

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

**Vinícius Palm**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA  
DISTRIBUIÇÃO DE ESPAÇADORES EM LAJES DE  
CONCRETO ARMADO, QUANTO À ESPESSURA DE  
COBRIMENTO**

Porto Alegre

Julho 2017

**VINÍCIUS PALM**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA  
DISTRIBUIÇÃO DE ESPAÇADORES EM LAJES DE  
CONCRETO ARMADO, QUANTO À ESPESSURA DE  
COBRIMENTO**

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

**Orientador/a: Denise Carpena Coitinho Dal Molin**  
**Co-orientador/a: João Ricardo Masuero**

Porto Alegre  
Julho 2017

**VINÍCIUS PALM**

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DA  
DISTRIBUIÇÃO DE ESPAÇADORES EM LAJES DE  
CONCRETO ARMADO, QUANTO À ESPESSURA DE  
COBRIMENTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo/a Professor/a Orientador/a e pelo/a Professor/a Co-orientador/a.

Porto Alegre, julho de 2017

Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin  
Dra. Pela USP  
Orientadora

Prof. João Ricardo Masuero  
Dr. Pela UFRGS  
Co-orientador

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Denise Carpena Coitinho Dal Molin (UFRGS)**

Dra. pela Universidade de São Paulo

**Prof. João Ricardo Masuero (UFRGS)**

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Profa. Angela Borges Masuero (UFRGS)**

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Ana Paula Maran (UFRGS)**

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

**Rafael Mascolo (UFRGS)**

Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Ivanor e Simone, por todo o apoio e confiança que me deram ao longo de todo o curso, tornando tudo isso possível.

Dedico também à minha namorada, Jéssica, que nos momentos mais difíceis, foi capaz de dar o incentivo necessário para que tudo desse certo.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à professora Denise Dal Molin e ao professor João Ricardo Masuero, orientadora e coorientador do presente trabalho, por todo o conhecimento transmitido, e pela disponibilidade e paciência apresentados ao longo de todo o seu desenvolvimento.

Agradeço ao engenheiro Rodrigo, responsável pela obra onde foram realizadas as medições, por todo o apoio e empenho em oferecer sempre as melhores condições para que este trabalho fosse realizado, mesmo com o andamento da obra em ritmo intenso e com prazos a serem cumpridos.

Agradeço aos bolsistas, que mesmo em dias de chuva, se prontificaram em ajudar a realizar as medições.

Agradeço à minha namorada, Jéssica, pela paciência e apoio durante a realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, por todo o apoio e confiança durante todo este percurso.

Devemos julgar um homem mais pelas  
suas perguntas que pelas suas respostas.

*Voltaire*

## RESUMO

A espessura de cobertura da armadura representa enorme importância para a conservação e durabilidade da mesma, e conseqüente bom desempenho da estrutura como um todo. A falta de preocupação para com o assunto, além da carência de técnicas que orientem a adequada disposição dos espaçadores, acaba por tornar o cobrimento especificado ainda mais difícil de ser alcançado. A partir da análise dos projetos de armadura positiva em lajes de uma obra, localizada na cidade de Porto Alegre, foram feitas medições do cobrimento resultante antes e depois do lançamento do concreto. Em um primeiro momento, estes dados foram obtidos a partir da montagem da armadura positiva de acordo com as práticas as quais os operários estavam acostumados, utilizando as técnicas e métodos fornecidos ou não pelo engenheiro responsável, e após, foram definidas diferentes configurações para colocação dos espaçadores, a fim de constatar o quanto estas técnicas seriam capazes de melhorar o resultado final. Os dados obtidos permitiram a criação de tabelas e histogramas, que mostram o comportamento para cada situação. A partir destes, pode-se observar a dificuldade em se obter um cobrimento adequado nas situações onde não existem técnicas adequadas, e a fragilidade das armaduras formadas por barras de diâmetro 5.0mm, que apresentam pior resultado comparado às confeccionadas com diâmetro 6.3mm. Além disso, a falta de cuidado com a malha já finalizada, durante o ato da concretagem, com o trânsito de operários e apoio do mangote direto sobre a armadura, aponta para o comprometimento ainda maior destes valores de cobrimento.

Palavras-chave: Espessura de cobertura. Espaçadores.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variabilidade da vida útil das estruturas de concreto armado.....	17
Figura 2 – Espaçador tipo cadeirinha.....	24
Figura 3 – Espaçador tipo multiapoio/centopeia.....	24
Figura 4 – Situação de tombamento do espaçador.....	27
Figura 5 – Planta baixa do 14º pavimento da Torre 2.....	32
Figura 6 – Planta baixa do 5º pavimento da Torre 3.....	33
Figura 7 – Planta baixa do 15º pavimento da Torre 2.....	34
Figura 8 – Detalhamento apresentado em planta.....	35
Figura 9 – Modelo de espaçador utilizado em obra.....	36
Figura 10 – Resumo das atividades realizadas em obra.....	38
Figura 11 – Distribuição dos espaçadores: a) 20cm; b) 40cm; c) 60cm; d) 80cm.....	40
Figura 12 – Grande região sem espaçador.....	44
Figura 13 – Espaçadores tombados ou mal colocados.....	44
Figura 14 – Momento da concretagem da 1ª laje.....	45
Figura 15 – Pacômetro utilizado para as medições.....	46
Figura 16 – Quadrante com espaçadores colocados a cada 20cm.....	49
Figura 17 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, sem critério para colocação dos espaçadores.....	56
Figura 18 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, sem critério para colocação dos espaçadores.....	57
Figura 19 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 20cm.....	57
Figura 20 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 40cm.....	58
Figura 21 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 60cm.....	58
Figura 22 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 80cm.....	59
Figura 23 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 20cm.....	59
Figura 24 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 40cm.....	60
Figura 25 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 60cm.....	60
Figura 26 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 80cm.....	61
Figura 27 – Comparação múltipla de médias antes da concretagem.....	62
Figura 28 – Comparação múltipla de médias após a concretagem.....	63



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação ambiental.....	20
Tabela 2 – Valor de espessura de cobrimento normatizado.....	20
Tabela 3 – Relação entre qualidade do concreto e classe de agressividade.....	21
Tabela 4 – Estudo comparativo entre espaçadores plásticos e pastilhas de argamassa....	23
Tabela 5 – Distância máxima entre os espaçadores, segundo norma europeia.....	26
Tabela 6 – Definição quanto ao nível de controle da execução de elementos estruturais em concreto armado.....	28
Tabela 7 – Nível de controle observado em obra.....	41
Tabela 8 – Valores de cobrimento lidos antes da concretagem da primeira laje.....	43
Tabela 9 – Valores de cobrimento lidos depois da concretagem da primeira laje.....	47
Tabela 10 – Valores de cobrimento lidos antes da concretagem da segunda laje.....	50
Tabela 11 – Valores de cobrimento lidos antes da concretagem da terceira laje.....	51
Tabela 12 – Valores de cobrimento lidos depois da concretagem da segunda laje.....	53
Tabela 13 – Valores de cobrimento lidos depois da concretagem da terceira laje.....	54
Tabela 14 – Tabela resumo da frequência de cada espessura de cobrimento resultante, para as leituras feitas com pacômetro.....	56
Tabela 15 – Análise de variância (ANOVA) com os resultados lidos em obra.....	61

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

NR – Normas Regulamentadoras

## LISTA DE SÍMBOLOS

$c_{nom}$  – Cobrimento nominal (cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução) (mm)

$\varnothing_{barra}$  –  $\varnothing$  - Diâmetro da barra (mm)

$f_{ck}$  - Resistência característica à compressão do concreto

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	14
2.1 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	14
2.2 DELIMITAÇÕES .....	14
2.3 LIMITAÇÕES .....	14
2.4 DELINEAMENTO .....	14
<b>3 DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO</b> .....	16
3.1 DURABILIDADE DAS ARMADURAS .....	18
<b>4 ESPESSURA DE COBRIMENTO DA ARMADURA</b> .....	22
4.1 ESPAÇADORES .....	22
<b>4.1.1 Tipos de espaçadores plásticos</b> .....	24
4.2 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS.....	24
<b>5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA</b> .....	30
5.1 ESCOLHA DA OBRA.....	30
<b>5.1.1 Características do projeto</b> .....	31
5.2 COLETA DE DADOS.....	38
5.3 DEFINIÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS.....	38
<b>6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	41
6.1 PRIMEIRA COLETA DE DADOS.....	41
<b>6.1.1 Coleta de dados antes da concretagem</b> .....	42
<b>6.1.2 Coleta de dados depois da concretagem</b> .....	45
6.2 SEGUNDA E TERCEIRA COLETAS DE DADOS.....	48
<b>6.2.1 Coleta de dados antes da concretagem</b> .....	48
<b>6.2.2 Coleta de dados depois da concretagem</b> .....	52
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	64
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	67



## 1 INTRODUÇÃO

Buscando conciliar bom desempenho a um custo de execução acessível, foram criadas as estruturas de concreto armado. Unindo a boa resistência à compressão do concreto, ao bom desempenho à tração do aço, este tipo de estrutura desponta como a mais utilizada no mercado da construção civil nacional e internacional. Porém, para o correto funcionamento da mesma, concreto e aço devem trabalhar em conjunto, não apenas na questão da transmissão de esforços entre eles, mas também com cada parte cumprindo adequadamente a sua função. E uma das funções do concreto está em proteger a armadura.

Possuindo o concreto em relação ao aço uma maior resistência quanto às intempéries e ações do ambiente externo, este funciona como uma barreira, física e química, para a proteção da armadura que fica no interior do componente estrutural. Esta proteção serve para garantir ao aço uma maior durabilidade, e conseqüente maior vida útil da estrutura como um todo. A NBR 6118 (ABNT, 2014) define as espessuras de cobrimento de concreto às barras de aço de acordo com o local onde o componente estrutural está inserido e do tipo de elemento estrutural.

Porém, o que se observa nos empreendimentos já finalizados são problemas de desempenho de todos os tipos. Entre eles, elementos com pouco ou nenhum cobrimento de concreto, que acabam colaborando para a corrosão e comprometimento da durabilidade do aço. No Rio Grande do Sul, mais especificamente na cidade de Porto Alegre, pesquisas já realizadas (Silva, 2012, Campos, 2013, Menna Barreto, 2014, Maran, 2015, entre outros) apresentam dados quanto à variabilidade de cobrimento em estruturas já concretadas, mostrando que os resultados obtidos não são satisfatórios.

Além dos riscos à segurança que estão sujeitos usuários de prédios que apresentem manifestações patológicas, existe também um alto custo para a sua correção. Meira e Padaratz (2002) observam que os gastos com intervenções de manutenção, para estruturas com alto grau de deterioração, podem chegar a 40% dos custos de execução do componente em questão.

Em função também deste grande número de problemas apresentados pelas construções, os consumidores estão se preocupando cada vez mais em adquirir um imóvel de qualidade, e não

apenas com um preço baixo. Este fator aponta para a necessidade das construtoras se adequarem a estas exigências, oferecendo imóveis com uma maior durabilidade e vida útil.

Um dos desafios enfrentados pelas construtoras está em encontrar espaçadores de qualidade no mercado, e orientações quanto à colocação e disposição dos mesmos, para alcançar a espessura de cobertura exigida. Em sua pesquisa, Menna Barreto (2014) observa que os espaçadores plásticos (que são os tipos de espaçadores mais utilizados) encontrados no mercado brasileiro não atendem às normas de desempenho internacionais, visto que não existe nenhuma regulamentação brasileira que regularize e ateste sua qualidade. Além disso, a NBR 14931 (ABNT, 2004) fala de uma maneira muito abrangente sobre a utilização destes elementos, não fornecendo nenhuma orientação quanto à quantidade necessária, disposição ou qualquer outra informação relacionada, ficando a cargo de pesquisas e trabalhos acadêmicos, como o de Maran (2015) e Maran et al. (2015), análises que busquem boas técnicas para o uso dos espaçadores.

Sendo assim, o presente trabalho tem o intuito de, através de intervenção em obra, buscar subsídios para técnicas e disposições de colocação de espaçadores que resultem em uma espessura de cobertura satisfatória, após o elemento concretado. Resultados e observações de estudos anteriores, principalmente da dissertação de mestrado de Maran (2015), se mostram muito importantes para esta pesquisa, pois servem como marco referencial para o que será analisado, além de fornecer importantes dados de situações já consideradas.

O desenvolvimento do trabalho apresenta, após o presente capítulo introdutório, no capítulo 2, as diretrizes da pesquisa. Após, conta com dois capítulos de fundamentação teórica, fornecendo um embasamento para o desenvolvimento, que vem a seguir: o capítulo 3 aborda as características das estruturas de concreto armado, assim como normas que regem a sua execução; no quarto capítulo, são expostas alternativas para se alcançar o cobertura necessário do concreto às barras de aço, abordando também a falta de orientação e informação fornecidas pela Norma brasileira. O quinto capítulo fala sobre a obra analisada, e as intervenções que foram realizadas, com os resultados obtidos destas intervenções sendo expostos no capítulo 6. Por fim, o capítulo 7 traz as considerações finais e conclusões que foram extraídas do seu desenvolvimento.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

### 2.1 OBJETIVOS DE PESQUISA

O principal objetivo do trabalho consiste em verificar como diferentes distribuições de espaçadores e amarrações das barras para armadura positiva em lajes de concreto armado influenciam na espessura de cobrimento da mesma, antes e após a concretagem.

### 2.2 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à análise de armadura positiva em lajes maciças de concreto armado, moldadas *in loco*, que utilizam espaçador plástico do tipo multiapoio/centopeia, e malha amarrada em obra.

### 2.3 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se à análise de uma obra, situada na cidade de Porto Alegre/RS. Nesta, são consideradas três lajes, situadas em duas torres diferentes.

### 2.4 DELINEAMENTO

O trabalho é organizado através das etapas apresentadas a seguir, as quais estão descritas nos próximos parágrafos.

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração do plano experimental;
- c) colocação dos espaçadores e amarração das armaduras;
- d) leitura da distância entre a fôrma da laje e a armadura positiva;



- e) acompanhamento da concretagem;
- f) leitura das espessuras de cobertura após a desforma;
- g) interpretação dos resultados;
- h) considerações finais.

A pesquisa bibliográfica busca ampliar o conhecimento sobre o tema abordado e fornece diretrizes para a elaboração do plano experimental. O plano experimental, por sua vez, consiste em definir quais serão as técnicas e configurações utilizadas para a distribuição dos espaçadores e a amarração da armadura.

Após definidos estes critérios, contou-se com a colaboração dos operários da obra para a colocação dos espaçadores e amarração da armadura de acordo com o definido. Foram feitas observações durante este processo, e quando finalizado, antes da concretagem, foi medida a distância entre a fôrma da laje e as armaduras positivas. Em seguida, foi realizado o acompanhamento da concretagem da laje analisada, onde também foram feitas algumas observações quanto aos cuidados dos operários durante o processo. Após o concreto curado e feita a desforma da laje, utilizou-se um pacômetro digital para a leitura das espessuras de cobertura resultantes.

Com os resultados obtidos nas etapas citadas, é possível uma interpretação dos mesmos, buscando-se avaliar quais configurações se mostram mais favoráveis para a obtenção de uma espessura de cobertura final mais satisfatória.

### 3 DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Com a entrada em vigor, em julho de 2013, da NBR 15575-1 (ABNT, 2013), que define importantes parâmetros de desempenho para edificações no Brasil, mostrou-se necessária uma maior atenção quanto às construções no país. Embora esta preocupação quanto à boa execução devesse ser algo já habitual no mercado da construção civil, dados que indicam que “[...] as atividades relacionadas à manutenção, reparo e restauração de estruturas de concreto e suas partes correspondem a 35% do total do volume de trabalho do setor da construção civil [...]” (GARCIA-ALONSO et. al., 2007) servem como alerta. Os autores atentam para a necessidade de uma normatização mais rígida para proteger o cliente final.

Conforme afirma Takata (2009), os consumidores já se preocupam com a qualidade e durabilidade tanto quanto com o preço da edificação. Isto acaba sendo sentido pelas empresas: Souza e Tamaki (2005) apontam que as mudanças econômicas resultaram, além do aumento da competitividade na construção, numa maior demanda das empresas por mirar seus lucros na eficiência e qualidade de produção, e não apenas nas questões de valores.

