de adensamento (*slump*), previsto na NBR 12655/2006¹ ou espalhamento, previsto na NBR 15823/2010² (figuras 13 e 14). As lajes podem ser concretadas junto com as paredes ou após a desforma das mesmas (VENTURINI, 2011).

Para Fonseca Junior e Barella Filho (2008, p. 23), precauções devem ser tomadas para evitar a segregação do concreto. Por exemplo, a utilização de concreto autoadensável, preferencialmente ao convencional, é uma opção por ter a fluidez desejada e assim sendo não necessita de vibração. Os autores ainda sugerem o uso de funis ou trombas em peças muito esbeltas para que se mantenha a homogeneidade do concreto (figura 15).

¹ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.

² ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: concreto autoadensável. Rio de Janeiro, 2010.

Figura 13 – Realização do *slump test*

(fonte: MISURELI; MASSUDA, 2009)

Figura 14 – Ensaio de espalhamento



(fonte: BORTOLINI, 2012)

Figura 15 – Concretagem das paredes com uso de funil



(fonte: FONSECA JUNIOR; BARELLA FILHO, 2008)

As paredes de concreto, devido a sua esbeltez, tornam difícil o acesso do vibrador ao fundo das fôrmas, embaixo das esquadrias e em locais onde há grande concentração de armaduras ou tubulações embutidas. Portanto, a utilização do concreto autoadensável que dispensa a vibração, dentre outros benefícios, é extremamente recomendado para a concretagem das paredes *in loco*.

Segundo Araújo et al.³ (2003, p. 1 apud TUTIKIAN, 2004), o concreto autoadensável é aquele que se molda sozinho através unicamente da força do seu peso próprio, não necessitando de qualquer tecnologia de compactação ou vibração. Ribeiro e Leal (2011, p. 2) afirmam que “Um concreto só será considerado autoadensável, se três propriedades forem alcançadas: a fluidez, a coesão necessária para que a mistura escoie intacta entre barras de aço e a resistência à segregação.”.

Estas propriedades podem ser alcançadas adicionando aditivos superplastificantes ou minerais ao concreto convencional. De acordo com Aïtcin⁴ (2000 apud RIBEIRO; LEAL, 2011, p. 2):

[...] pela ação dos superplastificantes as partículas de cimento tendem a deflocular aprisionando uma quantidade menor de água e produzindo um número maior de silicatos de cálcio hidratado (C-S-H), reduzindo assim, a porosidade do concreto, além de permitir a especificação de relações água/cimento bem inferiores das comumente utilizadas, sem comprometer a trabalhabilidade do concreto. Já as adições minerais, têm como finalidades preencher os espaços vazios na pasta de cimento (ação física) e transformar a zona de transição em uma região densa, que nos concretos usuais é apresentada como uma região bastante porosa devido aos produtos cristalinos. Além disso, as adições minerais reagem com o hidróxido de cálcio transformando-os em silicato de cálcio hidratado (ação química), fazendo do agregado um fator primordial para a obtenção de altas resistências.

3.4.6 Desforma e Cura

Segundo Fonseca Junior e Barella Filho (2008, p. 23), sabe-se que o concreto pode ser desformado “Ao atingir a resistência e a elasticidade previstas em projeto, [...]”, com acompanhamento dos ensaios do controle de aceitação do concreto no estado endurecido. Os autores afirmam ainda que o “[...] concreto deve ser desformado sem choques para evitar o aparecimento de fissuras por ações mecânicas. Os painéis devem ser limpos, com cuidadosa remoção da película de argamassa que adere à superfície.” (figura 16).

³ ARAÚJO, J. L.; BARBOSA, N. P.; SANTOS, S. B. dos; REGIS, P. A. Concreto auto-adensável com materiais locais no nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 45., 2003, Vitória. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2003. 1 CD.

⁴ AÏTCIN, P. C. Concreto de alto desempenho. São Paulo: **Pini**, 2000.

Após a desforma, a NBR 16055 especifica que “**A cura do concreto deve sempre ser executada**, e [...] Quanto mais cedo for feita a cura, menor a possibilidade de surgirem fissuras superficiais devido à grande área exposta.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 35, grifo do autor).

Figura 16 – Desforma



(fonte: VENTURINI, 2011)

3.4.7 Acabamento

Venturini (2011) indica que deve ser feito o controle de qualidade da parede, porque se houver falhas, a correção deve ser feita com preenchimento dos vazios com graute. Só então as paredes recebem o acabamento. Se surgirem pequenas falhas nas bordas das fôrmas, elas devem ser reparadas. De acordo com o autor, as paredes com massa corrida devem receber uma camada de selador. As unidades também podem receber outros tipos de revestimento nas paredes de concreto, tais como textura acrílica, grafiato (ranhuras) e cerâmica, que disfarçam pequenas imperfeições da superfície.

4 PAREDES DE CONCRETO MOLDADAS NO LOCAL: REQUISITOS E PROCEDIMENTOS NA NBR 16055/2012

A NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 1) fixa os requisitos mínimos exigidos para moldagem *in loco*, utilizando fôrmas removíveis, nas paredes de concreto. Nesta Norma são definidos algumas condições de validade de sua aplicação e casos em que ela não se aplica:

- a) condições para validade da Norma,
 - edifício simplificado de até cinco pavimentos;
 - vão livre máximo das lajes de 4 m;
 - sobrecarga máxima de 300 kgf/m²;
 - pé-direito máximo da construção de 3 m;
 - dimensões em planta de no mínimo 8 m;
- b) paredes de concreto para as quais a Norma não se aplica,
 - pré-fabricadas, bem como não são admitidas lajes pré-moldadas;
 - moldadas *in loco* com fôrmas incorporadas;
 - curvas;
 - submetidas predominantemente ao carregamento horizontal;
 - diafragma, paredes de contenções, fundações, outros elementos de fundações e solo grampeado.

Também a NBR 16055 indica o que é necessário constar no plano de qualidade da obra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 22):

- a) a relação de materiais com especificação, procedimentos de controle e aceitação;
- b) a relação de serviços de execução controlados, e os respectivos procedimentos de execução e inspeção;
- c) a identificação das especificidades no que se refere à manutenção das fôrmas.

Nos próximos itens são definidos os requisitos para a execução das paredes de concreto.

4.1 REQUISITOS PARA FÔRMAS

A Norma, em seu item 18.2.1 indica os requisitos básicos para o sistema de fôrmas para as paredes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 22):

O sistema de fôrmas é composto por estruturas provisórias, cujo objetivo é moldar o concreto fresco. É compreendido por painéis de fôrmas, escoramento, cimbramento, apuradores e andaimes, incluindo seus apoios, bem como as uniões entre os diversos elementos.

O sistema de fôrmas deve ser projetado e construído de modo a ter:

- a) resistência a ações a que possa ser submetido durante o processo de construção, considerando,
 - ações ambientais;
 - carga da estrutura auxiliar;
 - carga das partes da estrutura permanente a serem suportadas pela estrutura auxiliar até que o concreto atinja as características estabelecidas pelo responsável pelo projeto estrutural para remoção do escoramento;
 - efeitos dinâmicos acidentais produzidos pelo lançamento e adensamento do concreto, em especial o efeito de adensamento sobre o empuxo do concreto nas fôrmas das paredes, [...];
- b) rigidez suficiente para assegurar que as tolerâncias especificadas para a estrutura das paredes de concreto em 19.3.4⁵ [...] sejam satisfeitas e a integridade dos elementos estruturais não seja afetada;
- c) estanqueidade e conformidade com a geometria das peças que estão sendo moldadas.

O formato, a função, a aparência e a durabilidade de uma estrutura de parede de concreto permanente não devem ser prejudicados devido a qualquer problema com as fôrmas, o escoramento, os apuradores ou sua remoção.

O projeto do sistema de fôrmas deve ser realizado com observância do projeto estrutural. A Norma também especifica que o projeto contemple (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 23):

- a) detalhamento geométrico e posicionamento dos painéis;
- b) detalhamento geométrico dos equipamentos auxiliares;
- c) detalhamento geométrico do travamento e aprumo;

⁵ Item referente as tolerâncias geométricas das paredes, tolerâncias para o posicionamento das armaduras e nivelamento das fôrmas e do pavimento admissíveis na execução e abordado com detalhes no trabalho posteriormente.

- d) detalhamento do escoramento, inclusive escoramento residual permanente;
- e) tempo de retirada do escoramento residual;
- f) carga acumulada nas escoras do escoramento residual;
- g) sequência executiva de montagem e desmontagem;
- h) coordenação modular de projeto (NBR 15873/2010)⁶;

Os próximos itens se referem aos componentes embutidos, redução de seção, aberturas temporárias e uso de desmoldantes especificados na NBR 16055/2012.

4.1.1 Componentes Embutidos nas Fôrmas e Redução de Seção

Como é indicado na NBR 16055, após a desforma, todos os elementos presentes no projeto devem estar embutidos nas paredes. A presença de orifícios, que reduzem a seção da estrutura da parede, deve ser verificada pelo projetista da estrutura. Quanto ao processo de concretagem, a Norma indica que “Qualquer componente embutido deve preservar o seu formato [...] e resistir a contaminações que possam afetar sua integridade, a do concreto ou a da armadura. No caso de ser metálico, deve-se prever proteção contra a corrosão.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 24).

4.1.2 Aberturas Temporárias em Paredes

A mesma Norma prevê que as aberturas para trabalhos temporários “[...] de até 5 cm de diâmetro, com espaçamento vertical mínimo de 30 cm espaçamento horizontal mínimo de 60 cm, [...] devem ser preenchidos e acabados com um material de características similares e compatíveis às do concreto da estrutura.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 24).

⁶ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010.

4.1.3 Uso de Agentes Desmoldantes

A Norma segue especificando a escolha do desmoldante a ser empregado em fôrmas metálicas, de madeira, plásticas, ou seja, em qualquer tipo de fôrma a ser utilizada, para (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 24-25):

- a) garantir que o concreto não tenha aderência à fôrma;
- b) não deixar resíduos na superfície das paredes ou ser de difícil remoção, podendo comprometer a aderência do revestimento final e o aspecto da parede;
- c) não alterar as características físicas e químicas do concreto;
- d) não degradar a superfície das fôrmas.

Agentes desmoldantes devem ser aplicados de acordo com as especificações do fabricante, levando em consideração orientações referentes a requisitos ambientais e de saúde ocupacional.

4.2 REQUISITOS PARA ARMADURAS

Visando uma atenção especial com as armaduras, a Norma em seu item 18.3 trata do recebimento, transporte, armazenagem, posicionamento, limpeza, montagem e cobrimento das ferragens, bem como especifica que elas devem estar devidamente identificadas no canteiro de obra (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 25-26):

18.3.2 Recebimento, transporte e armazenagem

As armaduras não podem ser danificadas durante as operações de transporte, armazenagem e posicionamento no elemento estrutural.

As armaduras não podem ser estocadas em contato direto com o solo.

18.3.3 Limpeza

A superfície da armadura deve estar livre de ferrugem e substâncias deletérias que possam afetar de maneira adversa o aço, o concreto ou a aderência entre esses materiais.

[...]

Armaduras que apresentem produtos destacáveis na sua superfície em função do processo de corrosão devem passar por limpeza superficial. Após a limpeza, deve ser feita uma avaliação das condições da armadura, em especial de eventuais reduções de seção.

Caso a armadura apresente nível de oxidação que implique redução de seção, deve ser feita uma limpeza enérgica e posterior avaliação das condições de utilização pelo projetista estrutural, de acordo com as normas de especificação do produto,

eventualmente considerando-a como de diâmetro nominal inferior. No caso de corrosão por ação e presença de cloretos, [...] a armadura deve ser tratada para a retirada do sal e dos cloretos dessas pequenas cavidades e só poderá ser utilizada após comprovação da ausência de cloretos através de ensaios específicos.

18.3.4 Preparo e montagem da armadura

[...]

É imprescindível garantir o posicionamento das armaduras e a geometria dos painéis em obediência ao projeto, especialmente alinhamentos e espessura das paredes, com as tolerâncias estabelecidas [...], de modo que durante o lançamento do concreto a armadura se mantenha na posição estabelecida, conservando inalteradas as distâncias das armaduras entre si e com relação às faces internas das fôrmas.

O cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por espaçadores e sempre se refere à armadura mais exposta.

Os espaçadores devem ser uniformemente distribuídos e em quantidade suficiente para que garantem o cobrimento especificado em projeto, devendo estar devidamente fixados para que não sofram deslocamentos e não se soltem durante o lançamento do concreto.

Salienta como as emendas, ancoragens e proteções devem ser feitas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 26):

18.3.5 Emendas

[...]

As emendas de telas soldadas devem ser feitas de acordo com o previsto no projeto estrutural da parede de concreto.

Os valores das emendas devem ser respeitados, inclusive entre armaduras de elementos estruturais justapostos.

As emendas não previstas no projeto só podem ser executadas mediante consulta prévia ao projetista estrutural.

18.3.6 Ancoragens

As ancoragens de armaduras nos diferentes elementos estruturais devem seguir as especificações do projeto estrutural e todos os comprimentos de ancoragens devem estar cotados no projeto.

A ancoragem entre lajes e vigas ou entre lajes e paredes deve ser executada com a introdução da armadura da laje na armadura da viga ou parede.

18.3.7 Proteções

Antes e durante o lançamento do concreto, os caminhos e passarelas devem estar dispostos de modo a não acarretarem deslocamentos da armadura.

4.3 REQUISITOS PARA CONCRETAGEM

O preparo do concreto pode ser feito pela “[...] executante da obra ou por empresa de serviço de concretagem, sendo que ambos devem assumir a responsabilidade pelo serviço e cumprir as prescrições relativas às etapas de preparo do concreto [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 27). A concretagem, está descrita no capítulo 19 da Norma, que é subdividido em alguns tópicos que são detalhados nos itens que seguem.

4.3.1 Cuidados Preliminares

Verificam-se as dimensões, do nivelamento, prumo e alinhamento das **fôrmas** antes do lançamento do concreto. Isso assegura, segundo a ABNT no seu item 19.3.1, a correta posição e geometria dos elementos estruturais. Também, “[...] [a superfície das fôrmas] deve ser limpa e deve-se verificar a condição de estanqueidade das juntas, de maneira a evitar a perda de pasta ou argamassa.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 27). Também a Norma apresenta uma solução para evitar a perda de água da mistura, que é a molhagem da superfície das fôrmas que retêm umidade e a confecção de orifícios para fuga da água em demasia.

Segundo a NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 27), a conferência dos **escoramentos, alinhadores horizontais e aprumadores** deve ser feita antes da concretagem “[...] a fim de assegurar que as dimensões, posições e prumo das fôrmas sejam mantidos de acordo com o projeto e permitir o tráfego de pessoas e equipamentos necessários à operação de concretagem com segurança.”.

O cuidado com as **armaduras** deve estar de acordo com os itens 18.3.3 e 18.3.4 da Norma descritos anteriormente. Para o lançamento do concreto, “O projeto deve prever detalhamento da armadura que garanta o espaçamento necessário entre os elementos [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 27).

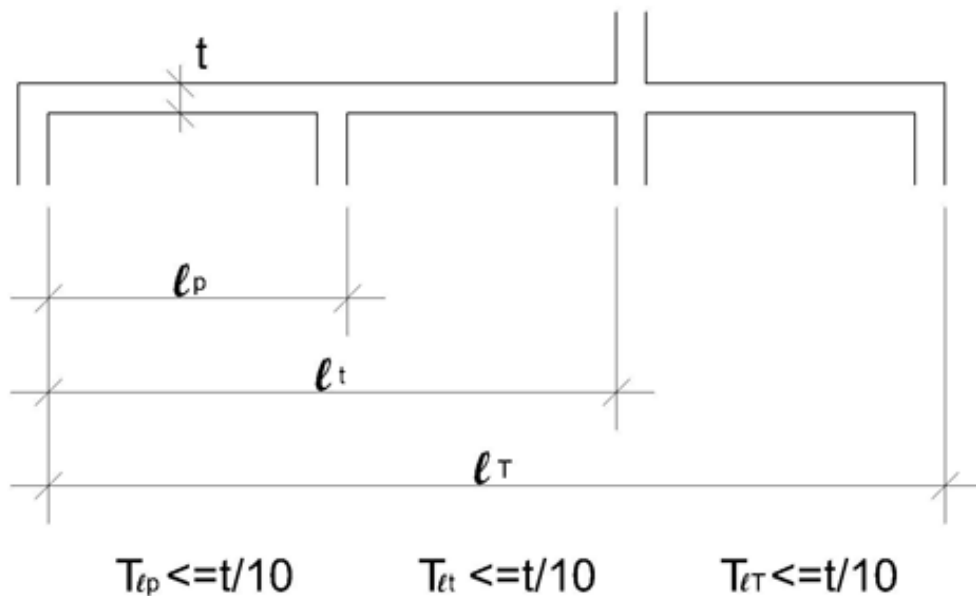
4.3.2 Tolerâncias

A Norma prevê as seguintes tolerâncias na execução de concretagem das paredes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 28-29):

- a) ± 5 mm na dimensão da **espessura das paredes** (t);
- b) para o **comprimento das paredes** (T_i), essa tolerância é de um décimo da espessura das paredes (figura 17), considerando a menor das espessuras se existirem espessuras diferentes;
- c) a tolerância de **desalinhamento horizontal** (Th), conforme figura 18, é o menor valor entre $\ell/500$ ou 5 mm, sendo ℓ , comprimento em milímetros;
- d) a posição de cada parede em relação ao definido em projeto é de ± 5 mm para locação dos eixos das paredes no primeiro pavimento e os pavimentos seguintes devem usar este eixo como referência;
- e) a tolerância do **desalinhamento vertical e desaprumo** (T_v) das paredes deve ser o menor valor entre $h/500$ ou 5 mm, sendo h , altura do pavimento em mm (figura 19);
- f) para o **desaprumo cumulativo** (T_{vT}) deve ser menor que 10 mm (figura 19).

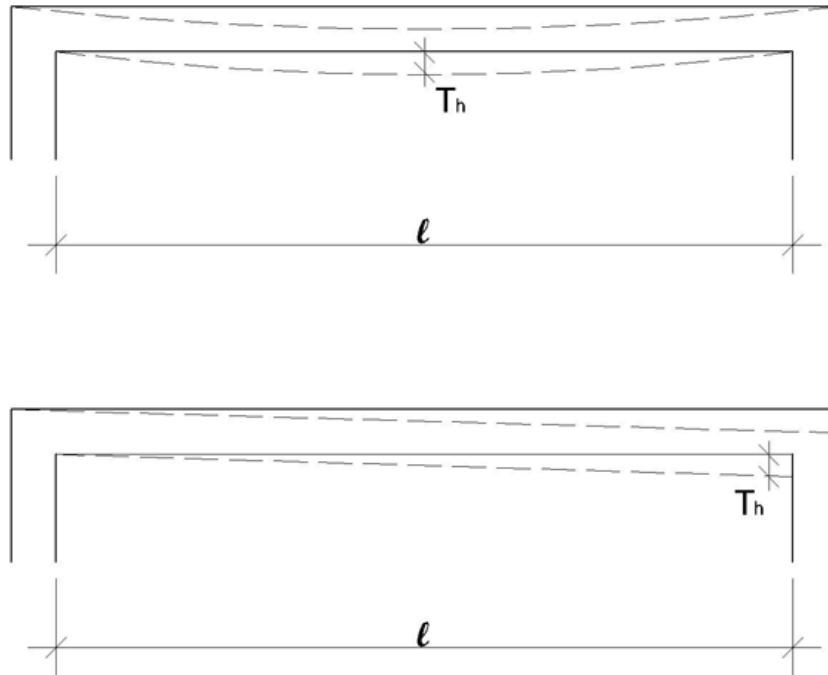
No que se refere ao **posicionamento das armaduras**, a mesma Norma fala que “É permitida uma tolerância de 2 cm em pontos isolados, desde que o cobrimento especificado não seja comprometido. No caso da utilização de tela dupla a tolerância é de 1 cm, [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 30).

Figura 17 – Tolerâncias para o comprimento da parede



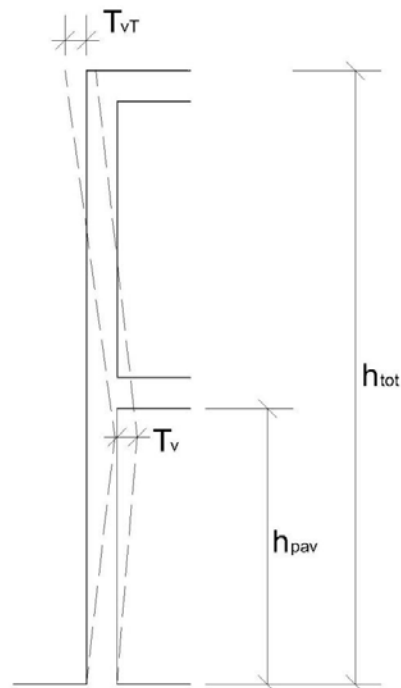
(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 28)

Figura 18 – Tolerância para desvios horizontais



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 29)

Figura 19 – Tolerância para desaprumo



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 29)

O **nivelamento** das fôrmas, segundo esta Norma, deve ser feito antes da concretagem e o nivelamento do pavimento, após a concretagem. Na conferência não se deve tolerar mais que 10 mm de diferença com relação às cotas de projeto, mas “Se forem necessárias tolerâncias maiores, elas só podem ser admitidas com a concordância do projetista estrutural e do responsável técnico da obra.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 30).