Mais especificamente em relação a estruturas em concreto armado, que representam a maioria das obras feitas no país, a norma exige vida útil de projeto mínima de 50 anos para a estrutura. A NBR 6118 (ABNT, 2014) indica que:

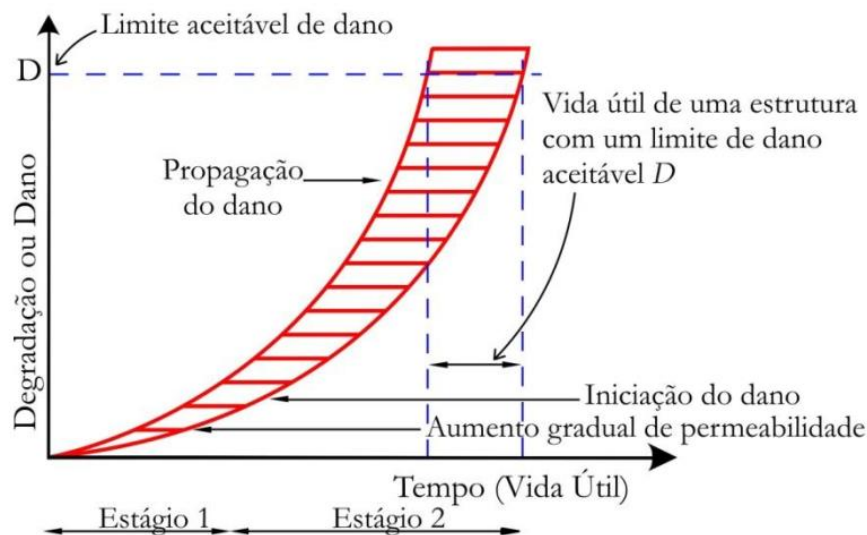
As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

Segundo definição apresentada pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013), “[...] vida útil é uma medida temporal da durabilidade de um edifício ou de suas partes [...]”, a qual serve de “[...] marco referencial para regular o mercado, evitando que o custo inicial prevaleça em detrimento do custo global e que uma durabilidade inadequada venha a comprometer o valor do bem e a prejudicar o usuário”.

Baseado nos estudos de Mehta (1994), Possan (2010) faz a seguinte observação em relação à degradação *versus* vida útil de uma estrutura de concreto:

[...] Mehta (1994) descreve a curva de comportamento quanto à degradação *versus* vida útil de uma estrutura de concreto conforme a Figura 1, destacando que a mesma não pode ser descrita de forma linear, onde há clara tendência de comportamento. Segundo o autor, devido ao efeito das condições ambientais, de carregamento e da interação dos mesmos com a estrutura de concreto, os agentes de degradação penetram no seu interior, dando início aos processos de deterioração; e, em função da quantidade considerável de efeitos que tais processos possam causar, o comportamento de degradação de uma estrutura estaria melhor representado pela área hachurada da Figura 1. Frente ao exposto por Mehta (1994), e ao encontro do observado em situações reais, quanto mais distante o tempo futuro, maiores as incertezas existentes no processo de degradação e na previsão de vida útil, pois quanto mais tempo uma estrutura estiver em funcionamento maior será a probabilidade de ocorrerem ações de valor extremamente elevado, sinalizando que os estudos de vida útil sejam conduzidos em termos probabilísticos [...].

Figura 1 – Variabilidade da vida útil das estruturas de concreto



(fonte: MEHTA, 1994 apud POSSAN, 2010)

A redução da vida útil dos empreendimentos, e necessidade de reparos e manutenções, representa parte substancial do orçamento total das construções, podendo atingir 40% do total dos recursos da indústria, em países industrialmente desenvolvidos (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Seja por falta de especificação em projetos ou por mão-de-obra desqualificada, o prejuízo com reparos em obras que não atendem às exigências de desempenho é muito alto para as empresas envolvidas, sendo este um fator que deve receber maior atenção.

No Brasil, o setor da construção civil segue ainda muitos padrões e técnicas antiquadas, não recebendo um estímulo ao desenvolvimento e à inovação. Com isso, novas tecnologias, que poderiam ser utilizadas para otimizar e qualificar processos, não são implantadas, dando lugar a técnicas convencionais, mais suscetíveis a imperfeições.

Existe uma certa falta de acompanhamento de engenheiros ou responsáveis técnicos no decorrer das obras, devendo ser a fiscalização às atividades realizadas pelos operários mais presente e rígida. De acordo com Souza e Ripper (1998):

Uma fiscalização deficiente e um fraco comando de equipes, normalmente relacionados a uma baixa capacitação profissional do engenheiro e do mestre de obras, podem, com facilidade, levar a graves erros em determinadas atividades, como a implantação de obra, escoramento, fôrmas, posicionamento e quantidade de armaduras e qualidade do concreto, desde o seu fabrico até a cura.

Em contrapartida, deve-se considerar o fato de que as empresas estão se conscientizando destas exigências, e se preocupando em oferecer um produto final de maior qualidade. A incorporação das questões de desempenho já no desenvolvimento do projeto, além da crescente preocupação com planejamento e gerenciamento das obras, representa isso. O fato de os engenheiros estarem cada vez mais preocupados em se especializar numa área/atividade específica, também representa este pensamento.

O crescente investimento por parte das empresas em equipes especializadas em gestão e planejamento, além da especialização técnica dos engenheiros responsáveis e dos próprios operários, tende a reduzir grande parte destes gastos futuros com reparos e correções, fornecendo um produto de melhor qualidade e mais pensado, para o cliente final. Profissionais mais preparados e processos melhores planejados, tendem a apresentar um resultado de maior qualidade.

### 3.1 DURABILIDADE DAS ARMADURAS

Se tratando da durabilidade das estruturas de concreto armado, pode-se apontar a conservação da armadura como um dos mais influentes fatores. Shaw (2007) aponta que se a barra de aço não se encontra na posição em que foi concebida, a segurança da estrutura pode ser gravemente afetada, podendo inclusive resultar em colapso. Seguindo esta mesma linha, para exemplificar em valores, Marsh (2003) afirma que um cobrimento efetivo que apresenta metade do valor especificado no projeto, pode acarretar redução em 75% no tempo de início da corrosão. Da mesma maneira, dobrando a espessura de cobrimento, a vida útil da estrutura aumenta em quatro vezes (DAL MOLIN, 1988).

A corrosão é o mecanismo de deterioração mais oneroso em termos de manutenção. Sendo origem de inúmeros defeitos aparentes que mesmo quando não conduzem a perdas de capacidade portante da estrutura, revelam-se prejudiciais ao bom

funcionamento estrutural (BAROGHEL-BOUNY; CAPRA; LAURENS, 2014 apud MARAN, 2015)

Silva (2007) reitera a citação acima, ao informar que a corrosão das armaduras é uma das manifestações patológicas mais frequentes em estruturas de concreto armado, representando aproximadamente 30% das anomalias existentes.

Mehta e Monteiro (2001) apontam que a baixa permeabilidade do concreto pode ser considerada a melhor proteção às armaduras frente a ataques químicos, sendo a relação água/cimento e a espessura do concreto importantes fatores para garantir tal cenário. Além disso, o mesmo relaciona as causas físicas e químicas de deterioração como estritamente entrelaçadas, sendo muitas vezes praticamente impossível de separar uma da outra, visto que a ação de uma, acaba por condicionar o aparecimento ou intensificação da outra.

Por outro lado, aumentar exageradamente a espessura de cobrimento na fase de projeto não é uma técnica muito atraente para o executor. Isto porque o aumento do cobrimento, para um elemento com armadura de dimensões já definidas, significa uma maior seção do elemento final, ou seja, aumento do consumo de concreto. Além disso, o aumento da espessura de cobrimento para um elemento de seção de concreto já definida, significa diminuir a altura útil deste elemento, o que acaba por comprometer a questão estrutural. Esta segunda situação deve ser muito bem fiscalizada, pois está diretamente ligada à execução, onde os espaçadores utilizados pelos operários devem fornecer o cobrimento definido em projeto, e não deve haver espaço além do fornecido pelos espaçadores entre a fôrma e a armadura. Conforme Maran (2015), esta situação é ainda mais crítica para estruturas em que a altura útil da seção é pequena, como é o caso de lajes.

Buscando este equilíbrio entre durabilidade e função estrutural, a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta as Tabelas 1, 2 e 3, que, quando analisadas em conjunto, definem a espessura necessária e o tipo de concreto mais adequado para cada situação, baseado no ambiente onde o projeto está inserido. “Deve ser levada em conta a proximidade de centros industriais, regiões costeiras ou regiões onde ocorrem abalos sísmicos” (TAKATA, 2009 apud CAMPOS, 2013).

Tabela 1 - Classificação ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>a, b</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>a</sup>	Grande
		Industrial <sup>a, b</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>a, c</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>a)</sup> Pode-se admitir um microclima com classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuvas em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas

(fonte: ABNT NBR 6118, 2014)

Sobre a Tabela 1, Maran (2015) realça que:

A Tabela 1 deve ser interpretada não somente em relação ao entorno ou região a qual a estrutura está inserida, mas também em relação ao uso da edificação, por exemplo, uma fábrica instalada na zona rural pode ser considerada como estrutura implantada em ambiente industrial.

Tabela 2 - Valor de espessura de cobrimento normatizado

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV <sup>c</sup>
		<b>Cobrimento nominal mm</b>			
Concreto Armado	Laje <sup>b</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com solo <sup>d</sup>	30		40	50
Concreto Protendido <sup>a</sup>	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

(fonte: ABNT NBR 6118, 2014)

A partir dos valores apresentados na Tabela 2, a NBR 6118 (2014) considera uma tolerância de execução de 10mm, que pode ser considerado como uma margem de erro executivo. Conforme realça Maran (2015), este valor é considerado apenas para diminuição do cobrimento, e se

preocupa apenas em não comprometer a durabilidade da estrutura, não levando em conta o excesso de cobrimento, que pode vir a comprometer a vida estrutural do elemento.

Além disso, a NBR 6118 (ABNT, 2014) possibilita a redução na espessura de cobrimento, em relação aos valores observados na Tabela 2, para algumas situações específicas. Quando o concreto utilizado for de uma classe de resistência superior à exigida (valores normativos presentes na Tabela 3), pode-se reduzir a espessura em até 5mm. O mesmo valor vale também para situações onde for utilizado aço inoxidável, ou quando se dispor de um sistema de controle de qualidade. Com isto, a tolerância de execução é reduzida para 5mm, pois considera-se que será alcançado um resultado melhor do que quando estes cuidados e procedimentos não existem.

Apesar desta possibilidade na redução da espessura, Maran (2015) atenta para a falta de parâmetros que definam este controle de qualidade. Com isto, qualquer obra pode alegar que possui um controle rigoroso, e com isto, aderir a esta redução de 5mm em projeto. Deve-se ter muito cuidado com esta ressalva fornecida pela norma, para, com isso, não comprometer a durabilidade da estrutura.

Tabela 3 - Relação entre qualidade do concreto e classe de agressividade

Concreto <sup>a</sup>	Tipo <sup>b,c</sup>	Classe de agressividade do ambiente			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

<sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.  
<sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.  
<sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

(fonte: ABNT NBR 6118, 2014)

Em complemento à Tabela 2, a NBR 6118 (ABNT, 2014) define também os cobrimentos nominais mínimos ( $c_{nom}$ ), sempre referentes à face externa da armadura mais exposta. Este valor deve ser sempre maior ou igual ao diâmetro da barra utilizada ( $\emptyset_{barra}$ ), e além disso, o agregado graúdo utilizado no concreto pode ter espessura no máximo 20% maior do que a espessura nominal de cobrimento.

## 4 ESPESSURA DE COBRIMENTO DA ARMADURA

No capítulo 3 foi descrita a importância do cobrimento das armaduras em estruturas de concreto armado, e alguns outros fatores ligados à durabilidade e vida útil da estrutura. No presente capítulo, são analisadas as alternativas e técnicas disponíveis no mercado, para cumprir as exigências que foram expostas.

### 4.1 ESPAÇADORES

A fim de respeitar a espessura de cobrimento exigida por norma, apresentada na Tabela 2, faz-se uso dos espaçadores. Estes dispositivos tem a função de manter a armadura na posição durante a montagem das armaduras, lançamento e o adensamento do concreto, para garantir o cobrimento especificado em projeto (TAKATA, 2009).

A NBR 14931 (ABNT, 2004), que abrange técnicas de execução, apresenta o seguinte texto quanto à recomendação para a sua utilização:

O cobrimento especificado para a armadura no projeto deve ser mantido por dispositivos adequados ou espaçadores e sempre se refere à armadura mais exposta. É permitido o uso de espaçadores de concreto ou argamassa, desde que apresente relação água/cimento menor ou igual a 0,5, e espaçadores plásticos, ou metálicos com as partes em contato com a fôrma revestidas com material plástico ou outro material similar. Não devem ser utilizados calços de aço cujo cobrimento, depois de lançado o concreto, tenha espessura menor do que o especificado no projeto.

Podem ser utilizados outros tipos de espaçadores não descritos nesta Norma, desde que não tenham partes metálicas expostas.

Se tratando do mercado brasileiro, os tipos de espaçadores mais utilizados são os de plástico e os de argamassa (MENEZES, 2009). O segundo apresenta a vantagem de poder ser confeccionado na obra, no formato e com as características mais apropriadas para cada situação. Porém, isto demanda uma mão de obra que muitas vezes não compensa estes outros fatores, além de que tende a apresentar maior variabilidade em relação ao plástico. Enquanto isto, os espaçadores industrializados de plástico despontam como os preferidos das construtoras: comprados em grande quantidade, apresentam uma uniformidade maior do que os produzidos em obra, e tem um preço que compensa, pois não demanda mão de obra em canteiro para a



confeção. Além disso, estão disponíveis para diferentes espessuras de cobrimento, e são de fácil colocação.

A Tabela 4 apresenta uma comparação entre os espaçadores plásticos e os de argamassa.

Tabela 4 - Estudo comparativo entre espaçadores plásticos e pastilhas de argamassa

	<b>Espaçadores plásticos</b>	<b>Pastilhas de argamassa</b>
<b>Investimento</b>	Representam apenas 0,2% do custo total da obra.	Custam em média 45% a mais do que os espaçadores plásticos;
<b>Produtividade</b>	Fáceis de aplicar, aumentando a produtividade da obra. Não há necessidade de mão de obra qualificada para aplicação dos espaçadores.	O concreto utilizado para fazer as pastilhas deve ser o mesmo utilizado na estrutura. Necessitam de mão de obra qualificada para aplicação (armador).
<b>Qualidade</b>	Cor uniforme. Modelos que possibilitam o mínimo contato com as fôrmas. Garantem o cobrimento de concreto especificado. Posicionam a armadura corretamente. Não absorvem produtos químicos.	Grande área de contato com a fôrma. Não garantem o cobrimento com precisão. Absorvem o desmoldante, criando focos de infiltração.
<b>Estoque e Transporte</b>	Podem ser manuseados, estocados e transportados facilmente, pois não há risco de quebra.	Quebram com facilidade através do manuseio das embalagens e do modo como são estocados.

(fonte: PEIXOTO E GOMES, 2006)

Apesar das vantagens dos espaçadores plásticos, apresentadas na Tabela 4, um fator que ainda causa certa desconfiança é quanto à certificação de qualidade do material. Menna Barreto (2014) lembra que “[...] não existe norma brasileira que regulamente a produção ou estabeleça especificações mínimas necessárias do produto para garantir o desempenho requerido [...]”, o que não garante uma certificação por nenhum órgão normatizador. Com isto, acaba ficando à cargo da experiência e de recomendações, a escolha de um dispositivo que representa enorme importância para o correto cobrimento das armaduras, e conseqüente bom desempenho e durabilidade do elemento.

Em sua pesquisa, Menna Barreto (2014) observou que nenhum modelo de espaçador plástico analisado desempenha simultaneamente a função quanto à estabilidade, à fixação, ao dimensionamento e ao suporte de carga, de acordo com as exigências das normas europeias. Estes dados apontam para a necessidade de uma normativa brasileira quanto à qualidade dos espaçadores plásticos comercializados no mercado, que forneça um referencial para os compradores e fabricantes deste produto.