4.3.3 Plano de Concretagem

O plano de concretagem deve ser previamente estabelecido, segundo a NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 30), assegurando as características necessárias ao funcionamento da estrutura da parede com a quantidade adequada de concreto. O plano deve prever (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 30-31):

- a) a área ou o volume concretados em função do tempo de trabalho;
- b) a relação entre lançamento, adensamento e acabamento [...];
- c) as juntas de concretagem, quando necessárias, [...];
- d) o acabamento final que se pretende obter.

A capacidade (pessoal e equipamentos) de lançamento deve permitir que o concreto se mantenha plástico e livre de juntas não previstas durante a concretagem.

[...] os equipamentos utilizados devem permitir que o concreto seja levado até o ponto mais distante a ser concretado na estrutura sem sofrer segregação.

[...] durante a noite, o sistema de iluminação deve permitir condições de inspeção, acompanhamento de execução e controle dos serviços, e promover segurança na área de trabalho.

A Norma ainda afirma que a inspeção do sistema e respectiva liberação para concretagem deve ser realizada com antecedência “[...] de modo a assegurar que tudo esteja de acordo com o projeto, as especificações e as Normas Brasileiras pertinentes.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 31).

4.3.4 Transporte de Concreto na Obra

A mesma Norma indica que o tempo de transporte decorrido entre o início da mistura até a entrega do concreto na obra deve ser fixado de modo que o fim do adensamento não ocorra após o início da pega (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 31):

O tempo decorrido entre o início da mistura e a entrega do concreto no canteiro deve ser inferior a 90 minutos, e o tempo decorrido entre o início da mistura na central e o final da aplicação do concreto na fôrma não pode ultrapassar 150 min, salvo condições específicas definidas em projeto, ou influência de condições climáticas ou de composição do concreto.

Quando a temperatura ambiente estiver acima de 32° C, ou sob condições que contribuam para acelerar a pega do concreto, esse intervalo de tempo deve ser reduzido, a menos que sejam adotadas medidas especiais, como o uso de aditivos retardadores, que aumentem o tempo de pega sem prejudicar a qualidade do concreto.

A dimensão máxima do agregado graúdo deve ser limitada a 25 % do diâmetro da tubulação de bombeamento.

O sistema de transporte deve, sempre que possível, permitir o lançamento direto do concreto nas fôrmas, evitando o uso de depósitos intermediários; quando estes forem necessários, no manuseio do concreto devem ser tomadas precauções para evitar segregação.

4.3.5 Lançamento do Concreto

De acordo com a NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 31), antes de iniciar a concretagem, “[...] deve ser conferido o documento de entrega ou nota fiscal, certificando-se de que a descrição do concreto corresponde ao que foi solicitado.”. A dosagem pode ser completada no local da obra se forem necessários aditivos, como por exemplo, os aditivos superplastificantes (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 31-32):

Estes aditivos devem constar nas especificações do concreto e do documento de entrega.

Antes do lançamento, deve-se verificar se o concreto está com a trabalhabilidade especificada e se não ultrapassou os limites de abatimento [...] ou de espalhamento [...]. Caso o abatimento seja inferior ao indicado na nota fiscal, permite-se a adição de água complementar [...], desde que:

- a) o abatimento seja igual ou superior a 10 mm;
- b) o abatimento seja corrigido em até 25 mm;

- c) o abatimento, após a adição de água, não ultrapasse o limite máximo especificado;
- d) o tempo entre a primeira adição de água aos materiais e o início da descarga seja superior a 15 min.

O concreto deve ser lançado e adensado de modo que toda a armadura, além dos componentes embutidos previstos no projeto, sejam adequadamente envolvidos na massa de concreto.

Os cuidados devem ser maiores, ressalta a Norma, “[...] quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 32):

[...] 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 (como nos pés das paredes). Entre os cuidados que podem ser tomados, no todo ou em parte, recomenda-se o seguinte:

- a) emprego de concreto autoadensável [...];
- b) uso de dispositivos que conduzam o concreto, minimizando a segregação (funis, calhas e trombas, por exemplo).

Outros cuidados são indicados na mesma Norma, como relativos aos que devem ser tomados nas concretagens de lajes inclinadas e escadas: elas devem ser feitas das regiões inferiores para as superiores da estrutura.

4.3.6 Adensamento do Concreto

Deve-se cuidar “Quando não utilizado concreto autoadensável [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 33):

- a) [...] que o concreto preencha todos os espaços da fôrma sem prejuízo da aderência das armaduras. Para tanto, é preciso que no processo não se toque na armadura, nem desloque os embutidos da fôrma;
- b) no caso de alta densidade de armaduras, [...] que o concreto seja distribuído em todo o volume da peça e o adensamento se processe de forma homogênea;
- c) o enchimento da fôrma deve ser realizado sem a ocorrência de falhas por ar aprisionado. O sistema de fôrmas deve prever dispositivos que garantam a saída desse ar durante a concretagem, em especial nas regiões logo abaixo das janelas ou outros locais propícios à formação de vazios. Deve-se também acompanhar o enchimento das fôrmas por meio de leves batidas com martelo de borracha nos painéis.

4.3.7 Controle Tecnológico do Concreto

Conforme a NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 33), o controle tecnológico do concreto é feito em dois momentos, no estado fresco e endurecido. É desenvolvido o controle no **estado fresco** assim que se recebe o material na obra determinando o abatimento do tronco de cone e conforme estabelece a NBR 12655/2006⁷, determinando a frequência e a amostragem.

Em concretos autoadensáveis, após determinar o abatimento do tronco de cone, e, após a adição do aditivo superplastificante, deve-se realizar os ensaios previstos na NBR 15823/2010⁸. Essa Norma contempla os ensaios de espalhamento, tempo de escoamento, caixa-L, funil-V, anel-J e coluna de segregação.

Já no **estado endurecido**, obtém-se a aceitação tanto do concreto convencional, como do autoadensável (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 33):

- a) pela comprovação da resistência de desforma, na idade especificada em projeto;
- b) pela comprovação da resistência característica do concreto (f_{ck}), aos 28 dias.

4.3.8 Juntas de Concretagem

Segundo a Norma, devem ser tomadas as devidas precauções para garantir a ligação do concreto já endurecido com o do novo trecho quando o lançamento do concreto foi interrompido. Nas juntas de concretagem já previstas, “[...] o concreto deve ser perfeitamente adensado até a superfície da junta vertical, usando-se fôrmas temporárias (por exemplo, tipo **penete**), quando necessário, para garantir condições de adensamento apropriadas.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 34, grifo do autor).

Salienta ainda a Norma o que se deve fazer antes de ser iniciada a próxima concretagem (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 34, grifo do autor):

[...] deve ser removida a nata da pasta de cimento (vitrificada) e feita a limpeza da superfície da junta, com a retirada do material solto. A nata superficial pode ser retirada com a aplicação de jato de água sob forte pressão logo após o fim da pega

⁷ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2006.

⁸ ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823**: concreto auto-adensável. Rio de Janeiro, 2010.

(**corte verde**). Em outras situações, [...] é necessário o jateamento de abrasivos ou o apicoamento da superfície da junta, com posterior lavagem, de modo a deixar aparente o agregado graúdo. [...] Cuidados especiais devem ainda ser tomados no sentido de não haver acúmulo de água em cavidades formadas pelo método de limpeza da superfície.

A Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 34) indica que são necessárias medidas “[...] para garantir a resistência aos esforços que podem agir na superfície da junta. Uma medida adequada consiste em deixar arranques da armadura ou barras cravadas ou reentrâncias no concreto velho.”. Segundo a ABNT, aplica-se “[...] argamassa com a mesma composição da argamassa do concreto sobre a superfície da junta, para evitar a formação de vazios.”.

A NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 34) segue apontando que “[...] podem ser utilizados outros produtos para melhorar a aderência entre as camadas de concreto [...], desde que não causem danos ao concreto e ao aço e seja possível comprovar desempenho, no mínimo, igual ao dos métodos tradicionais [...]”. Caso se opte pelo uso de resinas, “[...] deve levar em conta seu comportamento ao fogo.”.

As juntas, segundo a Norma, devem “[...] estar localizadas onde forem menores os esforços de cisalhamento, preferencialmente em posição normal aos esforços de compressão, salvo se demonstrado que a junta não provoca a diminuição da resistência do elemento estrutural.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 34).

4.3.9 Acabamento

Para o correto acabamento, a Norma específica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 34):

Inicialmente, a escolha do traço e, conseqüentemente, da consistência do concreto deve atender aos requisitos de projeto da estrutura da parede de concreto e às condições de trabalhabilidade necessárias. Os processos de lançamento e adensamento devem ser realizados de forma a obter um material homogêneo e compacto, ou seja, sem apresentar vazios na massa de concreto, com o mínimo manuseio possível, para se obterem os resultados desejados no acabamento das peças concretadas.

Deve se evitar a vibração excessiva do concreto, que pode provocar a segregação do material e a migração de finos e água para a superfície (exsudação), de forma a não prejudicar a qualidade e o desempenho do acabamento.

4.4 REQUISITOS PARA CURA

O último requisito da Norma para verificação, *in loco*, de execução das paredes de concreto, é a cura do concreto. A cura é feita para (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 35):

- a) evitar a perda de água pela superfície exposta;
- b) assegurar uma superfície com resistência adequada;
- c) assegurar a formação de uma capa superficial durável.

Assim, conforme a NBR 16055 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 35), protege-se o concreto contra agentes prejudiciais, tais como: “[...] mudanças bruscas de temperatura, secagem rápida, chuva forte, água torrencial, congelamento, agentes químicos, bem como choques e vibrações de intensidade tal que possam produzir fissuras superficiais devido a grande área exposta.”.

Segundo essa mesma Norma, para que se desenvolva a resistência e durabilidade adequada, a cura do concreto deve sempre ser executada, evitando-se assim a secagem prematura. Ela “[...] deve ocorrer logo após a desforma das paredes e, no caso de lajes, logo após o acabamento do concreto, [...]. Quanto mais cedo for feita a cura, menor a possibilidade de surgirem fissuras superficiais devido à grande área exposta.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 35).

5 LEVANTAMENTO DOS PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS NO EMPREENDIMENTO ESTUDADO

A elaboração do *check-list* é fundamental para a etapa de verificação da conformidade entre os parâmetros definidos na NBR 16055/2012 e o que foi executado na obra estudada. Esta ferramenta, que contém os requisitos da Norma, foi usada para o levantamento de dados. O empreendimento em que foi feito o estudo é apresentado. Depois, os tópicos que foram analisados com os dados levantados na visita à obra são detalhados. Com estes dados, foi possível elaborar o resumo dos procedimentos, avaliando se a obra teria sido executada conforme o previsto pela referida Norma.

5.1 ELABORAÇÃO DO *CHECK-LIST*

A elaboração do *check-list* seguiu a mesma sequência de apresentação dos itens da Norma, visando manter esta ordem ao longo de todo desenvolvimento do trabalho. A lista é apresentada no quadro 1.

Quadro 1 – *Check-list*

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|-------|--|------------|-----|-----|------|-----|
| 1- | PROJETO FÔRMAS | | | | | |
| 1.1- | Existe projeto do sistema de fôrmas? | | | | | |
| 1.2- | Detalhe geométrico e posição dos painéis | | | | | |
| 1.3- | Detalhe geométrico dos equipamentos auxiliares | | | | | |
| 1.4- | Detalhe geométrico do travamento e aprumo | | | | | |
| 1.5- | Detalhe do escoramento e do escoramento remanescente | | | | | |
| 1.6- | Tempo de retirada do escoramento remanescente | | | | | |
| 1.7- | Carga acumulada no escoramento residual | | | | | |
| 1.8- | Sequência a ser executada de montagem e desmontagem das fôrmas | | | | | |
| 1.9- | Coordenação modular (10 cm módulo mínimo, folgas e tolerâncias) | | | | | |
| 1.10- | Execução conforme contra flechas estabelecidas | | | | | |
| 2- | COMPONENTES EMBUTIDOS E ABERTURAS TEMPORÁRIAS | | | | | |
| 2.1- | Todos elementos previstos estão embutidos nas paredes após desforma | | | | | |
| 2.2- | Verificação da concentração dos elementos embutidos ou furos (projetista) | | | | | |
| 2.3- | Preservação do formato dos componentes embutidos | | | | | |
| 2.4- | Proteção dos componentes metálicos contra corrosão | | | | | |
| 2.5- | Aberturas temporárias preenchidos com material semelhante do concreto utilizado na estrutura | | | | | |
| 3- | APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE | | | | | |
| 3.1- | Uso de desmoldante? | | | | | |
| 3.2- | Aplicação conforme recomendação do fabricante (aspectos ambientais e de saúde ocupacional) | | | | | |
| 3.3- | Não aderência do concreto à fôrma | | | | | |
| 3.4- | Não apresentar resíduos na superfície das paredes | | | | | |

continua

continuação

| CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|---|--|---------------|-----|-----|------|----------------|
| 4- | ARMADURA | | | | | |
| 4.1- | Aço de qualidade especificada em projeto com identificação na obra | | | | | |
| 4.2- | No recebimento, transporte, armazenagem e posicionamento, as armaduras não são danificadas e estocadas diretamente no solo | | | | | |
| 4.3- | Limpeza superficial ou energética a ser feita quando as armaduras apresentarem produtos destacáveis ou oxidação | | | | | |
| 4.4- | Retirar sal e cloretos se apresentar corrosão | | | | | |
| 4.5- | Cobrimento por espaçadores sempre na armadura mais exposta, distribuídos em quantidade suficiente e devidamente fixados | | | | | |
| 4.6- | Emendas de telas soldadas feitas conforme projeto estrutural | | | | | |
| 4.7- | Introdução da armadura da laje na armadura da parede para ancoragem, seguindo comprimento de ancoragem | | | | | |
| 4.8- | Disposição de caminhos e passarelas para proteção da armadura antes e durante a concretagem | | | | | |
| 5- | FÓRMAS | | | | | |
| 5.1- | Verificação do nivelamento, prumo e alinhamento das fôrmas antes da concretagem | | | | | |
| 5.2- | Estanqueidade das juntas das fôrmas (evitar perda de pasta) | | | | | |
| 5.3- | Limpeza interna das fôrmas | | | | | |
| 5.4- | Conferência dos escoramentos, alinhadores horizontais e aprumadores conforme projeto para permitir tráfego de pessoas e equipamentos necessários a concretagem | | | | | |
| 6- | CONCRETAGEM | | | | | |
| 6.1- | Espessura das paredes | + 5 mm | | | | |
| 6.2- | Comprimento das paredes | + 10 mm | | | | espessura=10cm |
| 6.3- | Desalinhamento horizontal | t/500 ou 5 mm | | | | menor valor |
| 6.4- | Desalinhamento vertical e desaprumo | h/500 ou 5 mm | | | | menor valor |
| 6.5- | Posicionamento das armaduras - tela dupla | 1 cm | | | | |
| 6.6- | Posicionamento das armaduras - pontos isolados | 2 cm | | | | |
| 6.7- | Nivelamento das fôrmas deve ser feito antes da concretagem | 10 mm | | | | |
| 6.8- | Nivelamento do pavimento, após a concretagem (ainda escorado) | 10 mm | | | | |
| 6.9- | Estabelece Plano de Concretagem? | | | | | |
| 6.10- | Área ou volume concretados em função do tempo | | | | | |
| 6.11- | Relação entre lançamento, adensamento e acabamento | | | | | |
| 6.12- | Juntas de concretagem | | | | | |
| 6.13- | Acabamento final que se deseja obter | | | | | |
| 6.14- | Pessoal e equipamentos suficiente para que o concreto se mantenha plástico e livre de juntas não previstas | | | | | |
| 6.15- | Tempo inferior a 90 minutos entre o início da mistura e a entrega do concreto | | | | | |
| 6.16- | Tempo inferior a 150 minutos entre o início da mistura e o final da aplicação do concreto na fôrma | | | | | |
| 6.17- | Aditivos constam nas especificações do concreto e do documento de entrega | | | | | |
| 6.18- | Verificação do abatimento ou o espalhamento limite especificado no documento | | | | | |
| 6.19- | Uso concreto autoadensável recomendado (quando altura de queda livre maior que 2 m) | | | | | |
| 6.20- | Uso de dispositivos (funis, calhas, trombas) recomendado (quando altura de queda livre maior que 2 m) | | | | | |
| 6.21- | Concretagem de laje inclinada e escadas de baixo para cima | | | | | |
| 7- | ADENSAMENTO | | | | | |
| 7.1- | Adensamento do concreto (se não adensável) | | | | | |
| 7.2- | Enchimento da fôrma sem ocorrência de ar aprisionado, presença de dispositivos que garantem a saída deste ar | | | | | |
| 7.3- | Acompanhar o enchimento das fôrmas com leves batidas de martelo de borracha | | | | | |
| 8- | CONTROLE DO CONCRETO | | | | | |
| 8.1- | Controle tecnológico do concreto no estado fresco | | | | | |
| 8.2- | Abatimento do tronco de cone | | | | | |
| 8.3- | Comprovação da resistência de desforma e resistência característica do concreto aos 28 dias | | | | | |
| 8.4- | Realização em concretos autoadensáveis dos ensaios de espalhamento, tempo de escoamento, caixa-L, funil-V, anel-J e coluna de segregação. | | | | | |
| 9- | JUNTAS DE CONCRETAGEM | | | | | |
| 9.1- | Remoção da nata da pasta de cimento e limpeza da superfície nas juntas de concretagem antes do lançamento | | | | | |
| 9.2- | Deixar arranques da armadura ou barras cravadas ou reentrâncias no concreto velho | | | | | |
| 9.3- | Juntas localizadas onde menor forem os esforços de cisalhamento e normal a compressão | | | | | |
| 10- | ACABAMENTO | | | | | |
| 10.1- | Processo de lançamento e adensamento de forma a obter um material homogêneo e compacto com mínimo manuseio possível | | | | | |
| 11- | CURA | | | | | |
| 11.1- | Execução da cura do concreto | | | | | |
| 11.2- | Paredes | | | | | |
| 11.3- | Lajes | | | | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 APRESENTAÇÃO DA OBRA-EXEMPLO

A obra-exemplo, que permitiu a realização desta pesquisa, pertence a uma Construtora que atua em todo território nacional. O empreendimento se situa na Região Metropolitana de Porto Alegre. O conjunto habitacional é composto por 27 blocos, sendo 13 construídos na primeira fase de lançamento e, 14, na segunda (figura 20). Cada bloco é constituído por 5 pavimentos, cujo primeiro é o térreo, seguido por 3 pavimentos tipo e o último é a cobertura dos apartamentos duplex. As áreas de uso comum são:

- a) portaria;
- b) praça de chegada e do chimarrão;
- c) piscina adulto e infantil;
- d) churrasqueira;
- e) salão de festas;
- f) *playground*;
- g) horta/pomar;
- h) quadra recreativa;
- i) saco de boxe;
- j) pista de caminhada com equipamentos de ginástica;
- k) praça do luau;
- l) descanso;
- m) central de lixo;
- n) reservatórios de água;
- o) central de gás;
- p) subestação.

Os apartamentos são de 2 ou 3 dormitórios, podendo variar de 42 a 93 m². A figura 21 representa a fachada de um edifício-exemplo.

Figura 20 – Planta de implantação do empreendimento



(fonte: empresa estudada)

Figura 21 – Fachada do edifício-exemplo



(fonte: empresa estudada)

O sistema de produção que a obra optou para o empreendimento foi o de paredes de concreto moldadas no local. Este sistema foi escolhido em função do prazo de execução da obra, que impacta diretamente o custo final, pois possibilita a redução de 14 etapas da alvenaria convencional para 9 etapas, também reduzindo a produção de entulho. Foram ainda escolhidas as fôrmas metálicas de alumínio de aviação que apresentam grande durabilidade, sendo que o fornecedor indica 1000 vezes sua reutilização, porém a empresa adotou 800 (informação verbal)⁹. A fundação dos blocos foi *radier* e o concreto utilizado foi o convencional. Foram utilizadas telas soldadas como armadura nas paredes de concreto.