### 4.1.1 Tipos de espaçadores plásticos

Dentre os espaçadores plásticos industrializados, existem dois modelos que são os mais usuais para o suporte da armadura positiva das lajes (Figuras 2 e 3).

Figura 2 - Espaçador tipo cadeirinha



(fonte: MaqBlocos)

Figura 3 - Espaçador tipo multiapoio/centopeia



(fonte: Conekplas)

Um cuidado que se deve ter na hora da colocação dos espaçadores, é de conferir se todos apresentam as mesmas dimensões. O mesmo modelo, da mesma marca, geralmente apresenta diferentes tamanhos, para cada tipo de cobertura necessário. Sendo a diferença pouco perceptível, uma peça de tamanho diferente das demais já pode comprometer o cobertura naquele ponto, permitindo que a armadura se deforme diferente naquela determinada região.

O catálogo de um fornecedor de espaçador do tipo centopeia, por exemplo, apresenta o mesmo produto, com variação de cobertura que vai de 15mm até 40mm, com intervalo de 5mm entre eles. Sendo assim, dentro do canteiro de obras, deve-se controlar o armazenamento e a distribuição/utilização correta destes materiais, a fim de evitar o problema mencionado no parágrafo anterior.

## 4.2 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

Ao longo do capítulo 3, foram expostas algumas das normas e recomendações de cobertura mínimo, vida útil mínima, dentre outras, que regem o desenvolvimento de projetos em estruturas de concreto armado. Porém, existe uma carência de orientação de como alcançar estes valores exigidos pela NBR 6118 (2014), na hora da execução.

A NBR 14931 (ABNT, 2004), que pode ser considerada a norma referencial para a execução, orienta apenas que:

A montagem da armadura deve ser feita por amarração, utilizando arames. No caso de aços soldáveis, a montagem pode ser feita por pontos de solda. A distância entre os pontos de amarração das barras das lajes deve ter afastamento máximos de 35cm.

A amarração é um fator importante para a obtenção da espessura de cobrimento resultante. A recomendação da norma britânica BS 7973-2 (2001) é ainda mais rígida que a da NBR 14931 (ABNT, 2004), devendo ser feita amarração em todos os pontos de interseção nas barras de até 20mm, no caso de lajes. Esta amarração colabora para diminuição da deformação das barras (principalmente as de menor bitola), além de ajudar a manter o espaçador na posição devida, levando em conta que a malha formada pelas barras terá um comportamento mais firme.

Uma solução que surge para amenizar o problema da amarração da malha, que demanda bastante trabalho, é o uso de malhas de aço já soldadas. No site de um fornecedor, pode-se encontrar malhas compostas de aço com diâmetro de 4.2mm até 10mm, com espaçamento entre fios de 15cm x 15cm e 10cm x 10cm. A grande vantagem deste produto está no fato de todas as interseções serem soldadas, garantindo assim uma maior estabilidade da peça como um todo.

A NBR 14931 (2004) realça também que, durante o lançamento do concreto, a armadura deve se manter na posição especificada no projeto, “[...] conservando-se inalteradas as distâncias das barras entre si e com relação às faces internas das fôrmas”.

Porém, não existem informações de quantos espaçadores devem ser utilizados numa determinada área, do intervalo máximo de espaçamento entre os mesmos, do melhor modelo para cada situação, entre outras. Com isso, acaba ficando à cargo geralmente dos operários de obra esta decisão, pois em muitos casos, nem os próprios engenheiros ou responsáveis técnicos dos empreendimentos se preocupam com tal informação.

Menna Barreto et al., em pesquisa realizada em 2014, atentam para o fato de que o número de espaçadores que devem ser utilizados e a sua disposição variam para cada situação, sendo um dos principais balizadores para tal, a bitola da armadura utilizada. Helene (2013) já observava o mesmo, ressaltando que o número de espaçadores por metro quadrado depende da bitola da armadura, e dos esforços solicitantes.

Quanto maior o diâmetro da barra, menor a sua tendência em se deformar, seja pelo trânsito de operários sobre a mesma, ou por outro fator (MENNA BARRETO, 2014). Por isso, deve se ter atenção ainda maior quando a armadura positiva for confeccionada por aço de bitola 4.2mm, 5mm, ou 6.3mm, que são as menores utilizadas em projetos padrões, e as mais suscetíveis à deformação.

Buscando um referencial para a distância máxima entre espaçadores, o Comitê-Internacional do Concreto (CEB, 1990), a Norma Britânica (BS 7973-2, 2001) e a Instrução Espanhola do Concreto Estrutural (EHE, 2008) consideram a bitola da armadura e o tipo de peça estrutural para definir alguns parâmetros para este espaçamento. Estes valores estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Distância máxima entre os espaçadores, segundo norma europeia

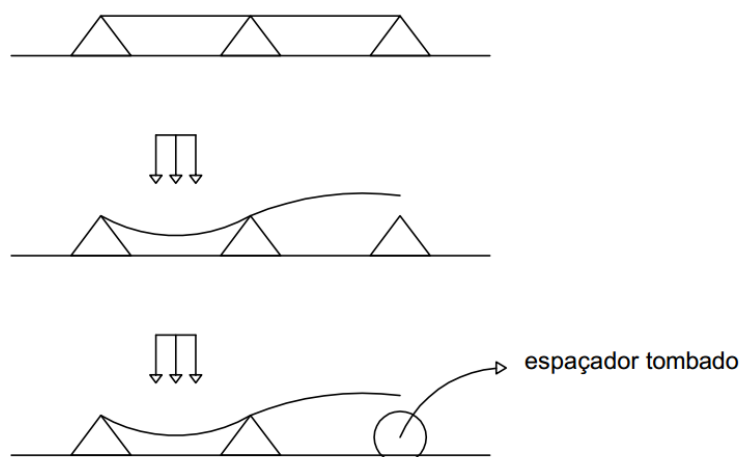
<b>Elementos</b>		<b>Distância Máxima</b>
Elementos superficiais horizontais (lajes e fundações)	Armadura inferior	$50 \phi \leq 100 \text{ cm}$
	Armadura superior	$50 \phi \leq 50 \text{ cm}$
Muros/Paredes	Cada armadura	$50 \phi \text{ ou } 50 \text{ cm}$
	Separação entre armaduras	100 cm
Vigas		100 cm
Pilares		$100 \phi \leq 200 \text{ cm}$

$\phi$  Diâmetro da armadura fixada no espaçador.

(fonte: CEB, 1990; BS 7973-2, 2001 e EHE, 2008 apud Menna Barreto, 2014)

Maran (2015) volta sua pesquisa justamente para a análise de fatores ocorrentes em obra, que comprometem a espessura de cobrimento resultante. Foi observado a partir de simulação computacional que barras de aço com diâmetro de 4.2mm e 5mm apresentam alta tendência a sofrerem deformação plástica total, independente da abertura da malha e da distância entre os espaçadores, comparadas às barras com bitola a partir de 8mm. Além desta deformação plástica sofrida por barras de menor diâmetro, deve-se também levar em conta que, quando o espaçador não está fixado à armadura, a deformação da mesma tende a tombar o espaçador, que perde a sua função. Esta situação está representada na Figura 4.

Figura 4 - Situação de tombamento do espaçador



(fonte: elaborado pelo autor)

Reforçando o analisado por Maran (2015), a norma inglesa BS 7973-2 (2001) define que a colocação de espaçadores não deve ultrapassar cinquenta vezes o diâmetro das barras utilizadas na armadura em questão, sendo colocados de maneira intercalada. Com isso, as barras de menor diâmetro, que são as mais suscetíveis a deformações, devem ser apoiadas por mais espaçadores, buscando manter sua estabilidade maior.

Além das incertezas quanto à qualidade do produto utilizado, e da falta de orientação normativa que defina a quantidade e disposição dos espaçadores, existe também a falta de fiscalização e cuidado, em canteiro de obra, das armaduras já posicionadas na forma. Apesar da NR 18 (2015) e da NBR 14931 (2004) estabelecerem como obrigatória a colocação de pranchas de madeira firmemente apoiadas às armações para circulação de operários, a fim de não acarretar deslocamento da armadura, na prática, muitas vezes estes cuidados não são tomados, comprometendo a posição das barras já colocadas. Maran (2015) observa que a carga devido ao lançamento do concreto é praticamente nula, comparado à causada pelo trânsito de operários.

Em seus trabalhos, Silva (2012), Campos (2013), Menna Barreto (2014) e Maran (2015) analisaram, através de leituras em obra, a espessura de cobrimento resultante. O fator mais considerável encontrado por estes trabalhos, que foi ainda mais presente para o caso de laje, está na variabilidade do cobrimento. Seja para mais ou para menos, a espessura obtida, na maioria dos casos, apresentava valor diferente do determinado em projeto. Além disso, também foi observado que o cobrimento medido antes da concretagem, era comprometido após o lançamento do concreto (na maioria dos casos, diminui), o que indica a falta de amarração da

armadura, falta de espaçadores, ou ainda a má qualidade destes dispositivos, que não resistem ao tráfego e movimentação sofridos durante o ato da concretagem.

O fator “controle de qualidade”, abordado no capítulo 3.1, que permite a redução de 5mm do cobrimento em algumas situações, foi considerado por grande parte das construtoras analisadas nestes trabalhos. Com isto, um resultado que se mostra preocupante, acaba sendo ainda mais agravado pelo fato das construtoras utilizarem esta margem de redução de 5mm.

Buscando uma melhor definição para este controle de qualidade, Andrade (2001) apresenta a Tabela 6, que estabelece o nível de controle que pode ser considerado quanto ao uso de espaçadores na obra.

Tabela 6 - Definição quanto ao nível de controle da execução de elementos estruturais em concreto armado

Nível de controle	Característica qualitativa
Baixo	- Inexistência de um plano de distribuição dos espaçadores em relação à área e/ou volume dos elementos estruturais;
	- Emprego de espaçadores inadequados (espessura variável, traço diferente do traço do concreto da estrutura).
Alto	- Existência de um plano adequado de distribuição dos espaçadores;
	- Emprego de espaçadores adequados.

(fonte: ANDRADE, 2001 apud CAMPOS, 2013)

Seguindo esta mesma linha, Silva (2012) também define parâmetros, visando enquadrar as obras analisadas quanto ao nível de controle de qualidade. No seu trabalho, ele define seis itens, e a partir da quantidade destes itens que cada obra atende, ele a enquadra como ruim (1 ou 2 itens atendidos), média (3 ou 4 itens atendidos) ou excelente (5 ou 6 itens atendidos). Abaixo estão listados os seis itens considerados.

- a) presença de Engenheiro Civil responsável;
- b) organização de canteiro;
- c) condições de limpeza do pavimento medido;
- d) utilização de EPI;

- e) metodologia na disposição dos espaçadores;
- f) certificação de qualidade.

Apesar das empresas participantes destas pesquisas possuírem controle de qualidade, e consequentemente afirmarem possuir um controle rigoroso de execução, nenhuma possuía qualquer metodologia padronizada para a colocação dos espaçadores ou cuidado com o trânsito dos operários.

## 5 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Buscando colocar em prática os conhecimentos adquiridos até aqui, foram realizadas medições e intervenções em campo. O presente capítulo tem a função de justificar a escolha da obra analisada, além de explicar a metodologia e as estratégias utilizadas para a definição das configurações de disposição dos espaçadores, que foram aplicadas para as armaduras positivas das lajes da mesma. Todo o embasamento para tais escolhas foi extraído dos capítulos anteriores deste trabalho, sendo que Silva (2012) e Campos (2013) municiaram valiosos parâmetros para as medições realizadas e os principais critérios a serem levados em conta. Além disso, os ensaios de Maran (2015) forneceram os dados que foram utilizados para definir quais configurações melhor se encaixavam na situação encontrada, e as intervenções feitas por Maran et al. (2015) também foram de grande importância quanto à maneira como intervir em obra, pois fornecem um referencial na mesma linha do trabalho aqui apresentado.

### 5.1 ESCOLHA DA OBRA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi escolhida uma obra, localizada na cidade de Porto Alegre/RS. As principais exigências para tal escolha, foram:

- a) obra realizada em estrutura de concreto convencional;
- b) utilização de concreto moldado *in loco*;
- c) lajes maciças;
- d) edifício com múltiplos pavimentos;
- e) utilização de espaçadores plásticos para armaduras positivas das lajes.

O empreendimento escolhido é um condomínio residencial, composto por três torres, que apresentam apartamentos de 1 e 2 dormitórios. Além disso, estão planejados piscina, academia, e uma completa infraestrutura, incluindo café, lavanderia, dentre outros serviços.



Foram realizadas medições em duas torres. A primeira possui 15 pavimentos, sendo que as intervenções realizadas neste trabalho, foram feitas no 14º e no 15º pavimento. A geometria do pavimento, simétrica em dois sentidos, permitiu a leitura de diferentes configurações em um mesmo andar, o que fornece uma maior amostragem de dados. A segunda torre analisada é composta também por 15 pavimentos, porém as medições foram realizadas no 5º. O pavimento desta é padronizado a partir do 6º andar, portanto, onde foi realizado o trabalho, a geometria apresentava dimensões maiores, sendo possível também coletar dados em vários pontos diferentes.

### **5.1.1 Características do projeto**

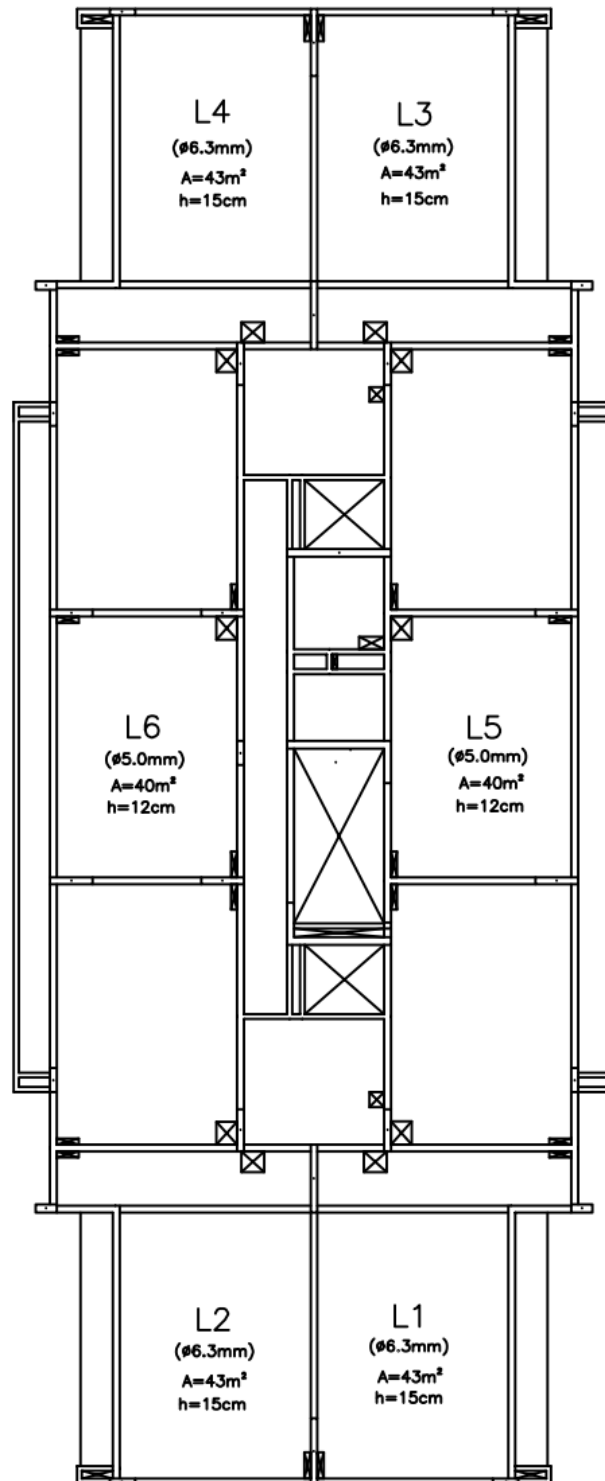
A partir dos projetos estruturais e detalhamentos das lajes do empreendimento, foi feita uma minuciosa análise, a fim de identificar as principais características do mesmo, e verificar quais configurações para distribuição de espaçadores se mostram mais adequadas para esta situação.