A execução das paredes de concreto da Construtora nesta obra era de um ciclo de concretagem por dia para meio pavimento, sendo concretadas as paredes e as lajes ao mesmo tempo. Foi acompanhado uma concretagem do 14º prédio, verificando o atendimento da Norma nas paredes desse um ciclo. A figura 22 mostra o andamento da obra.

Figura 22 – Obra em andamento



(fonte: foto do autor)

⁹ Informação obtida pelo engenheiro responsável da obra

5.3 COMPARAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DA NBR 16055/2012 COM A OBRA ESTUDADA

Após a confecção do *check-list*, foi possível observar os parâmetros da Norma na obra com maior facilidade. A comparação da execução das paredes de concreto com os procedimentos da NBR 16055/2012 é detalhada em onze itens, conforme a seguinte divisão:

- a) projeto de fôrmas;
- b) componentes embutidos e aberturas temporárias;
- c) aplicação de desmoldante;
- d) armadura;
- e) fôrmas;
- f) concretagem;
- g) adensamento;
- h) controle do concreto;
- i) juntas de concretagem;
- j) acabamento;
- k) cura.

5.3.1 Projeto de Fôrmas

A obra utilizava três conjuntos de fôrmas: térreo, pavimento tipo e cobertura, previsto em projeto específico. Constava no projeto, a geometria e posição dos painéis, com respectiva sequência de montagem e desmontagem das fôrmas. Os painéis das fôrmas tinham numeração para facilitar o manuseio, manter a sequência e evitar trocas na hora da colocação dos painéis. O projeto continha os equipamentos auxiliares detalhados, tais como a bandeja de proteção da periferia e da laje do pavimento a ser concretado, bem como o posicionamento das chapas de aço, abaixo dos vãos das janelas, que garantem a não concretagem do vão para instalação do ar condicionado. Outro item previsto são os macacos (figura 23), dispositivos horizontais colocados entre os vãos das portas, para assegurar o correto tamanho das aberturas.

O travamento e aprumo das fôrmas é detalhado com a geometria e quantidade das ferramentas utilizadas para esta finalidade. O fechamento e travamento é especificado pelas corbatas (figura 24), pinos e cunhas (figura 25) entre fôrmas adjacentes. Já o número e localização dos

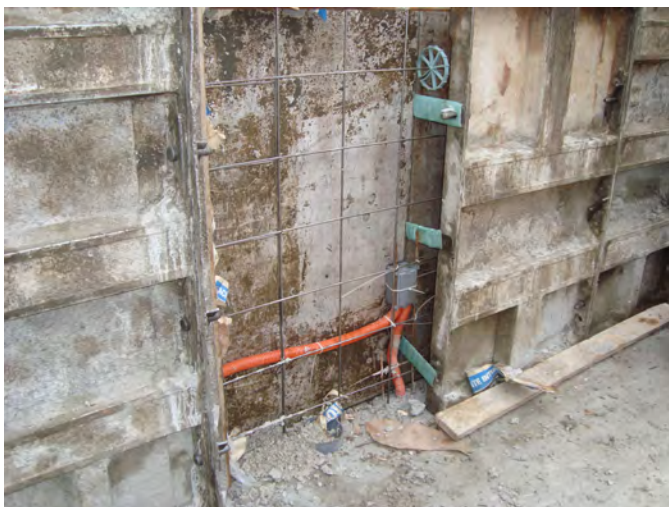
alinhadores (figura 23) e cantoneiras em paredes perpendiculares, são usados para garantir o prumo e nivelamento dos painéis das fôrmas das paredes. Em relação ao escoramento do sistema, o projeto indica fôrmas específicas que recebem o escoramento ou escoramento residual, conforme figura 26. A carga no escoramento residual foi calculada considerando 28 dias, tempo mínimo para o concreto atingir a resistência de projeto.

Figura 23 – Macacos entre os vãos das portas e alinhador ao lado das fôrmas



(fonte: foto do autor)

Figura 24 – Corbatas para fechamento e travamento das fôrmas



(fonte: foto do autor)

Figura 25 – Pinos e cunhas para fechamento e travamento das fôrmas



(fonte: foto do autor)

Figura 26 – Escoramento residual



(fonte: foto do autor)

Coordenação modular foi adotada no projeto, pois esta é a grande vantagem do sistema de fôrmas, facilitando a reutilização das mesmas fôrmas em outros empreendimentos. Nas medidas do projeto, o módulo mínimo de 10 cm para dimensões horizontais e verticais foram respeitadas. A espessura de todas as paredes era de 10 cm. Não foram previstas contra-flechas. Após considerar os itens referentes ao projeto das fôrmas, a obra em estudo atendeu aos requisitos da NBR 16055/2012 (quadro 2).

Quadro 2 – *Check-list* projeto fôrmas

| CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|---|---|------------|-----|-----|------|-----|
| 1 - | PROJETO FÔRMAS | | | | | |
| 1.1 - | Existe projeto do sistema de fôrmas? | | x | | | |
| 1.2 - | Detalhe geométrico e posição dos painéis | | x | | | |
| 1.3 - | Detalhe geométrico dos equipamentos auxiliares | | x | | | |
| 1.4 - | Detalhe geométrico do travamento e aprumo | | x | | | |
| 1.5 - | Detalhe do escoramento e do escoramento remanescente | | x | | | |
| 1.6 - | Tempo de retirada do escoramento remanescente | | x | | | |
| 1.7 - | Carga acumulada no escoramento residual | | x | | | |
| 1.8 - | Sequência a ser executada de montagem e desmontagem das fôrmas | | x | | | |
| 1.9 - | Coordenação modular (10 cm módulo mínimo, folgas e tolerâncias) | | x | | | |
| 1.10 - | Execução conforme contra flechas estabelecidas | | | | x | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.2 Componentes Embutidos e Aberturas Temporárias

Conforme a NBR 16055/2012, todos os elementos previstos em projeto devem estar embutidos nas paredes após a desforma. Para a obra avaliada, estes elementos eram compostos por armaduras e eletrodutos para as instalações elétricas, visto que no projeto são previstos *shafts* para as instalações hidráulicas na vertical (figura 27) devido à espessura das canalizações que poderia comprometer a estrutura. Assim como, as tubulações horizontais de hidráulica foram executadas externamente às paredes (figura 27). Alguns desses componentes embutidos ficaram aparentes após a retirada das fôrmas, como as barras de aço e tubulações elétricas (figura 28), não atendendo a Norma.

Figura 27 – *Shafts* e tubulações hidráulicas

(fonte: foto do autor)

Figura 28 – Tubulação elétrica aparente



(fonte: foto do autor)

A disposição dos elementos embutidos dentro das fôrmas foi aprovada pelo projetista estrutural. No momento da concretagem, visualmente, estes elementos não foram danificados e mantiveram o seu formato inicial. Porém, a armadura que ficou exposta após desforma, ficou desprotegida, pois não há o cobrimento do concreto previsto. Não havia outros componentes metálicos a serem embutidos nas paredes, assim como também não foram feitas aberturas para trabalhos temporários. O quadro 3 apresenta o *check-list* deste item para melhor visualização dos resultados.

Quadro 3 – *Check-list* componentes embutidos e aberturas temporárias

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------------|--|------------|-----|-----|------|-----|
| 2 - | COMPONENTES EMBUTIDOS E ABERTURAS TEMPORÁRIAS | | | | | |
| 2.1 - | Todos elementos previstos estão embutidos nas paredes após desforma | | | x | | |
| 2.2 - | Verificação da concentração dos elementos embutidos ou furos (projetista) | | x | | | |
| 2.3 - | Preservação do formato dos componentes embutidos | | x | | | |
| 2.4 - | Proteção dos componentes metálicos contra corrosão | | | | x | |
| 2.5 - | Aberturas temporárias preenchidos com material semelhante do concreto utilizado na estrutura | | | | x | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.3 Aplicação de Desmoldante

Na obra, era usado desmoldante em todas as fôrmas antes da montagem dos painéis. A aplicação era feita de maneira uniforme e regular nas fôrmas secas com o rolo de espuma (figura 29), conforme recomendação do fabricante. O desmoldante proporcionou separação entre a fôrma e o concreto e não alterou a aparência da parede, não apresentando resíduos na superfície do concreto devido a sua aplicação. O uso de desmoldante seguiu as exigências da NBR 16055/2012 (quadro 4).

Figura 29 – Aplicação de desmoldante



(fonte: foto do autor)

Quadro 4 – Check-list aplicação de desmoldante

| CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|---|--|------------|-----|-----|------|-----|
| 3 - | APLICAÇÃO DE DESMOLDANTE | | | | | |
| 3.1 - | Uso de desmoldante? | | x | | | |
| 3.2 - | Aplicação conforme recomendação do fabricante (aspectos ambientais e de saúde ocupacional) | | x | | | |
| 3.3 - | Não aderência do concreto à fôrma | | x | | | |
| 3.4 - | Não apresentar resíduos na superfície das paredes | | x | | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.4 Armadura

O aço não estava devidamente identificado na obra. Embora não se tenha uma grande variedade de armadura no empreendimento, todas as barras de aço deviam ser identificadas com etiquetas para evitar qualquer troca. Outro problema observado, indo contra as prescrições da Norma, foi a estocagem da ferragem diretamente no solo (figura 30), podendo gerar danos à superfície das barras.

No que diz respeito à limpeza superficial ou enérgica, não foi observado a olho nu nenhum produto destacável ou oxidação que implique em redução de seção do material que justificasse tal procedimento. Constatou-se uma camada de oxidação superficial, que não foi submetida a nenhum tipo de limpeza e conferência posterior, porém “As armaduras levemente oxidadas por exposição ao tempo em ambientes de agressividade fraca a moderada sem produtos destacáveis, e sem redução de seção, podem ser empregadas em estruturas de parede de concreto.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012, p. 25).

Figura 30 – Armaduras estocadas diretamente no solo



(fonte: foto do autor)

No próximo item do *check-list*, cobertura das armaduras, a Norma somente indica que os espaçadores devem estar distribuídos em certa quantidade para garantir o cobrimento do concreto e bem fixados para evitar sua movimentação. A obra utilizou espaçadores nomeados de **bolacha** nas paredes e **lagartixa** nas lajes, conforme especificação técnica (figura 31). Porém, algumas das medidas não foram tomadas corretamente, pois foi observado que após a desforma, a armadura de reforço de uma esquadria ficou aparente (figura 32). A causa possível deste fato foi a deficiência de espaçador neste local. A figura 32 mostra que já estavam fechando os painéis e não havia sido colocado nenhum elemento para garantir o cobrimento nesta região. Logo, frente à este item, a Norma não foi atendida.