Informações como espessura de cobrimento definidas em projeto e fck do concreto especificado são essenciais para verificar a adequação do projeto com as exigências normativas. Além disso, permite um comparativo entre o valor projetado, e o de fato obtido.

Os projetos de fôrma e de armadura positiva do empreendimento foram importantes para possibilitar um plano de ataque na obra, dividindo o pavimento em partes menores, chamadas aqui de quadrantes, e permitindo assim que fossem utilizadas diferentes configurações em um mesmo pavimento, fato que possibilita um maior número de resultados.

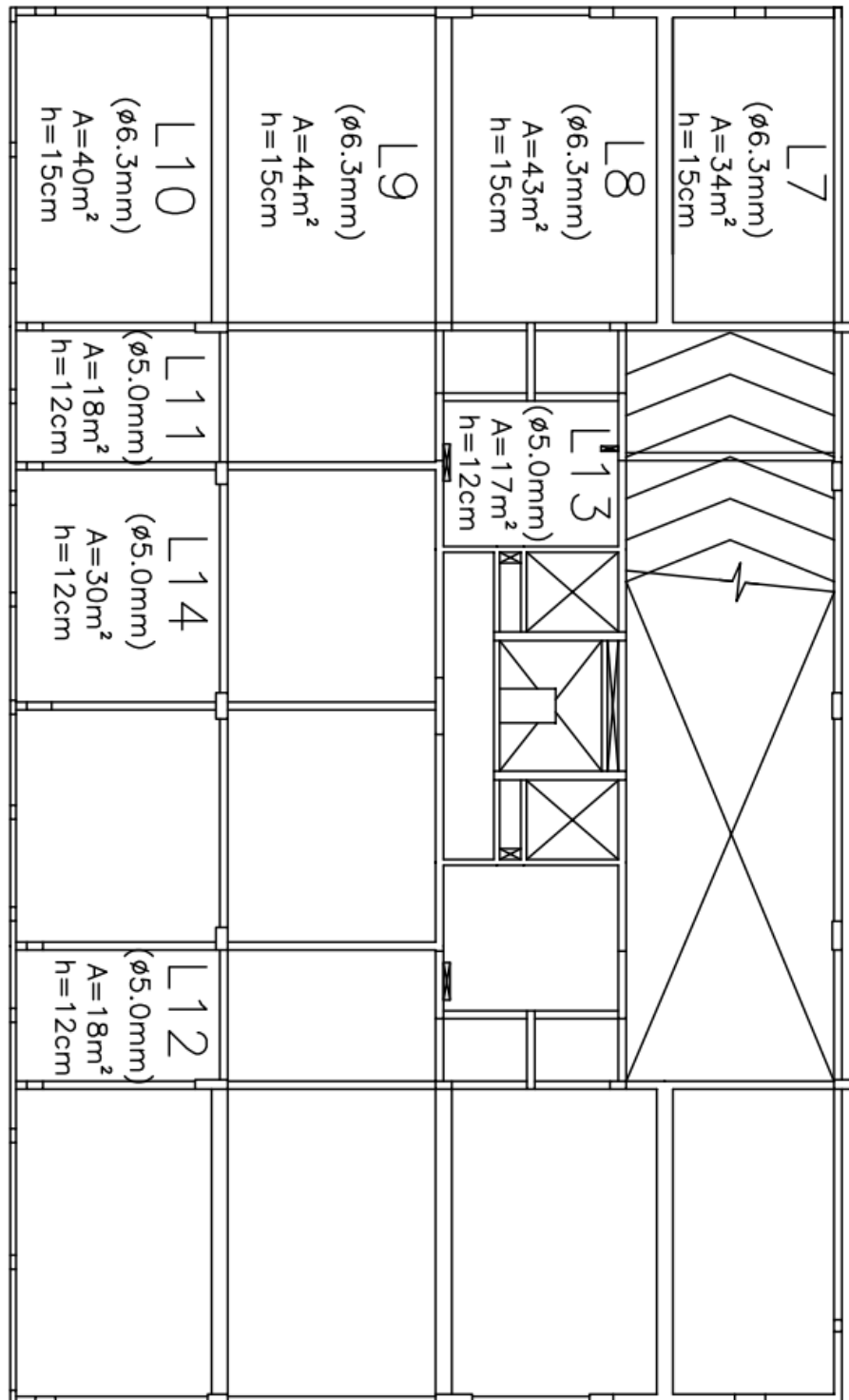
Quanto à definição destes quadrantes, que estão apresentados nas Figuras 5 a 7, foi feita uma análise do projeto de armadura positiva. A partir daí, foi observado que os pavimentos em questão apresentam diferentes configurações de armadura positiva, variando tanto o diâmetro das barras, quanto o espaçamento entre elas. Levando em conta o trabalho realizado por Maran (2015), optou-se por verificar apenas as regiões onde essa armadura forma uma malha de mesma bitola, com mesmo espaçamento nos dois sentidos. Os quadrantes onde não foram realizadas medições, possuem diferentes diâmetros de armadura nos sentidos longitudinal e transversal, ou apresentam diferentes aberturas de malha nos dois sentidos, e seus dados foram omitidos das Figuras 5 a 7, a fim de oferecer uma visão mais clara do desenho de cada pavimento.

Figura 5 – Planta baixa do 14º pavimento da Torre 2



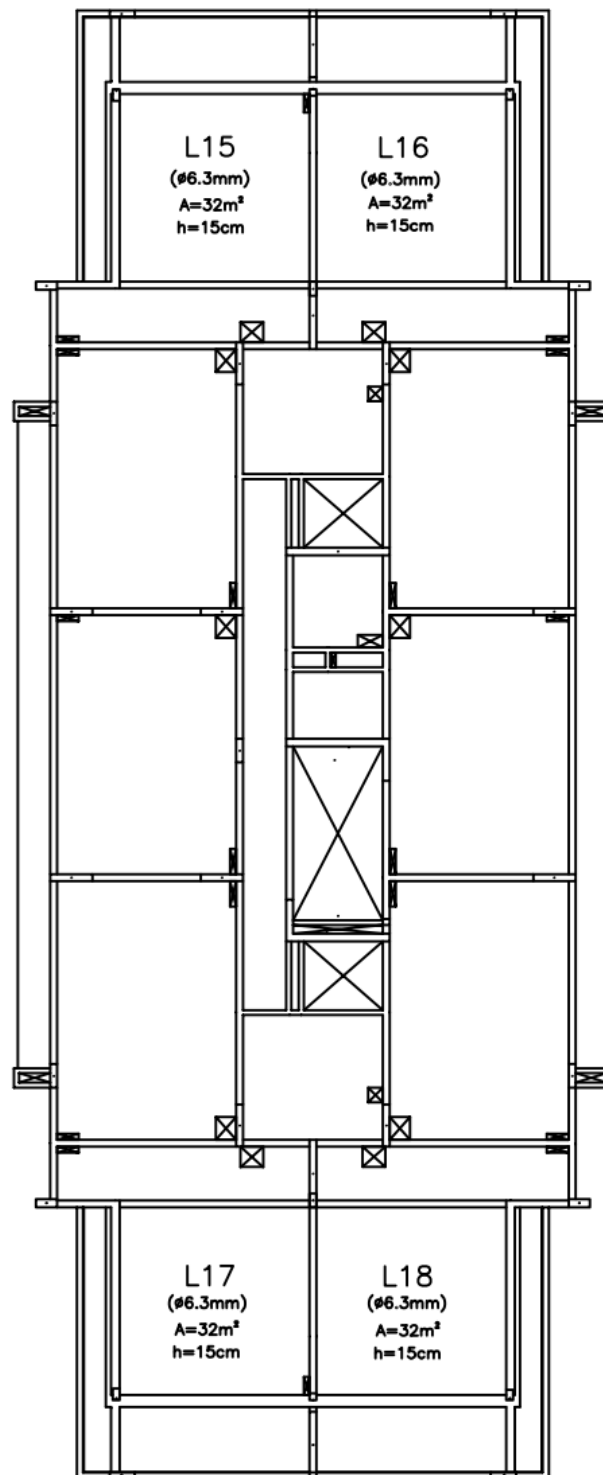
(fonte: modificado pelo autor)

Figura 6 – Planta baixa do 5º pavimento da Torre 3



(fonte: modificado pelo autor)

Figura 7 – Planta baixa do 15º pavimento da Torre 2

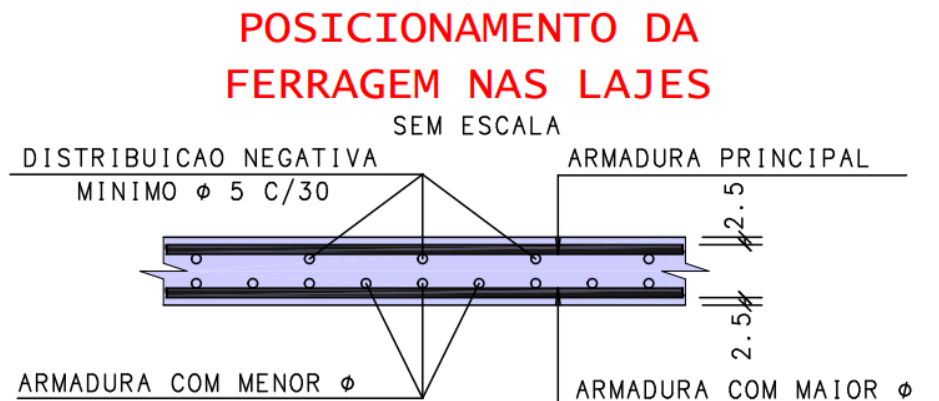


(fonte: modificado pelo autor)

A armadura positiva utilizada é confeccionada em obra, sem pontos soldados. Composta basicamente por barras de bitola 5mm e 6.3mm. Foram observadas diferentes configurações dentro de uma mesma laje, possuindo regiões que formam uma malha de mesma bitola, e outras compostas por barras de diferentes diâmetros. Quando estas bitolas são diferentes no sentido longitudinal e transversal, o projeto especifica que a armadura de menor diâmetro fique apoiada sobre a de maior bitola. O espaçamento entre as barras, nos pavimentos avaliados, varia entre 10cm e 15cm.

Quanto ao cobrimento proposto em projeto, um detalhamento apresentado em planta, exposto na Figura 8, mostra que este deve ser de 2,5cm, tanto na face inferior quanto na superior da laje. Além disso, traz duas importantes observações em relação ao uso dos espaçadores e controle de execução.

Figura 8 – Detalhamento apresentado em planta



(fonte: detalhamento do projeto estrutural, 2017)

O espaçador plástico escolhido pela empresa é do tipo multiapoio/centopeia. A Figura 9 apresenta uma amostra do espaçador utilizado na obra.

Figura 9 – Modelo de espaçador utilizado em obra



(fonte: foto do autor)

Pode-se observar pela Figura 9 que, apesar do projeto especificar cobertura de 2,5cm, o espaçador utilizado possui dimensão de 2cm. Este problema, que provavelmente ocorre devido à falta de um controle mais rigoroso dos materiais utilizados em obra, foi alertado no Capítulo 4. A existência de várias dimensões de um mesmo modelo de espaçador, de uma mesma marca, se não for feito um controle cuidadoso, pode originar este tipo de confusão. Devido à semelhança entre eles, muitas vezes este fato pode até passar despercebido.

Analisando as Tabelas 1 e 2 de acordo com as características da obra estudada, observa-se a seguinte situação: por estar situada no meio urbano, a classe de agressividade ambiental pode ser considerada do tipo II, moderada, o que oferece um pequeno risco de deterioração à estrutura. Para este caso, se tratando de laje de concreto armado, a norma exige um cobrimento nominal mínimo de 25mm. Como o concreto utilizado na obra possui um  $f_{ck}$  de 35 MPa (a norma, segundo a Tabela 3, exige mínimo de 25MPa para classe II), e o detalhamento de projeto anteriormente citado indica um controle rigoroso de execução, o projetista poderia ter optado por diminuir a espessura de cobrimento para 1,5cm, sendo uma redução de 5mm referente à resistência do concreto e os outros 5mm referente ao controle de qualidade da obra. Esta mudança estaria de acordo com as condições expostas no Capítulo 3, que tratam da possibilidade de reduzir 5mm na espessura de cobrimento, caso algumas condições sejam observadas. Porém, como o projeto especifica um cobrimento de 2,5mm, não cabe à obra esta mudança.

A partir do método utilizado por Silva (2012), apresentado no capítulo 4, buscou-se estabelecer também um critério para determinar o nível de controle da obra. Com isso, foram definidos cinco critérios para serem verificados seu cumprimento ou não durante a execução, e, a partir destes, determinar o controle de qualidade da mesma. Os cinco itens adotados foram os seguintes:

- a) presença de engenheiro civil ou responsável durante a concretagem;
- b) organização e limpeza do canteiro de obras;
- c) metodologia para disposição dos espaçadores;
- d) utilização de EPI;
- e) certificação de qualidade.

Para definir qual o nível de controle da obra, verificou-se a quantidade destes itens que foram atendidos, onde determinou-se que:

- a) obra sem controle: nenhum item atendido;
- b) obra com nível ruim de controle: um item atendido;
- c) obra com nível intermediário de controle: dois ou três itens atendidos;
- d) obra com nível bom de controle: quatro itens atendidos;
- e) obra com nível excelente de controle: todos os itens atendidos.

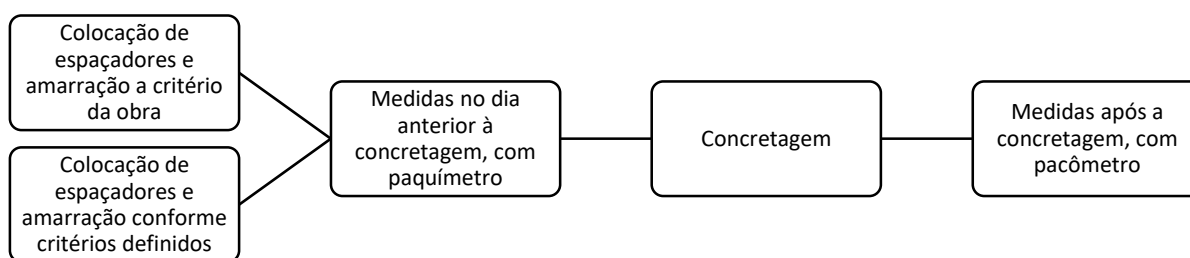
Foram mudados alguns dos parâmetros, se comparado com o trabalho de Silva (2012). Isto se deve pelo fato de que, diferente de seus levantamentos, que abrangeram várias obras, e cada uma delas cumpria ou não cada um dos itens, o presente trabalho analisa apenas uma. Com isso, a determinação destes parâmetros é feita de uma análise geral da mesma, não sendo considerada a limpeza de cada pavimento, por exemplo, mas sim da obra como um todo.

## 5.2 COLETA DE DADOS

A leitura do espaçamento resultante foi dividida em duas etapas. Primeiro, no dia anterior à concretagem, mediu-se a distância entre a face inferior da armadura positiva e a fôrma da laje. Este trabalho foi realizado no momento onde a montagem da laje já havia sido encerrada, não havendo mais trabalho sendo realizado na mesma, exceto a concretagem no dia seguinte. Após a concretagem, com auxílio do pacômetro, foi medida a espessura de cobertura resultante final da armadura positiva em relação à face inferior da laje.

Este procedimento, que está resumido esquematicamente na Figura 10, foi dividido ainda em dois momentos diferentes: na primeira situação, deixou-se a cargo da obra a colocação dos espaçadores e amarração da armadura, a fim de verificar a existência ou não de alguma metodologia para tal atividade, e obter os cobrimentos resultantes desta configuração. O segundo momento consistiu na intervenção para colocação dos espaçadores de acordo com algumas situações julgadas potencialmente satisfatórias. Com estes resultados, foi possível fazer um comparativo com a não existência de padrão de colocação de espaçadores e amarração da malha, além de mostrar o quanto as configurações testadas são satisfatórias ou não.

Figura 10 – Resumo das atividades realizadas em obra



(fonte: elaborado pelo autor)

## 5.3 DEFINIÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS

Para a definição do padrão a ser utilizado, nos quadrantes onde foram feitas intervenções, dois pontos foram os principais a serem levados em conta. Primeiro, se tratando de uma obra onde a malha é confeccionada em canteiro, não é usual que esta apresente amarração em todos os pontos de interseção entre as barras de aço. Com isso, definiu-se amarração a cada 40cm. Este espaçamento é maior do que o recomendado pela NBR 14931 (ABNT, 2004), mas, se tratando de uma situação real, em canteiro de obra, este valor foi julgado relativamente realista. Este



espaçamento foi definido para ser utilizado em todos os quadrantes a serem analisados, tanto os que apresentam malha de diâmetro 5.0mm, quanto para onde a malha é composta por bitola de 6.3mm.

A segunda situação analisada diz respeito à distância entre os espaçadores utilizados. Assim como comentado anteriormente, apesar do projeto especificar cobrimento de 2,5cm para a parte inferior da laje, os espaçadores utilizados em obra possuem dimensão de 2cm. Com isso, para a realização do trabalho, foi considerado cobrimento de 2cm.

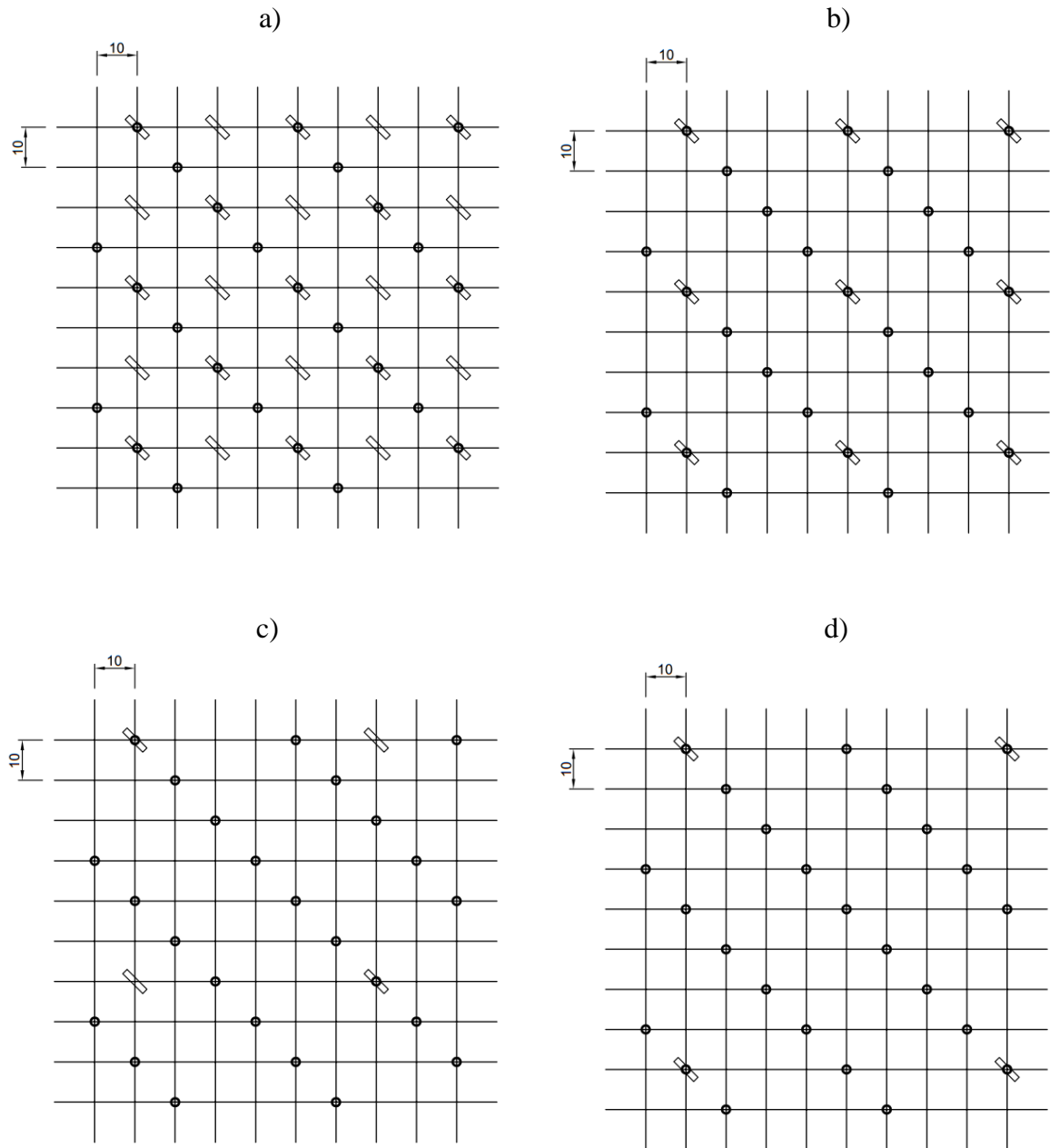
Foram consultados os resultados obtidos por Maran (2015), onde foi analisada a deformação sofrida pelas barras de aço de diferentes bitolas, com diferentes distâncias de abertura da malha, para espaçadores que variam de 1cm até 4,5cm. Para as barras de 5.0mm com cobrimento de 2cm e abertura da malha de 10cm, foi observado um alto índice de plastificação total para qualquer que seja a distância entre os espaçadores, de 20cm até 100cm. Este fato mostra a fragilidade para confecção de malhas com armadura desta bitola, sendo interessante até analisar a substituição destas por barras de 6.3mm ou superior. Para os casos onde a malha é formada por barra de diâmetro 6.3mm, esta situação mostra-se um pouco mais satisfatória, porém, também apresenta um considerável índice de plastificação, principalmente para distância entre espaçadores a partir de 60cm.

Visto isso, e considerando a quantidade de quadrantes disponíveis para realização de ensaios, optou-se por realizar as seguintes configurações para distribuição de espaçadores:

- a) espaçamento de 20cm entre os espaçadores;
- b) espaçamento de 40cm entre os espaçadores;
- c) espaçamento de 60cm entre os espaçadores;
- d) espaçamento de 80cm entre os espaçadores.

Optou-se por utilizar os mesmos espaçamentos tanto para as malhas de 5.0mm quanto para as de 6.3mm. A Figura 11 mostra como se comportam estas configurações na malha, considerando amarração a cada 40cm.

Figura 11 – Distribuição dos espaçadores: a) 20cm; b) 40cm; c) 60cm; d) 80cm.



#### LEGENDA:

- Amarração
- ▭ Espaçador

(fonte: elaborado pelo autor)

A partir das medições acima citadas, foi organizado um banco de dados. Este, por sua vez, permitiu a criação de tabelas e histogramas, que mostram de uma maneira clara o comportamento de cada situação, e permite uma análise dos cobrimentos encontrados.

## 6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Seguindo os passos expostos no capítulo 5, aqui serão apresentados todos os resultados obtidos das medições realizadas em obra. O capítulo será dividido em dois subcapítulos, onde inicialmente será abordada a primeira coleta de dados, realizada sem interferência para colocação dos espaçadores ou amarração de pontos. Enquanto isso, o subcapítulo 6.2 irá expor os resultados obtidos a partir das distribuições de espaçadores propostas pelo autor.

Quanto ao nível de controle de qualidade da obra, observou-se a situação apresentada na Tabela 7 ao longo do trabalho.

Tabela 7 – Nível de controle observado em obra

NÍVEL DE CONTROLE	
Presença de engenheiro civil ou responsável durante a concretagem?	(X) SIM ( ) NÃO
Organização e limpeza do canteiro de obras?	( ) SIM (X) NÃO
Possui metodologia para disposição dos espaçadores?	( ) SIM (X) NÃO
Utilização de EPI?	(X) SIM ( ) NÃO
O empreendimento/empresa possui certificado de qualidade?	(X) SIM ( ) NÃO

(fonte: elaborado pelo autor)

A partir do observado na Tabela 7, e do proposto no capítulo anterior, define-se o nível de controle da obra como intermediário (foram atendidos 3 dos 5 itens avaliados). Quanto à questão da organização e limpeza do canteiro, o que mais pesou para definir como “não possui”, foi a utilização de espaçadores com uma dimensão inadequada à proposta em projeto.

### 6.1 PRIMEIRA COLETA DE DADOS

Na primeira amostragem de dados, não foi feita nenhuma intervenção em obra quanto à disposição dos espaçadores ou amarração de pontos de interseção. Estas decisões foram deixadas a cargo dos operários, segundo as recomendações recebidas do engenheiro responsável, e das técnicas usualmente empregadas pelos mesmos. Nesta situação, no dia

anterior à concretagem da 14ª laje, foi realizada a medição da distância entre a face inferior da armadura positiva e a fôrma. Foram lidos 20 pontos dentro de cada quadrante analisado. Estes pontos foram escolhidos aleatoriamente, buscando sempre representar o comportamento daquela região, com seus pontos mais críticos, e as situações mais observadas.

### **6.1.1 Coleta de dados antes da concretagem**

Nesta primeira etapa, foram definidos seis quadrantes. Quatro deles, compostos por malha de barras de 6.3mm, com espaçamento de 10cm entre as mesmas (tanto no sentido longitudinal quanto no transversal). Os outros dois quadrantes apresentam armadura positiva de diâmetro 5mm, também com espaçamento de 10cm. Estas escolhas se devem ao fato de apenas estes quadrantes, dentro do pavimento considerado, apresentarem malha formada por barras de mesmo diâmetro nos sentidos longitudinal e transversal.

Quanto ao método utilizado pelos operários para a disposição dos espaçadores e amarração da malha, não foi observado nenhuma técnica ou padrão. Apesar do engenheiro recomendar que os espaçadores sejam colocados a 1m de distância entre eles, estes eram na verdade espalhados inicialmente por um operário, que escolhia alguns pontos aleatórios que julgava suficiente, enquanto outro vinha na sequência colocando estes sob a malha. Não foi realizada nenhuma amarração destes dispositivos com a armadura.

A Tabela 8, a seguir, apresenta estes valores que foram lidos no dia anterior à concretagem do 14ª pavimento.

Tabela 8 – Valores de cobertura lidos antes da concretagem da primeira laje

VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)						
Configuração: a critério da obra				Pavimento: 14º - Torre 2		
ANTES DA CONCRETAGEM						
	L1 (6.3mm)	L2 (6.3mm)	L3 (6.3mm)	L4 (6.3mm)	L5 (5.0mm)	L6 (5.0mm)
Espaçadores	s/ critério	s/ critério	s/ critério	s/ critério	s/ critério	s/ critério
1	17	20	18	10	0	20
2	16	19	11	9	10	19
3	10	19	8	2	9	3
4	22	9	14	22	20	0
5	19	20	20	14	12	5
6	13	0	20	10	19	9
7	6	3	17	20	14	20
8	13	0	20	19	5	2
9	19	20	15	14	0	20
10	10	22	10	18	0	10
11	19	10	3	0	15	10
12	19	4	25	0	3	0
13	19	5	26	12	1	14
14	21	23	24	20	20	12
15	0	13	14	11	18	1
16	10	20	10	5	20	10
17	30	15	6	7	21	0
18	12	12	10	1	7	19
19	20	9	10	19	25	13
20	14	13	16	20	18	7
Média	13,7				10,8	
Desvio padrão	7,0				7,8	
Coef. Variação	51,3%				72,2%	

(fonte: elaborado pelo autor)

Em relação à amarração da armadura positiva longitudinal com a transversal, que forma a malha, também não havia nenhum método mais específico. Um dos funcionários encarregado para tal função, quando questionado, informou que essa amarração é feita ao longo de todo contorno interno e externo na laje, e em alguns alinhamentos aleatórios, escolhidos a cada quatro ou cinco linhas, em média. Porém, o que se observou de fato, foram alguns alinhamentos próximos amarrados ao longo de todo o seu comprimento, enquanto outros pontos apresentam grandes espaços vazios.

Na Figura 12 pode-se identificar uma grande área sem nenhum espaçador, enquanto que na Figura 13 observa-se alguns espaçadores tombados ou mal colocados. Não foi observada nenhuma limpeza mais cuidadosa da fôrma, antes da concretagem, e certamente muitos espaçadores acabam se perdendo dentro do concreto, sem exercer a sua devida função.

Figura 12 – Grande região sem espaçador

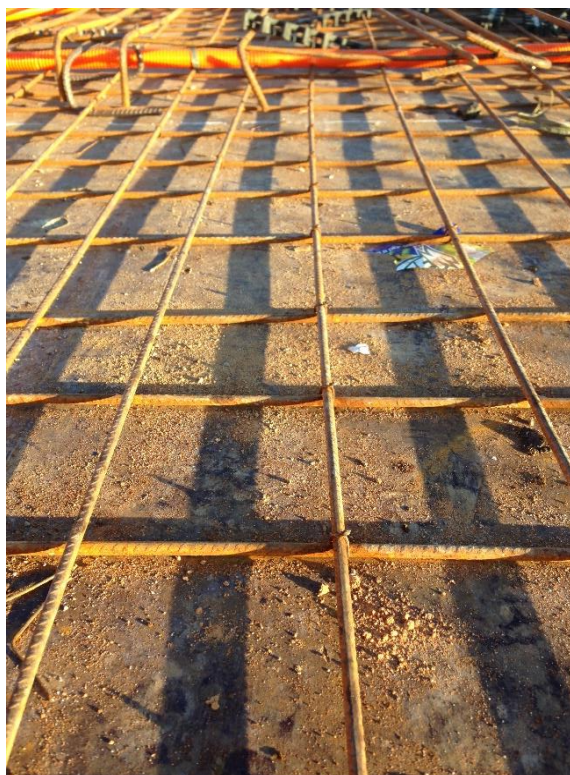


Figura 13 – Espaçadores tombados ou mal colocados



(fonte: foto do autor)

Durante a concretagem foram observados 14 operários trabalhando sobre a laje, entre responsáveis pelo concreto, ferreiros, responsável técnico, entre outros. Pôde-se observar um ferreiro realizando algumas amarrações de última hora, e reposicionando alguns espaçadores plásticos, visto que não havia nenhum tipo de proteção para a armadura que já estava finalizada. O tipo de bomba utilizado foi a estacionária, sendo que o mangote era largado diretamente sobre a malha existente, sem nenhuma preocupação quanto aos prejuízos que este poderia vir a causar na armadura. A Figura 14 exemplifica esta situação. O concreto usinado utilizado possui fck de 35MPa, e o abatimento deste é de  $120 \pm 20$ mm, o que possibilita uma trabalhabilidade satisfatória para concretagem de lajes.

Figura 14 – Momento da concretagem da 1ª laje



(fonte: foto do autor)

### 6.1.2 Coleta de dados depois da concretagem

Após respeitado o período de cura do concreto suficiente para realização da desforma, se retornou à obra para medir os valores de cobrimento resultantes. Para esta etapa, foi utilizado um pacômetro digital, da marca *Proceq*, apresentado na Figura 15. Este aparelho funciona a partir de tecnologia eletromagnética de indução de pulso, que acaba por localizar as barras metálicas dentro do concreto, ou outro material não condutivo. O aparelho apresenta uma boa precisão de medição para os dados que são buscados, na casa de 3mm, sendo possível refinar esta precisão a partir da introdução do diâmetro da armadura verificada, e, no caso de malhas, a distância de abertura da mesma (Proceq, 2008).

Figura 15 – Pacômetro utilizado para as medições



(fonte: foto do autor)

Para a determinação dos pontos a serem medidos, foi feita uma varredura dos quadrantes analisados. Dentro de cada um, foram escolhidos entre seis e dez pontos, dependendo do tamanho do quadrante e das condições de limpeza do local, onde o autor realizava esta varredura. A partir do reconhecimento do comportamento da armadura dentro desta região, foram anotados pontos julgados importantes, no caso, pontos mais críticos, ou que representassem o comportamento que foi observado naquele local. Com isso, foi possível a obtenção de uma tabela que represente de uma forma razoável o que foi observado, visto que apenas 20 pontos em cada quadrante não são capazes de expor a situação completa que ali ocorre.