Figura 31 – Espaçadores bolacha e lagartixa



(fonte: foto do autor)

Figura 32 – Armadura sem espaçador e exposta após desforma



(fonte: foto do autor)

As emendas necessárias para que a armadura se tornasse contínua em toda a extensão da parede se deu pela sobreposição das malhas. A execução dessa tarefa seguiu o comprimento da emenda previsto no projeto estrutural, adequando-se à Norma. Assim como a ancoragem dos elementos estruturais foi verificada. Foi observado a introdução da armadura da laje na armadura da parede com seu devido comprimento de ancoragem (figura 33).

Figura 33 – Ancoragem entre lajes e paredes



(fonte: foto do autor)

A Norma, no seu item 18.3.7, indica proteções antes e durante a execução do lançamento de concreto na laje, que se faz necessário para evitar deslocamentos da armadura. Não foram dispostos caminhos e passarelas sobre área a ser concretada em momento algum. Sendo assim, a proteção das armaduras durante a execução não foi realizada, segundo consta na Norma (quadro 5).

Quadro 5 – *Check-list* armadura

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------------|--|------------|-----|-----|------|-----|
| 4 - | ARMADURA | | | | | |
| 4.1 - | Aço de qualidade especificada em projeto com identificação na obra | | | x | | |
| 4.2 - | No recebimento, transporte, armazenagem e posicionamento, as armaduras não são danificadas e estocadas diretamente no solo | | | x | | |
| 4.3 - | Limpeza superficial ou energética a ser feita quando as armaduras apresentarem produtos destacáveis ou oxidação | | | | x | |
| 4.4 - | Retirar sal e cloretos se apresentar corrosão | | | | x | |
| 4.5 - | Cobrimento por espaçadores sempre na armadura mais exposta, distribuídos em quantidade suficiente e devidamente fixados | | | x | | |
| 4.6 - | Emendas de telas soldadas feitas conforme projeto estrutural | | x | | | |
| 4.7 - | Introdução da armadura da laje na armadura da parede para ancoragem, seguindo comprimento de ancoragem | | x | | | |
| 4.8 - | Disposição de caminhos e passarelas para proteção da armadura antes e durante a concretagem | | | x | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.5 Fôrmas

Os painéis das fôrmas devem ser conferidos antes da concretagem, quanto as suas dimensões e a sua posição. No entanto, a obra não utilizou nenhum instrumento de medição para verificar o nivelamento, prumo e alinhamento das fôrmas, contando apenas com a análise visual. Para avaliar se as fôrmas estavam dentro das tolerâncias, a obra deveria ter utilizado, por exemplo, o nível laser, prumo e trena para essa verificação.

Em relação à condição de estanqueidade das juntas das fôrmas, notou-se que a obra teve perda de pasta pela parte inferior e nas laterais dos painéis. Em alguns momentos, utilizou-se papel dos sacos de cimento para vedar as juntas dos painéis das paredes com as lajes (figura 34). Porém, mesmo assim, houve escoamento da pasta na terminação das fôrmas, como se observa na figura 34. Assim, tinha-se o retrabalho de realizar a regularização das juntas horizontais e verticais, que apresentaram excesso de pasta, conhecido como rebarba do concreto.

Figura 34 – Tentativa de fechamento das juntas e perda de pasta



(fonte: foto do autor)

Outro item com irregularidade em relação à Norma foi a ausência de limpeza da superfície interna das fôrmas. A estrutura era desformada e não era feita nenhuma correção ou limpeza na superfície dos painéis, eles aplicavam diretamente o desmoldante.

Já a conferência visual do tipo, posicionamento e quantidade dos escoramentos, bem como dos dispositivos para fechamento e alinhamento dos painéis, foi respeitada e realizada conforme projeto. Os materiais estavam dispostos de forma a permitir a movimentação

durante o processo de concretagem. Visto isso, o atendimento da Norma se fez presente no que se refere às condições dos escoramentos (quadro 6).

Quadro 6 – *Check-list* fôrmas

| CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|---|--|------------|-----|-----|------|-----|
| 5 - | FÔRMAS | | | | | |
| 5.1 - | Verificação do nivelamento, prumo e alinhamento das fôrmas antes da concretagem | | | x | | |
| 5.2 - | Estanqueidade das juntas das fôrmas (evitar perda de pasta) | | | x | | |
| 5.3 - | Limpeza interna das fôrmas | | | x | | |
| 5.4 - | Conferência dos escoramentos, alinhadores horizontais e aprumadores conforme projeto para permitir tráfego de pessoas e equipamentos necessários a concretagem | | x | | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.6 Concretagem

A espessura das paredes, comprimento das paredes, desalinhamentos horizontal e vertical devem ser verificadas antes da concretagem e estar dentro das tolerâncias de acordo com as especificações da Norma, que segue no item 19.3.4. A espessura das paredes era de 10 cm, logo a tolerância para o comprimento das paredes era de 10 mm (um décimo da espessura).

Durante a etapa de marcação das paredes (figura 35), foi verificado com a trena que a espessura e os comprimentos estavam todos conforme o projeto de planta baixa, não havendo sequer o desvio tolerável. Porém, quando medido a espessura das paredes nos vãos após a concretagem, percebeu-se que a maioria das paredes estavam com os 5 mm de folga a mais do valor de projeto. Essa diferença revela que o problema de não garantir a exata largura entre painéis podia estar no sistema de fôrmas, tanto no momento do fechamento dos painéis, quanto na hora em que o concreto era lançado, causando pressão interna nas fôrmas. Contudo, os valores estavam dentro do limite imposto pela Norma.

Conforme tratado anteriormente, nenhuma checagem era feita pela obra com nível de alumínio, prumo e trena para comprovar o alinhamento horizontal e vertical das paredes. Apesar disso, para analisar este item do *check-list*, foi retirado as medidas necessárias com estes instrumentos e chegou-se a conclusão que as paredes estavam dentro dos padrões que a Norma estabelece, isto é, dentro do limite de 5 mm.

Figura 35 – Marcação das paredes



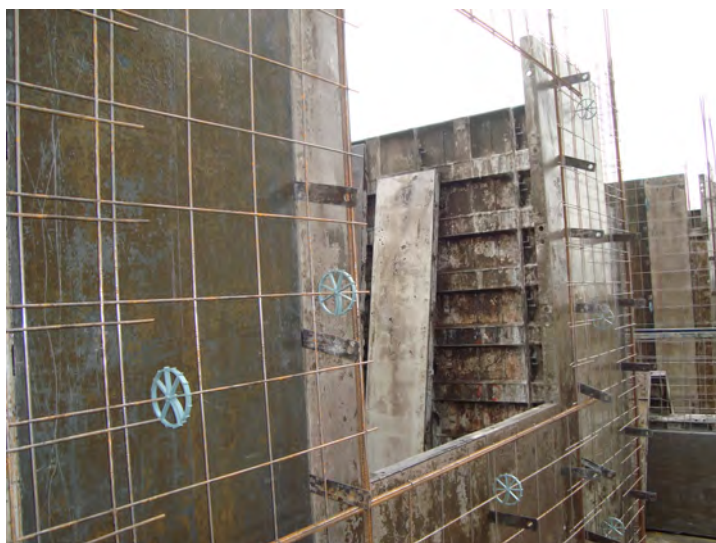
(fonte: foto do autor)

O posicionamento das armaduras das telas soldadas centradas verticais foi garantido pela utilização dos espaçadores tipo bolacha (figura 36). O cobrimento nestes pontos não foi comprometido, respeitando a Norma. Apesar de não realizar o nivelamento das fôrmas antes da concretagem, foi feita a conferência do nível da laje após a concretagem, com o nível laser (figura 37). Admitiu-se a tolerância de 10 mm igual ao da Norma.

Na sequência dos itens a serem verificados, o próximo foi o plano de concretagem definido para a obra. Em função do tempo de concretagem, foi estabelecido que o ciclo de concretagem seria de aproximadamente 25 à 30 m³ de concreto, que equivale a meio pavimento. A quantidade maior seria para o lado do pavimento com a área comum da escada. Outra definição era que se começava o lançamento do concreto pelas paredes, e só então seguia para as respectivas lajes.

A relação entre lançamento, adensamento e acabamento deve seguir a NBR 14931 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), com o lançamento processado de forma contínua, sem formação de juntas frias e sobrecarga nas fôrmas e escoramentos. A execução observada esteve conforme o plano da obra e especificação da Norma. Foram previstos juntas de concretagem, visto que a concretagem do pavimento era realizada em duas etapas. O acabamento final da parede após a desforma deveria ser o mais plano possível e sem falhas de concretagem. Os problemas de acabamento verificados são detalhados nos próximos itens.

Figura 36 – Utilização dos espaçadores bolacha



(fonte: foto do autor)

Figura 37 – Nivelamento da laje



(fonte: foto do autor)

A capacidade de pessoal era de seis operários para o serviço de concretagem e o equipamento utilizado era apenas um vibrador. O concreto se manteve plástico durante a execução e a equipe de trabalhadores conseguiu realizar a tarefa de lançamento, adensamento e acabamento durante o tempo estipulado.

No que se refere ao recebimento do concreto, ele era produzido na central e transportado para o empreendimento. Era conferida a nota fiscal e identificados os caminhões-betoneira com

lacre de segurança no momento de chegada, verificando se o tempo entre a primeira adição de água e entrega do concreto estava dentro do limite normatizado.

Foram necessários 4 caminhões, sendo que desde a chegada na obra até a finalização da aplicação passaram menos de 30 minutos por caminhão, bem inferior ao que a Norma tolera. Também no documento de entrega constavam os aditivos a serem empregados, o superplastificante e o acelerador de pega. A especificação do abatimento para o concreto recém chegado no canteiro de obra era 100 mm mais ou menos 20 mm e após a adição do aditivo superplastificante, o espalhamento era de 220 mm mais ou menos 30 mm.

Foi analisado que o ensaio de abatimento no primeiro caminhão esteve com o seu valor inferior ao previsto no documento, chegou a aproximadamente 60 mm (figura 38). Porém, os operários continuaram com o trabalho, não adicionando água complementar conforme especificado pela Norma para corrigir o traço, aplicando diretamente o aditivo superplastificante. Apesar de não se tratar de concreto autoadensável, foi executado o ensaio de espalhamento, onde o concreto chegou ao valor de 190 mm, sendo aprovado para a descarga do concreto. Assim, o procedimento regulamentado descrito no item 19.6 da Norma não foi atendido.