A Tabela 9 apresenta os valores que foram encontrados para este caso.



Tabela 9 – Valores de cobrimento lidos depois da concretagem da primeira laje

<b>VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)</b>						
Configuração: a critério da obra				Pavimento: 14º - Torre 2		
DEPOIS DA CONCRETAGEM						
	L1 (6.3mm)	L2 (6.3mm)	L3 (6.3mm)	L4 (6.3mm)	L5 (5.0mm)	L6 (5.0mm)
Espaçadores	s/ critério	s/ critério	s/ critério	s/ critério	s/ critério	s/ critério
1	27	4	25	13	17	23
2	8	8	32	15	6	18
3	15	10	14	20	15	11
4	14	7	12	11	8	9
5	22	16	15	13	11	15
6	30	11	19	26	9	13
7	9	7	10	15	3	17
8	11	26	9	20	14	16
9	20	23	16	12	5	6
10	11	16	8	15	19	32
11	18	13	3	20	12	19
12	12	20	20	14	16	17
13	13	17	14	0	35	8
14	31	16	11	17	9	2
15	20	7	9	9	21	16
16	11	9	10	15	16	11
17	27	13	7	16	15	37
18	32	17	19	8	12	0
19	9	18	18	12	10	15
20	18	11	16	18	18	4
Média	15,0				14,0	
Desvio padrão	6,6				8,0	
Coef. Variação	44,1%				57,4%	

(fonte: elaborado pelo autor)

Comparando os valores lidos após a concretagem com os lidos anteriormente, o que mais chama a atenção é a grande variação das espessuras encontradas. Apesar desta variação diminuir para as leituras feitas após a concretagem e desforma, uma variação que gira em torno de 50% significa que não se tem um controle adequado sobre um requisito tão importante. Deve-se ressaltar que esta variabilidade não representa um problema pontual da obra analisada, mas sim uma tendência das construções, visto que o mesmo foi observado nos trabalhos de Silva (2012), Campos (2013), Menna Barreto (2014) e Maran (2015), que analisaram obras tanto na cidade de Porto Alegre/RS, quanto em Cuiabá/MT. A partir de seus levantamentos em campo, foi constatado que, independente da espessura de cobrimento definida em projeto e do nível de

controle da obra, a variação dos resultados aponta para a necessidade de uma maior atenção durante a execução. Maran (2015) encontrou coeficientes de variação compreendidos entre 17% e 45% para lajes, e valores ainda maiores se forem considerados também outros elementos, como vigas e pilares. As análises feitas por Silva (2012) e Campos (2013), apesar de não apresentarem explicitamente o coeficiente de variação das obras analisadas, apontam para o mesmo problema de falta de constância das espessuras de cobrimento resultantes, e mostram que o erro percentual obtido de suas medições varia em 100%, para mais e para menos.

## 6.2 SEGUNDA E TERCEIRA COLETAS DE DADOS

O presente subcapítulo se refere às intervenções e resultados obtidos na segunda e na terceira coletas de dados, onde foram feitas intervenções no 5º pavimento da Torre 3 no 15º pavimento da Torre 2, respectivamente. Optou-se por unificar este, pois, diferente do anterior, onde foi deixado a cargo da obra a disposição dos espaçadores e amarração da malha, neste foram feitas intervenções para tal situação. Apesar de serem analisadas duas lajes diferentes, inclusive de duas torres diferentes, as técnicas utilizadas foram as mesmas para ambas, e os resultados obtidos complementam uns aos outros.

A segunda laje analisada possibilitou quatro diferentes configurações para malha de diâmetro 6.3mm e outras quatro para 5.0mm, enquanto que a terceira possibilitou mais quatro medições com bitola 6.3mm, todas com abertura de malha de 10cm. Com isso, foram testadas quatro diferentes configurações para malha de bitola 6.3mm, com duas repetições para cada caso. Para malha de bitola de 5.0mm, foram testadas quatro situações, sem repetições das mesmas. As configurações utilizadas foram expostas no subcapítulo 5.3.

### 6.2.1 Coleta de dados antes da concretagem

Definidas as configurações a se utilizar nas concretagens seguintes, apresentadas no capítulo anterior, contou-se com o apoio do engenheiro responsável pela obra, e dos operários, que dispuseram os espaçadores conforme o combinado, além de amarrar a malha a cada 40cm. Porém, considerando que o espaçador utilizado é do tipo multiapoio/centopeia, e que este possui 24cm de comprimento, foi observada uma situação um pouco diferente da proposta.

Por questão de praticidade e agilidade do serviço, optou-se por utilizar o espaçador inteiro, sem cortá-lo em pedaços menores. Com isso, considerando seus 24cm de comprimento, e que a abertura da malha é de 10cm, cada espaçador serviu para apoiar 3 alinhamentos contínuos da malha. Além disso, por definição da obra, optou-se por posicionar estes dispositivos abaixo do alinhamento de um sentido da armadura positiva, resultando assim em, numa direção, um trecho contínuo de 24cm apoiado, seguido dos intervalos propostos, enquanto que no outro sentido, ortogonal ao espaçador, a configuração se manteve exatamente igual ao exposto na Figura 11. Esta situação pode ser observada na figura 16, que apresenta um quadrante onde foram posicionados espaçadores a cada 20cm.

Figura 16 – Quadrante com espaçadores colocados a cada 20cm



(fonte: elaborado pelo autor)

Para a finalidade deste trabalho, que tem como principal interesse identificar o quanto estes trechos sem espaçadores prejudicam o cobrimento, não devem ser observados maiores discrepâncias, visto que os espaçamentos não apoiados continuarão tendo as medidas definidas. É justamente nesses pontos que se identificam as maiores deformações das armaduras, e, conseqüentemente, os menores ou maiores cobrimentos.

Após a laje finalizada, pronta para a concretagem, foram realizadas 20 medições em cada quadrante analisado, em ambas as lajes. Os resultados destas medições estão expostos nas Tabelas 10 e 11, onde cada uma se refere a uma laje, embora as configurações utilizadas para malha de diâmetro 6.3mm sejam as mesmas para os dois casos. A Tabela 10 se refere ao 5º pavimento da Torre 3, enquanto que a Tabela 11 se refere ao 15º da Torre 2.

Tabela 10 – Valores de cobrimento lidos antes da concretagem da segunda laje

<b>VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)</b>								
Configuração: critérios definidos					Pavimento: 5º - Torre 3			
ANTES DA CONCRETAGEM								
	L7 (6.3mm)	L8 (6.3mm)	L9 (6.3mm)	L10 (6.3mm)	L11 (5.0mm)	L12 (5.0mm)	L13 (5.0mm)	L14 (5.0mm)
Espaçadores	cada 20cm	cada 40cm	cada 60cm	cada 80cm	cada 20cm	cada 40cm	cada 60cm	cada 80cm
1	26	22	20	19	21	20	21	22
2	22	19	16	19	22	23	22	20
3	18	18	17	19	19	17	20	20
4	21	20	21	21	17	21	20	16
5	22	21	22	13	21	19	20	20
6	21	21	22	14	23	22	21	8
7	18	21	23	21	21	19	23	21
8	23	22	10	19	23	20	19	25
9	18	22	19	9	21	20	9	8
10	21	22	22	33	19	21	22	15
11	24	21	21	21	17	21	19	15
12	23	20	21	18	25	26	25	5
13	20	20	22	23	25	19	19	12
14	22	20	21	21	20	23	21	20
15	21	22	20	17	22	22	20	19
16	20	22	19	22	22	27	4	21
17	23	24	20	19	22	19	19	18
18	21	20	10	18	25	23	17	23
19	25	21	17	18	23	21	21	17
20	21	23	18	21	23	13	18	15
Média	21,5	21,1	19,1	19,3	21,6	20,8	19,0	17,0
Desvio padrão	2,2	1,4	3,6	4,6	2,3	3,0	4,7	5,3
Coef. Variação	10,1%	6,6%	19,1%	24,1%	10,8%	14,5%	24,7%	31,4%

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 11 – Valores de cobrimento lidos antes da concretagem da terceira laje

<b>VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)</b>				
Configuração: critérios definidos			Pavimento: 15º - Torre 2	
ANTES DA CONCRETAGEM				
	L15 (6.3mm)	L16 (6.3mm)	L17 (6.3mm)	L18 (6.3mm)
Espaçadores	cada 20cm	cada 40cm	cada 60cm	cada 80cm
1	21	21	21	18
2	22	24	22	14
3	23	24	21	18
4	19	25	15	11
5	23	19	21	12
6	21	19	18	22
7	20	20	20	16
8	16	20	13	17
9	19	19	22	13
10	21	16	19	19
11	20	21	15	13
12	24	22	15	18
13	18	22	10	19
14	26	19	24	19
15	21	19	30	20
16	20	20	19	19
17	18	15	14	19
18	20	21	22	15
19	22	14	19	11
20	18	23	29	18
Média	20,6	20,2	19,5	16,6
Desvio padrão	2,3	2,9	5,0	3,2
Coef. Variação	11,4%	14,3%	25,7%	19,5%

(fonte: elaborado pelo autor)

Se comparado aos valores obtidos na primeira medição, onde foi deixado à cargo dos operários a colocação dos espaçadores, pode-se notar um resultado muito melhor de cobrimento. Levando em conta a tolerância de 5mm permitida para esta situação (considerando a redução de 5mm, mesmo que não por projeto), a primeira situação avaliada apresentou 65% dos casos de malha com diâmetro de 5.0mm e 56,3% dos casos de malha com barras de 6.3mm fora do intervalo de cobrimento de 15mm a 25mm. Além disso, foram observados vários destes pontos com absolutamente nenhum cobrimento. Para as configurações propostas, foram lidos 9 pontos, de um total de 80 com malha 5.0mm, fora deste intervalo, o que representa 11,5%. Para os

quadrantes com barras de bitola 6.3mm, apenas 20 de 160 (12,5%) não estavam entre 15mm e 25mm, sendo 17 deles para os maiores espaçamentos testados (a cada 60cm ou a cada 80cm).

Os coeficientes de variação, que eram de 51,3% e 72,2% para as malhas de diâmetro 6.3mm e 5.0mm, respectivamente, com as intervenções realizadas, apresentaram 31,4% como o pior caso. Esta situação ocorreu justamente para o cenário mais crítico dentre os considerados, onde a malha de 5.0mm recebe espaçadores a cada 80cm. Nas demais situações, a variação encontrada se manteve entre 6,6% e 25,7%, valores consideravelmente melhores se comparados àqueles onde não houve nenhum tipo de intervenção.

Outra característica que pode se observar nas Tabelas 10 e 11 se refere à redução da espessura de cobertura médio, com o distanciamento entre os espaçadores colocados. Tanto para armadura positiva de diâmetro 5.0mm quanto para 6.3mm, nota-se esta tendência, acompanhada do aumento do coeficiente de variação, conforme a distância entre os espaçadores aumenta.

### **6.2.2 Coleta de dados depois da concretagem**

O mesmo processo que foi realizado após a concretagem da primeira laje, foi feito também para as duas aqui analisadas. Com o auxílio do pacômetro, foram lidas as espessuras de cobertura resultantes para os quadrantes da segunda e da terceira laje, que estão apresentadas nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Valores de cobertura lidos depois da concretagem da segunda laje

<b>VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)</b>								
Configuração: critérios definidos						Pavimento: 5º - Torre 3		
<b>DEPOIS DA CONCRETAGEM</b>								
	L7 (6.3mm)	L8 (6.3mm)	L9 (6.3mm)	L10 (6.3mm)	L11 (5.0mm)	L12 (5.0mm)	L13 (5.0mm)	L14 (5.0mm)
Espaçadores	cada 20cm	cada 40cm	cada 60cm	cada 80cm	cada 20cm	cada 40cm	cada 60cm	cada 80cm
1	15	20	18	11	19	12	18	8
2	11	20	16	12	21	19	22	12
3	16	16	13	15	21	18	11	18
4	20	30	18	16	17	12	15	13
5	13	17	7	10	23	21	28	21
6	21	14	13	17	15	15	19	23
7	14	18	17	33	15	8	16	21
8	19	19	3	20	14	16	8	11
9	12	16	33	16	23	18	11	15
10	15	21	12	15	14	21	25	26
11	17	18	16	16	16	20	18	9
12	8	12	11	12	26	7	9	20
13	20	22	21	9	7	15	17	8
14	22	20	13	15	11	23	18	14
15	20	5	9	14	16	13	19	12
16	15	20	14	10	12	19	10	13
17	12	19	7	5	26	22	19	18
18	18	20	15	16	19	30	10	16
19	17	15	16	17	23	24	30	19
20	16	16	17	0	20	18	22	30
Média	16,1	17,9	14,5	14,0	17,9	17,6	17,3	16,4
Desvio padrão	3,7	4,8	6,2	6,4	5,1	5,5	6,2	6,0
Coef. Variação	23,1%	26,7%	42,9%	46,1%	28,4%	31,5%	36,1%	36,7%

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 13 – Valores de cobrimento lidos depois da concretagem da terceira laje

<b>VALORES DE COBRIMENTO EM LAJES (mm)</b>				
Configuração: critérios definidos			Pavimento: 15º - Torre 2	
DEPOIS DA CONCRETAGEM				
	L15 (6.3mm)	L16 (6.3mm)	L17 (6.3mm)	L18 (6.3mm)
Espaçadores	cada 20cm	cada 40cm	cada 60cm	cada 80cm
1	20	10	16	24
2	21	19	21	13
3	19	23	20	16
4	16	28	15	17
5	20	19	7	21
6	21	23	11	14
7	22	15	26	25
8	21	23	22	23
9	21	22	15	24
10	15	15	13	18
11	25	24	19	17
12	23	20	20	11
13	16	17	25	18
14	13	12	12	16
15	9	29	30	16
16	17	22	23	18
17	22	25	15	8
18	28	17	16	26
19	10	31	14	17
20	20	17	11	15
Média	19,0	20,6	17,6	17,9
Desvio padrão	4,7	5,5	5,8	4,8
Coef. Variação	25,0%	26,9%	33,1%	26,7%

(fonte: elaborado pelo autor)

Nesta situação, observou-se um resultado ligeiramente pior do que o lido antes da concretagem. Para os casos de malha composta por barras de bitola 5.0mm, encontrou-se 40% e 65% dos casos, para a distância entre espaçadores de, respectivamente, 60cm e 80cm, fora do intervalo considerado admissível (entre 15mm e 25mm). Para o caso de malha com bitola de 6.3mm, a pior situação encontrada foi para distância entre espaçadores de 60cm, onde 47,5% das medições mostraram cobrimento inadequado. No caso da laje onde não foram feitas intervenções, 57,5% das medidas para malha 5.0mm e 60% para 6.3mm apresentaram cobrimento fora do aceitável.



O que se observa da comparação entre as medidas realizadas antes da concretagem com as realizadas depois, é que, na maioria dos casos avaliados, o cobrimento é prejudicado. Pode-se considerar que os dados obtidos antes da concretagem são mais confiáveis, pois se mede a malha que efetivamente está à mostra, enquanto que o pacômetro lê o cobrimento da armadura já concretada, podendo sofrer alguma interferência de armadura negativa ou espaçadores metálicos (“carangueijos”) próximos. Porém, o que se conclui destes resultados, é que a falta de cuidados durante a concretagem, com o trânsito de operários, o mangote apoiado sobre a armadura já finalizada, entre outros, acabam por prejudicar ainda mais o cobrimento final. Os coeficientes de variação encontrados nestas situações, maiores do que os de antes da concretagem, apontam isso, assim como a redução da espessura média de cobrimento.

Para uma visão geral das situações observadas em campo, a Tabela 14 apresenta um resumo dos cobrimentos lidos após a concretagem das lajes, onde dividiu-se os valores de cobrimento resultantes em três grupos, definidos conforme:

- a) bom cobrimento: quando o cobrimento lido fica entre 15mm e 25mm, ou seja, uma margem de 5mm para mais ou para menos;
- b) cobrimento inadequado: quando o cobrimento lido fica dentro de uma margem de 10mm (entre 10mm e 30mm), para mais ou para menos (desconsiderando os valores que se enquadram no quesito a);
- c) cobrimento inaceitável: quando o cobrimento lido fica abaixo de 10mm ou acima de 30mm.