Com a finalidade de checar as recomendações da Norma quanto a queda do concreto ser maior que dois metros, tendo em vista que no empreendimento estudado o pé-direito era de 2,60 m, levando à tais considerações, observou-se:

- a) a obra utilizou o concreto convencional, ou seja, não adotou o concreto autoadensável que possui fluidez e coesão necessária para escoar nas barras e em outros componentes embutidos;
- b) não foram utilizados dispositivos que minimizam a segregação e falta de argamassa na peça a ser concretada.

A Norma dá ênfase aos elementos inclinados, como escadas, que devem ser concretados de forma ascendente, porém mais uma vez o procedimento observado foi contrário à referida Norma (figura 39). O quadro 7 mostra o resumo do item concretagem.

Figura 38 – Abatimento do tronco de cone



(fonte: foto do autor)

Figura 39 – Concretagem das escadas



(fonte: foto do autor)

Quadro 7 – Check-list concretagem

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------|--|---------------|-----|-----|------|--------------------|
| 6 - | CONCRETAGEM | | | | | |
| 6.1 - | Espessura das paredes | ± 5 mm | x | | | |
| 6.2 - | Comprimento das paredes | ± 10 mm | x | | | espessura=10cm |
| 6.3 - | Desalinhamento horizontal | ℓ/500 ou 5 mm | x | | | menor valor |
| 6.4 - | Desalinhamento vertical e desaprumo | h/500 ou 5 mm | x | | | menor valor |
| 6.5 - | Posicionamento das armaduras - tela dupla | 1 cm | x | | | |
| 6.6 - | Posicionamento das armaduras - pontos isolados | 2 cm | x | | | |
| 6.7 - | Nivelamento das fôrmas deve ser feito antes da concretagem | 10 mm | | x | | |
| 6.8 - | Nivelamento do pavimento, após a concretagem (ainda escorado) | 10 mm | x | | | |
| 6.9 - | Estabelece Plano de Concretagem? | | x | | | |
| 6.10 - | Área ou volume concretados em função do tempo | | x | | | |
| 6.11 - | Relação entre lançamento, adensamento e acabamento | | x | | | |
| 6.12 - | Juntas de concretagem | | x | | | |
| 6.13 - | Acabamento final que se deseja obter | | | x | | |
| 6.14 - | Pessoal e equipamentos suficiente para que o concreto se mantenha plástico e livre de juntas não previstas | | x | | | |
| 6.15 - | Tempo inferior a 90 minutos entre o início da mistura e a entrega do concreto | | x | | | |
| 6.16 - | Tempo inferior a 150 minutos entre o início da mistura e o final da aplicação do concreto na fôrma | | x | | | |
| 6.17 - | Aditivos constam nas especificações do concreto e do documento de entrega | | x | | | superplastificante |
| 6.18 - | Verificação do abatimento ou o espalhamento limite especificado no documento | | x | | | |
| 6.19 - | Uso concreto autoadensável recomendado (quando altura de queda livre maior que 2 m) | | | x | | |
| 6.20 - | Uso de dispositivos (funis, calhas, trombas) recomendado (quando altura de queda livre maior que 2 m) | | | x | | |
| 6.21 - | Concretagem de laje inclinada e escadas de baixo para cima | | | x | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

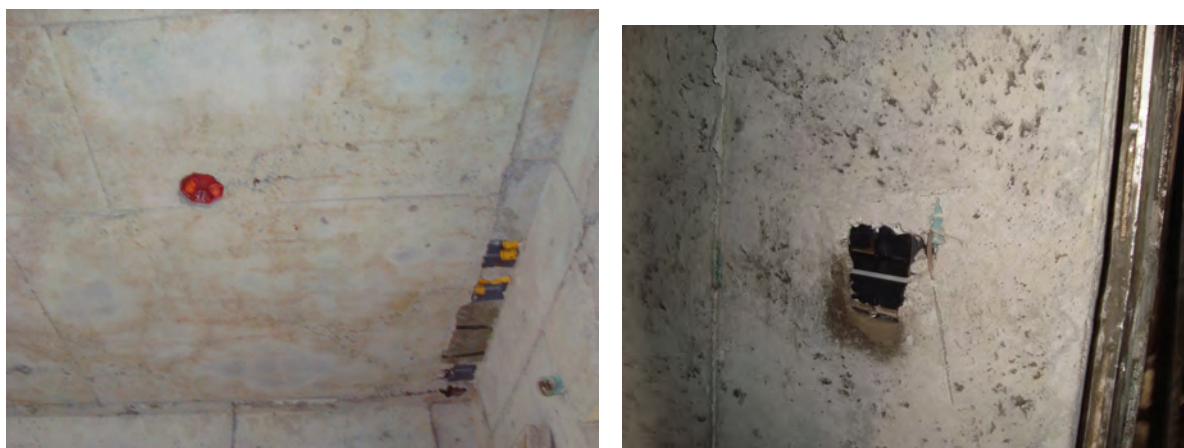
5.3.7 Adensamento

Tendo em vista que na obra em estudo o concreto utilizado era o convencional, o adensamento se faz necessário. Ele foi realizado com vibrador de imersão, porém observou-se:

- a) pequenas falhas de concretagem pela ocorrência de ar aprisionado dentro das fôrmas junto as instalações embutidas na laje e formação de bolhas na superfície das paredes (figura 40);
- b) nenhum dispositivo para garantir a saída do ar das fôrmas;
- c) não foi realizado o acompanhamento do enchimento das fôrmas com martelo de borracha na superfície dos painéis.

O quadro 8 ilustra o *check-list* do item adensamento.

Figura 40 – Falhas de concretagem



(fonte: foto do autor)

Quadro 8 – Check-list adensamento

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------------|--|------------|-----|-----|------|-----|
| 7 - | ADENSAMENTO | | | | | |
| 7.1 - | Adensamento do concreto (se não adensável) | | x | | | |
| 7.2 - | Enchimento da fôrma sem ocorrência de ar aprisionado, presença de dispositivos que garantem a saída deste ar | | | x | | |
| 7.3 - | Acompanhar o enchimento das fôrmas com leves batidas de martelo de borracha | | | x | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.8 Controle do Concreto

O controle tecnológico do concreto era feito nos dois estados: fresco e endurecido. No estado fresco realizaram o abatimento do tronco de cone e retiraram as amostras para a moldagem dos corpos-de-prova. Este controle era feito por amostragem total, isto é, de todos os caminhões eram retirados dois corpos-de-prova para verificação da resistência de desforma em 14 horas, dois para sete dias e dois para a resistência característica aos 28 dias.

Para a aceitação do concreto no estado endurecido, era exigido a resistência de 3,0 MPa no primeiro teste e para aceitação definitiva, aos 28 dias, era necessário a comprovação de 25 MPa. Todos os ensaios do ciclo acompanhado estavam acima dos 3,0 MPa e foram liberados para desforma. Logo, o único item que apresentou irregularidade perante a Norma foi o abatimento do tronco de cone (quadro 9), porque foi aceito mesmo estando com o valor inferior ao do documento e não foi tomada nenhuma medida de acrescentar água na obra.

Quadro 9 – *Check-list* controle do concreto

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|-------|---|------------|-----|-----|------|-----------------------|
| 8 - | CONTROLE DO CONCRETO | | | | | |
| 8.1 - | Controle tecnológico do concreto no estado fresco | | x | | | |
| 8.2 - | Abatimento do tronco de cone | | | x | | |
| 8.3 - | Comprovação da resistência de desforma e resistência característica do concreto aos 28 dias | | x | | | |
| 8.4 - | Realização em concretos autoadensáveis dos ensaios de espalhamento, tempo de escoamento, caixa-L, funil-V, anel-J e coluna de segregação. | | | | x | concreto convencional |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.9 Juntas de Concretagem

Na verificação do item juntas de concretagem, percebeu-se que não atendeu à Norma:

- a) a limpeza da junta não foi realizada, bem como a pasta do concreto não foi removida. Visto que o material solto não foi retirado, não foi feito o jateamento após a pega do concreto e nem o apicoamento da superfície a fim de deixar o material graúdo aparente;
- b) nenhum outro produto foi utilizado para melhorar a aderência entre as camadas de concreto;
- c) a junta nas paredes era localizada na posição vertical, ou seja, ao longo dos esforços de cisalhamento e não era perpendicular aos esforços de compressão, conforme especificado na Norma.

Os arranques de armadura (figura 41) para aumentar a resistência no local da junta da laje foi observado como indica na Norma (quadro 10).

Figura 41 – Junta de concretagem



(fonte: foto do autor)

Quadro 10 – *Check-list* juntas de concretagem

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------------|---|------------|-----|-----|------|-----|
| 9 - | JUNTAS DE CONCRETAGEM | | | | | |
| 9.1 - | Remoção da nata da pasta de cimento e limpeza da superfície nas juntas de concretagem antes do lançamento | | | x | | |
| 9.2 - | Deixar arranques da armadura ou barras cravadas ou reentrâncias no concreto velho | | x | | | |
| 9.3 - | Juntas localizadas onde menor forem os esforços de cisalhamento e normal a compressão | | | x | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.10 Acabamento

O lançamento e adensamento acompanhados na obra resultaram em uma superfície com vazios na massa de concreto, provavelmente pela consistência não ter atingido o valor de projeto e pelo manuseio ocorrido em alguns momentos da concretagem, como na escada, que o acesso com a lança era mais difícil de executar. Com isso, o acabamento ficou prejudicado e não atendeu ao requisito da Norma (quadro 11).

Nesta obra, as falhas, tanto interna como externas, eram corrigidas com um material denominado estuque, composto por uma argamassa de gesso e cal. Esta prática não seria recomendada, pois o gesso em contato com a armadura desprotegida, iniciaria o processo de corrosão, como o processo exemplificado na figura 42. O gesso também é afetado pela presença de umidade, ocasionando sua deterioração, levando ao descolamento do revestimento, como mostra o exemplo da figura 42. Segundo Dias e Cincotto (1995, p. 8-14), este material deve ser empregado em áreas secas, devido a pasta de gesso ser pouco resistente em contato com a água. Eles ainda acrescentam defeitos e falhas causados nos revestimentos que tem maior incidência em obras: manchas, fissuras e descolamentos.

Não foi observada na concretagem acompanhada nenhuma falha que comprometesse a continuidade da parede. Caso ocorresse este tipo de falha e dependendo do tamanho do vazio, teria sido preenchido com graute.