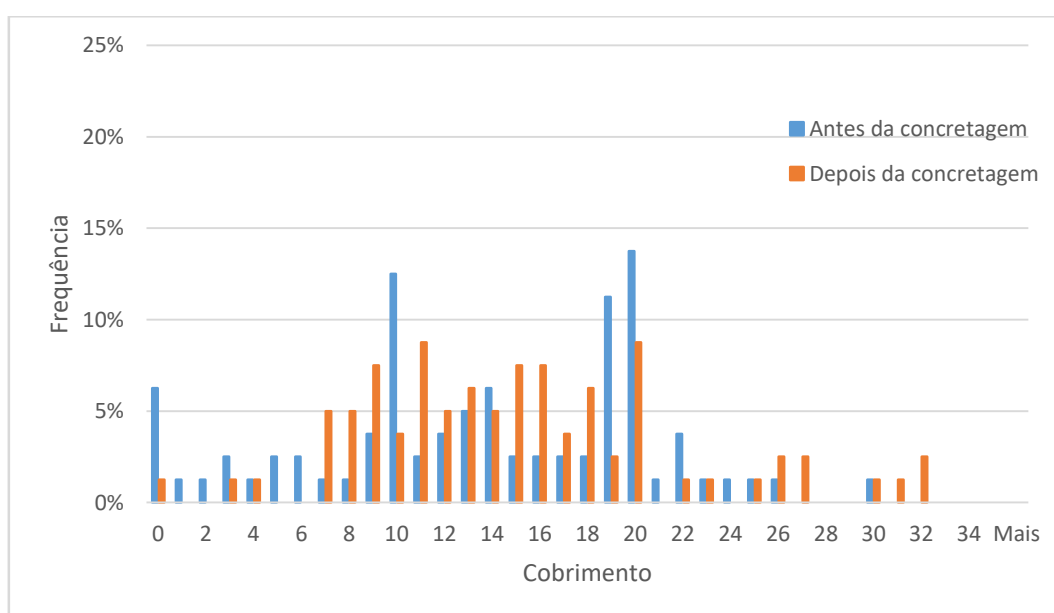
Tabela 14 – Tabela resumo da frequência de cada espessura de cobrimento resultante, para as leituras feitas com pacômetro

TABELA RESUMO - COBRIMENTO RESULTANTE					
Ø	Disposição dos espaçadores	Pontos lidos	Espessura de cobrimento (c), em mm		
			15<c<25	10<c<15 ou 25<c<30	c<10 ou c>30
5.0mm	sem critério	40	42,5%	20,0%	37,5%
5.0mm	cada 20cm	20	65,0%	30,0%	5,0%
5.0mm	cada 40cm	20	70,0%	20,0%	10,0%
5.0mm	cada 60cm	20	60,0%	30,0%	10,0%
5.0mm	cada 80cm	20	45,0%	40,0%	15,0%
6.3mm	sem critério	80	40,0%	35,0%	25,0%
6.3mm	cada 20cm	40	75,0%	20,0%	5,0%
6.3mm	cada 40cm	40	77,5%	17,5%	5,0%
6.3mm	cada 60cm	40	52,5%	32,5%	15,0%
6.3mm	cada 80cm	40	62,5%	25,0%	12,5%

(fonte: elaborado pelo autor)

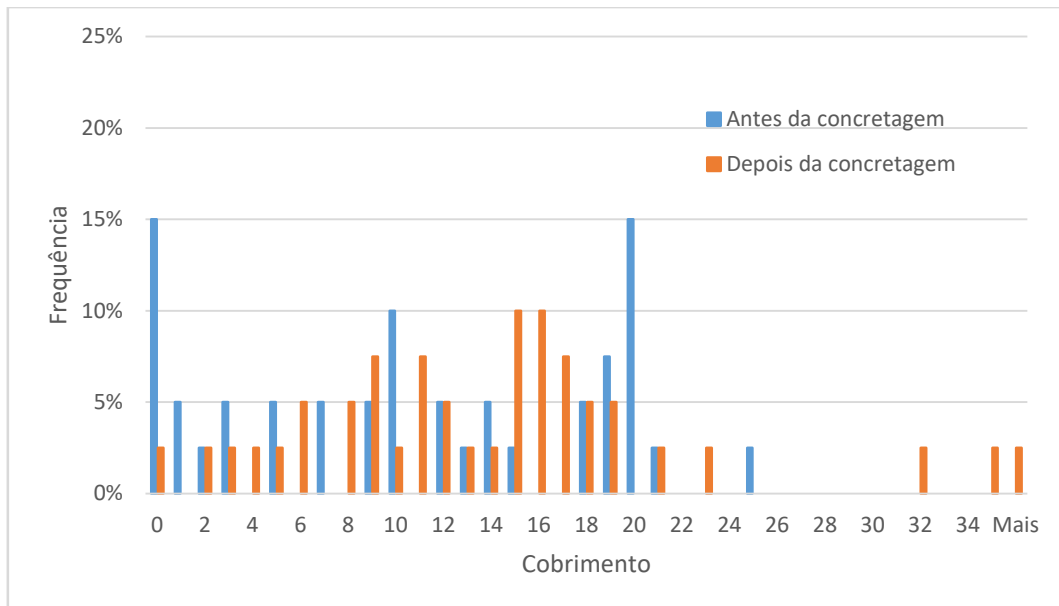
Histogramas foram confeccionados, capazes de apresentar a frequência dos cobrimentos lidos para cada situação, antes e depois da concretagem. A partir destes, é possível observar o comportamento oscilatório das espessuras de cobrimento onde não houve intervenção, e como a definição de espaçamento entre os espaçadores foi capaz de melhorar esta situação. Estes histogramas estão apresentados nas Figuras 17 a 26.

Figura 17 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, sem critério para colocação de espaçadores



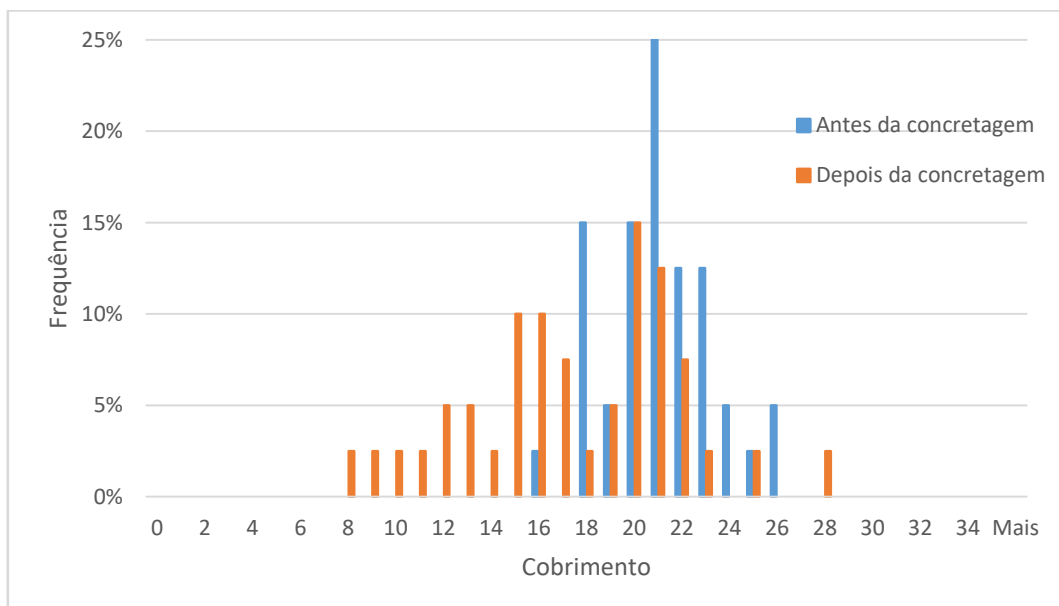
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 18 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, sem critério para colocação de espaçadores



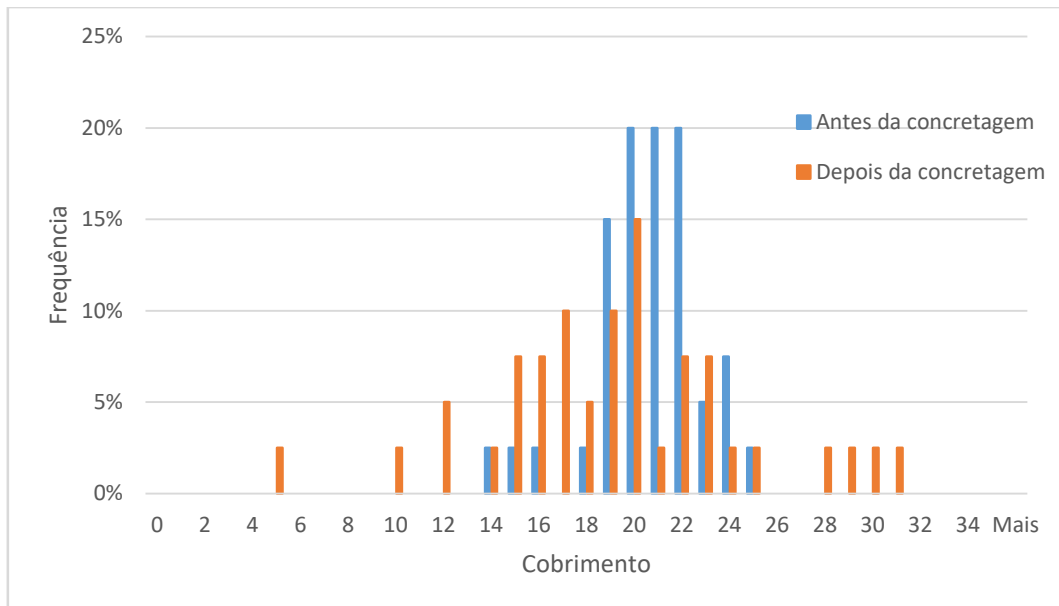
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 19 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 20cm



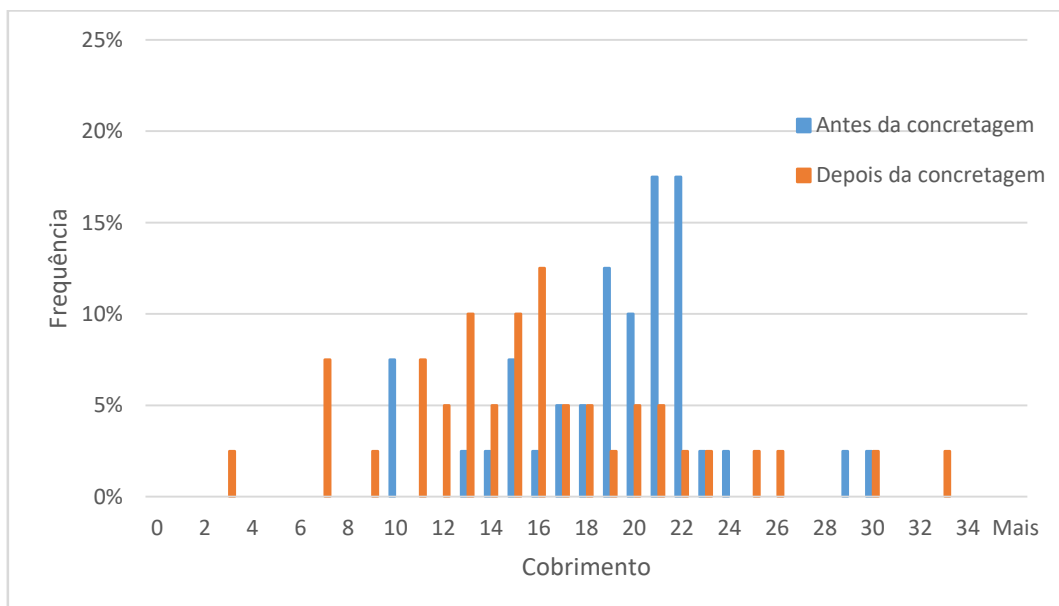
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 20 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 40cm



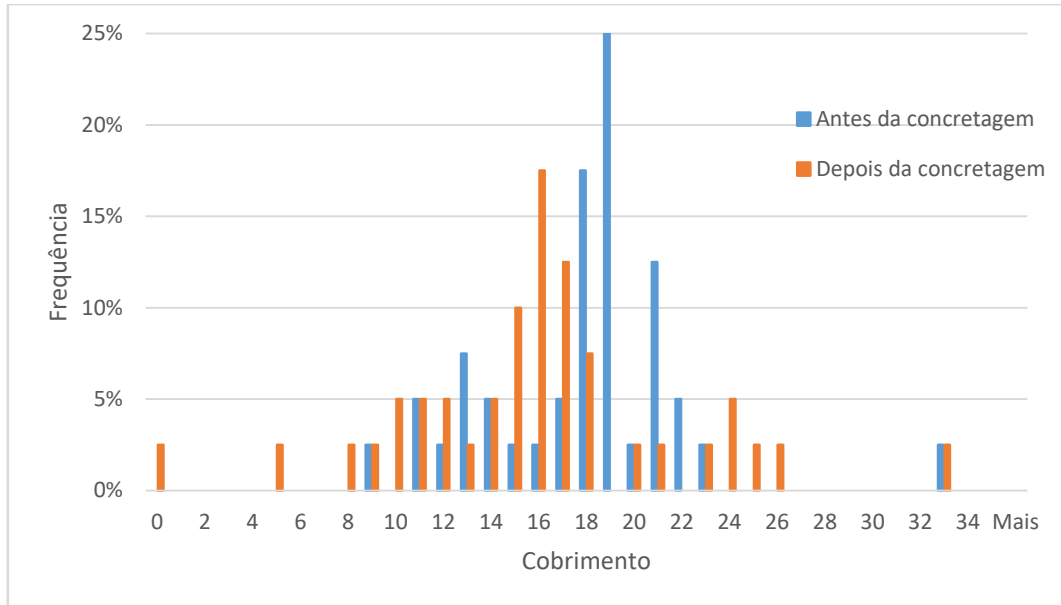
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 21 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 60cm



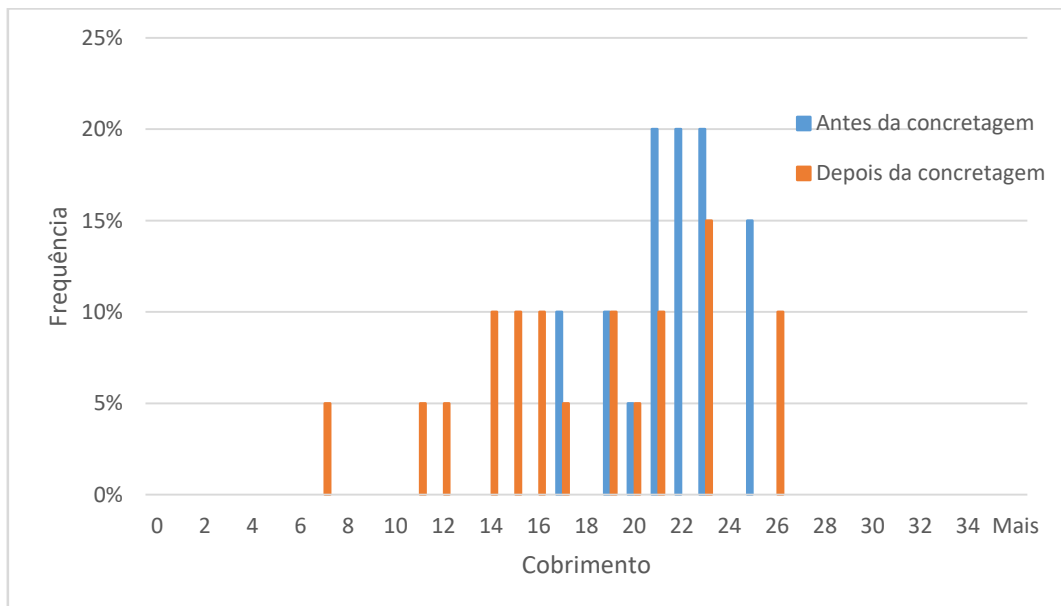
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 22 – Histograma para armadura de diâmetro 6.3mm, com espaçadores colocados a cada 80cm