Figura 42 – Corrosão de armadura provocada pelo contato do revestimento de gesso e descolamento do revestimento de gesso pela infiltração de umidade



(fonte: trabalho não publicado)¹⁰

Quadro 11 – *Check-list* acabamento

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------|---|------------|-----|-----|------|-----|
| 10 - | ACABAMENTO | | | | | |
| 10.1 - | Processo de lançamento e adensamento de forma a obter um material homogêneo e compacto com mínimo manuseio possível | | | x | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

5.3.11 Cura

Por fim, sabe-se que para assegurar a resistência e uma maior durabilidade da edificação, deve-se executar a cura do concreto. A cura, conforme o item 20 da NBR 16055/2012, não foi realizada na obra (quadro 12), nem nas lajes e nem nas paredes, comprometendo o desempenho e qualidade da estrutura.

Quadro 12 – *Check-list* cura

| | CHECK-LIST DOS REQUISITOS DA NBR 16055/2012 | Tolerância | SIM | NÃO | N.A. | OBS |
|--------|---|------------|-----|-----|------|-----|
| 11 - | CURA | | | | | |
| 11.1 - | Execução da cura do concreto | | | x | | |
| 11.2 - | Paredes | | | x | | |
| 11.3 - | Lajes | | | x | | |

(fonte: elaborado pelo autor)

¹⁰ Trabalho acadêmico de Edificações II de 2013/02 da UFRGS intitulado Acompanhamento da Execução de Forro de Gesso dos alunos Gabriela C. Duarte, João S. Junior, Juliana K. Silva e Rodrigo V. Milani.

6 ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada avaliando o processo executivo de um sistema parede de concreto moldado no local possibilitou o conhecimento deste método construtivo, tanto na teoria através da revisão bibliográfica, quanto na prática com o levantamento de dados na obra. Assim, foi possível comparar a teoria e as práticas recomendadas de projeto e execução e observar o que de fato vem sendo executado em uma obra da Construtora analisada.

Na avaliação final do *check-list*, dos 66 itens acompanhados na obra, 22 não estavam de acordo com a NBR 16055/2012. Quando um projetista elabora um projeto ou quando um profissional executa uma obra, sempre o fazem seguindo as normas que regulamentam o sistema construtivo adotado, visando atender todas as recomendações prescritas. Logo, a hipótese de que a Construtora, que tem construído edificações empregando paredes de concreto moldado no local, executaria este sistema conforme previsto na Norma, apesar dela ter sido publicada após o início da obra, não se confirmou.

Apesar disso, se a Construtora rever o seu processo construtivo das paredes de concreto moldadas no local e realizar algumas modificações, como nos itens de maior gravidade como o cuidado com o cobrimento dos elementos embutidos, verificação do nivelamento das fôrmas, melhoria durante o adensamento para que promova uma superfície sem vazios e realização da cura, ela poderá, assim, se adequar com maior facilidade à Norma. Assim, os próximos empreendimentos com esse sistema atenderão a execução conforme os requisitos normatizados pela NBR 16055/2012.

Algumas vantagens do sistema de paredes de concreto moldadas no local não foram observadas, como a maior planicidade da parede, como indica a ABESC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM, 2012), que permitiria que a superfície fosse pintada diretamente. Alguns retrabalhos foram constantes durante a execução para regularizar as paredes, equipes corrigiam as rebarbas do concreto e preenchiam os vazios com estuque. Somente após a aplicação do estuque, prática não recomendada, as paredes podiam receber a camada de selador, iniciando o sistema de pintura.

Outros elementos, que por serem executados de forma diferente do previsto em Norma, também precisaram de correções com aplicação de estuque, foram armaduras e eletrodutos, que após a desforma não estavam completamente embutidos na estrutura. A falha ocorreu pela falta de espaçadores que garantiriam o devido cobrimento destes elementos embutidos pelo concreto, evitando a possibilidade de corrosão das armaduras, pois a aplicação de estuque não fornece a proteção adequada.

A obra deve rever a execução deste item, a aplicação de estuque, nas áreas molhadas, como nas paredes da fachada, e em locais onde a armadura ficou exposta. Nesses ambientes o material recomendável para a correção das irregularidades observadas nas paredes seria o graute, pois ele tem maior resistência, garante a proteção da armadura e tem uma maior semelhança com as propriedades do concreto.

Um melhor acabamento superficial das paredes de concreto seria obtido com o uso do concreto autoadensável, ao invés do convencional, conforme recomenda a NBR 16055/2012. As suas propriedades são tais, que, assim, a vibração não se faz necessária. A otimização com o uso de funis, calhas ou trombas em peças altas no momento da concretagem também traria benefícios.

Outro tópico, a cura do concreto que está prevista em Norma, porém não realizada na obra avaliada, é um procedimento que precisa ser revisado na execução do sistema pela Construtora nos próximos empreendimentos. A cura precisa ser feita assim que se desforma as paredes e se faz o acabamento das lajes, para evitar problemas como a fissuração da superfície, que surge pela evaporação de um grande volume de água logo após a concretagem. A evaporação da água, responsável pela reação de hidratação, diminui a resistência e a vida útil das peças concretadas. Como as paredes são elementos verticais, o processo de cura torna-se mais trabalhoso, mas uma opção é fazer a cura por aspersão ou borrifamento de água nas paredes.

Visando facilitar o processo de conferência do sistema de paredes de concreto moldadas no local, já que muitos detalhes devem ser verificados, elaborou-se o *check-list* que pode se tornar uma ferramenta de verificação do sistema na obra, fazendo parte do controle de qualidade da execução. Nele constam os itens e requisitos relativos à execução da montagem das armaduras e fôrmas, concretagem e cura presentes na NBR 16055/2012.

Por fim, cabe salientar a importância da normatização do sistema construtivo, pois se a execução seguir os procedimentos previstos na Norma se tem a garantia da correta execução da estrutura, obtendo maior durabilidade, evitando retrabalhos e atrasos no cronograma da obra, permitindo assim a viabilidade do sistema.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM; INSTITUTO BRASILEIRO DE TELAS SOLDADAS. **Parede de concreto**: coletânea de ativos 2007/2008. São Paulo, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONCRETAGEM. Paredes moldadas *in loco*. São Paulo, 2012. Não paginado. Disponível em: <http://www.abesc.org.br/tecnologias/tec-pre-moldado-in-loco/sistemas_pmiloc_pmiloc.html>. Acesso em: 11 maio 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 16055**: parede de concreto moldada no local para a construção de edificações – requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2012.

BARBOSA, M. F. **Análise de estratégias de execução para edifícios verticais com diferentes sistemas construtivos**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

BORTOLINI, R. Concreto: ensaio do abatimento (*slump test*). **ESO**. Porto Alegre, 11 maio 2012. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/eso/content/?tag=slump-test>>. Acesso em 9 set. 2013.

CASTRO, C. X. 2012. **Gestão de resíduos na construção civil**. 53 f. Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CICHINELLI, G. C. Sistema de fôrmas. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 17, n. 155, fev. 2010. Não paginado. Disponível em: <<http://www.techne.pini.com.br/engenharia-civil/155/formas-286677-1.aspx>>¹¹. Acesso em: 11 dezembro 2013.

CLASSE C lidera o desejo por casa própria. **Portal R7**. São Paulo, 27 mar. 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://noticias.r7.com/economia/noticias/classe-c-lidera-o-desejo-por-casa-propria-20120327.html?question=0>>. Acesso em: 1 jun. 2012.

COSTA, L. J. D. **Paredes de concreto moldadas *in loco* em condomínios horizontais: avaliação de desempenho pelos usuários**. 2013. 70 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

DIAS, A. M. N.; CINCOTTO, M. A. **Revestimento à Base de Gesso de Construção**. São Paulo: EPUSP, 1995. Boletim Técnico PCC n. 142.

¹¹ Conteúdo exclusivo para leitores cadastrados no portal ou assinantes da revista Técnica.

FARIA, R. Paredes maciças. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 17, n. 143, fev. 2009a. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/143/paredes-macicas-126454-1.asp>>. Acesso em: 11 maio 2012.

_____. Norma de paredes de concreto moldadas *in loco*. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 17, n. 146, maio 2009b. Não paginado. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/146/normas-norma-de-paredes-de-concreto-moldadas-in-loco-139038-1.asp>>¹². Acesso em: 31 maio 2012.

FERREIRA, R. Economia concreta. **Revista Equipe de Obra**, São Paulo: Pini, n. 47, maio 2012. Não paginado. Disponível em: <<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/47/economia-concreta-ao-optimar-por-paredes-de-concreto-em-257752-1.asp>>. Acesso em: 29 abr. 2012.

FONSECA JUNIOR, A.; BARELLA FILHO, R. Paredes de concreto. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 16, n. 140, p. 22-23, nov. 2008. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/140/imprime117015.asp>>. Acesso em: 11 maio 2012.

MAYOR, A. V. y Parede de concreto: uma alternativa competitiva. In: CONCRETE SHOW, 2008, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABCP; ABSC; IBTS, 2008. Não paginado. Apresentação em Power Point. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/sala_de_imprensa/noticias/5_parede_concreto_competitiva_Arcindo.pdf>. Acesso em: 31 maio 2012.

MISURELLI, H.; MASSUDA, C. Como construir paredes de concreto. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 17, n. 147, p. 74-80, jun. 2009. Disponível em: <http://www.engemix.com.br/cserie/attach/manual/revista_techne.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2012.

NUNES, V. Q. G. **Análise estrutural de edifícios de paredes de concreto armado**. 2011. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

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

PARA ganhar rapidez, construtoras industrializam canteiros de obras. **Valor Econômico**. São Paulo, 2 ago. 2007. Não paginado. Disponível em: <<http://www.sindusconms.com.br/?pag=noticias.php&id=276>>. Acesso em: 3 abr. 2012.

RIBEIRO, F. H. M.; LEAL, J. C. L. Viabilidade técnica e econômica da produção do concreto autoadensável na cidade de Palmas/TO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 53., 2011, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1-16. 1 CD.

TUTIKIAN, B. F. **Método para dosagem de concretos auto-adensáveis**. 2004. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,

¹² Conteúdo exclusivo para leitores cadastrados no portal ou assinantes da revista Técnica.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3918/000450678.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

VENTURINI, J. Casas com paredes de concreto. **Revista Equipe de Obra**, São Paulo: Pini, n. 37, jul. 2011. Não paginado. Disponível em: <<http://www.equipedebra.com.br/construcao-reforma/37/artigo220698-1.asp>>. Acesso em: 29 abr. 2012.