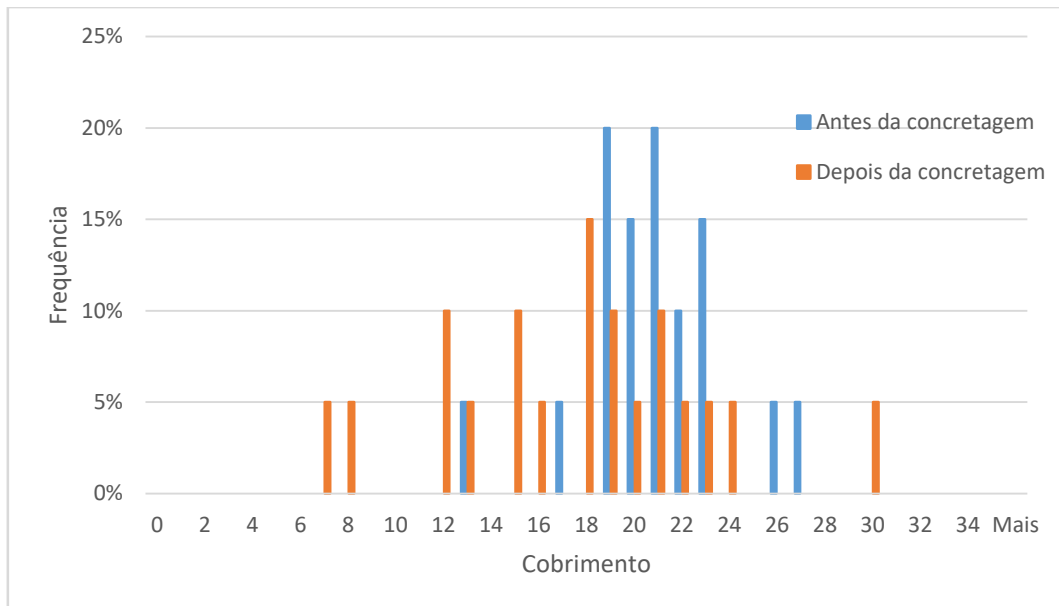
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 23 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 20cm



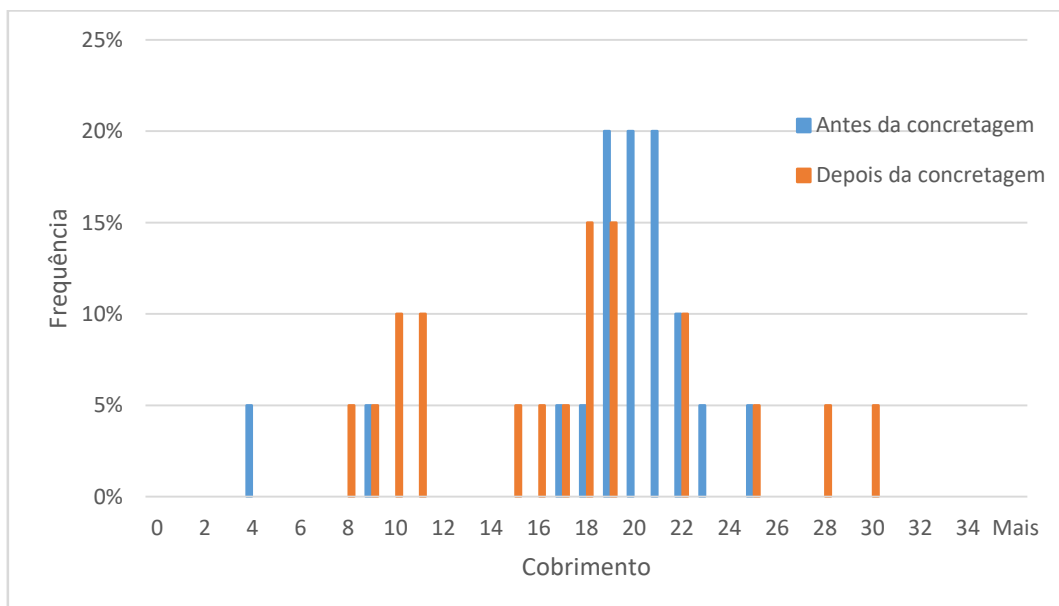
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 24 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 40cm



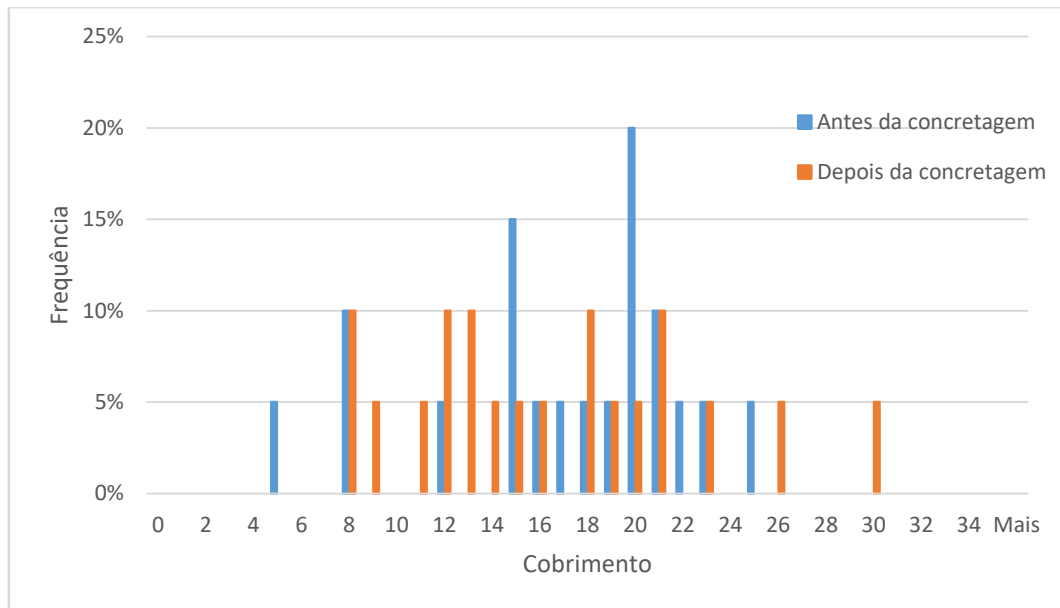
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 25 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 60cm



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 26 – Histograma para armadura de diâmetro 5.0mm, com espaçadores colocados a cada 80cm



(fonte: elaborado pelo autor)

Além dos resultados já previamente expostos, foi feita também uma análise de variância (ANOVA) com os mesmos, considerando um experimento fatorial completo com 3 fatores controláveis: a etapa da obra na qual foi feita a medição (fator A), em dois níveis, se antes (A1) ou após a concretagem (A2), o espaçamento entre os espaçadores (fator B) em 5 níveis, sem critério de distribuição (B1), com espaçamento a cada 20cm, 40cm, 60cm ou 80 cm (B2, B3, B4 e B5, respectivamente) e o diâmetro da armadura (fator C), em dois níveis, 5.0mm (C1) e 6.3mm (C2). A análise pode ser vista na Tabela 15, a seguir.

Tabela 15 – Análise de variância (ANOVA) com os resultados lidos em obra

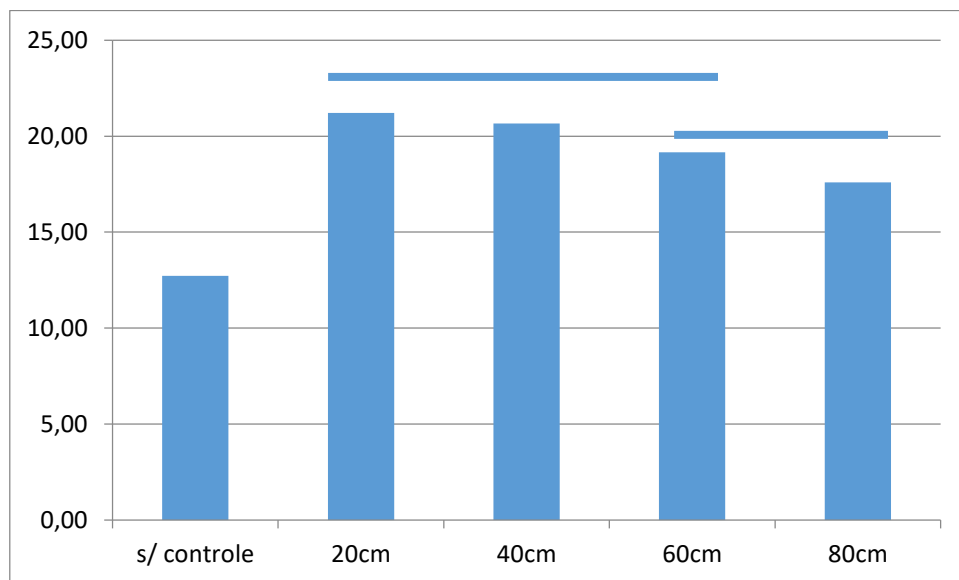
Fonte de Variação	SQ	GL	MQ	Teste F	Prob. (%)	Influência
<b>A (Etapa)</b>	78,67	1	78,67	1,56	21,24%	N
<b>B (Espaçamento)</b>	4547,56	4	1136,89	22,51	<b>0,00%</b>	<b>S</b>
<b>C (Diâmetro)</b>	131,41	1	131,41	2,60	10,72%	N
<b>AB</b>	751,06	4	187,76	3,72	<b>0,53%</b>	<b>S</b>
<b>AC</b>	3,12	1	3,12	0,06	80,39%	N
<b>BC</b>	123,23	4	30,81	0,61	65,56%	N
<b>ABC</b>	93,43	4	23,36	0,46	76,33%	N
<b>Erro</b>	35353,33	700	50,50			

(fonte: elaborado pelo autor)

Pela ANOVA percebe-se que apenas o fator B (espaçamento entre os espaçadores) exerce influência significativa sobre a resposta, considerando um nível de significância de 5%. Contudo, a forma como o fator B influencia a resposta depende do fator A (etapa na qual foi feita a medição), em função da interação AB também ser significativa.

Uma comparação múltipla de médias foi feita entre as médias de cobrimentos para cada espaçamento, na etapa antes da concretagem, que pode ser visualizada na Figura 27. Colocar os espaçadores sem controle produz cobrimentos inferiores aos obtidos com espaçamentos regulares, sendo que os cobrimentos para espaçamentos de 20cm a 60cm não podem ser diferenciados, e os cobrimentos para espaçamentos entre 60cm e 80cm não podem igualmente ser diferenciados.

Figura 27 – Comparação múltipla de médias antes da concretagem

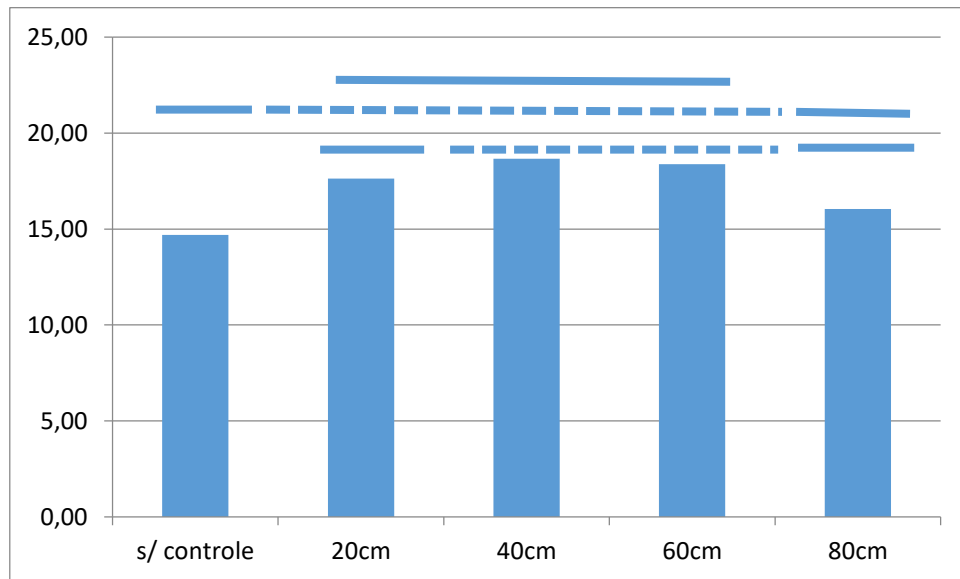


(fonte: elaborado pelo autor)

A comparação múltipla de médias entre as médias de cobrimentos para cada espaçamento, na etapa após a concretagem pode ser visualizada na Figura 28. Colocar os espaçadores sem controle ou com espaçamento regular de 80cm produz cobrimentos que não podem ser diferenciados. Usar espaçamentos entre 40cm e 60cm produz cobrimentos maiores que os obtidos com espaçamentos de 80cm ou sem controle.



Figura 28 – Comparação múltipla de médias após a concretagem



(fonte: elaborado pelo autor)

Considerando as duas situações analisadas, pode-se identificar que a situação ótima seria obtida com espaçadores regularmente espaçados com até 60cm de afastamento entre eles.

## 7 CONCLUSÕES

Ao fim do desenvolvimento do presente trabalho, é possível fazer algumas considerações e observações relativas aos valores medidos e às práticas observadas. A amostragem aqui obtida é muito pequena para tomar estas conclusões como definitivas, além do fato de que, por se tratar de um experimento em obra, está suscetível a algumas variações em relação ao proposto. Porém, se tratando de um assunto tão carente de informações e recomendações mais diretas, os dados aqui expostos são de grande importância para fornecer uma base, e servir de referência para outros trabalhos que venham a seguir a mesma linha.

Assim como citado no final do capítulo anterior, as medições feitas com o auxílio do pacômetro apresentam certa incerteza, se tratando de uma armadura que está coberta, e suscetível à interferência de outras armaduras próximas, se comparadas às medições antes da concretagem, onde era possível ver de uma forma muito mais precisa o comportamento de cada região. A realização de 20 medidas por quadrante representa apenas uma visão geral do que foi observado naquela região, visto que estes quadrantes possuíam áreas na faixa de 15m<sup>2</sup> até 40m<sup>2</sup> cada, o que apresenta um comportamento muito mais complexo do que pode ser definido a partir de apenas alguns pontos. Porém, a partir de uma análise crítica do autor, os pontos que foram apresentados representam o que foi observado dentro dos quadrantes analisados, e servem para expor as situações mais críticas de cada um, e o seu comportamento geral.

Com o foco do trabalho voltado para a análise da influência que a disposição dos espaçadores fornece para a espessura de cobertura final, alguns parâmetros importantes podem ser obtidos das medidas realizadas. Em primeiro lugar, pôde-se observar que os cobrimentos médios encontrados após a concretagem, na grande maioria das situações, apresentam menores valores em relação aos observados antes da concretagem. Esta situação reforça um ponto muito enfatizado nos trabalhos que serviram de referência para esta pesquisa, principalmente o de Maran (2015), que atenta para a falta de cuidado com a armadura já finalizada, durante o momento da concretagem. Seja pelo trânsito dos operários, pelo apoio do mangote sobre a malha, ou por situações relacionadas, foi observado que não existe uma preocupação em manter a conservação da malha e dos espaçadores previamente colocados, sendo inclusive usual um responsável pela montagem da armadura acompanhar a concretagem, realizando correções de

última hora. Com isso, uma situação que já se mostra complicada de ser cumprida, que é a obtenção de um cobrimento satisfatório, é dificultada e prejudicada ainda mais devido a essa falta de cuidado.

Quanto às espessuras de cobrimento resultantes, após a concretagem, a Tabela 14 apresenta um resumo de todas as situações analisadas, e como cada uma delas se comporta. Apesar da própria norma permitir uma margem de 10mm em relação à espessura definida em projeto, este valor se mostra muito alto, se for levado em conta que, na situação analisada, 10mm significa uma variação de 50% do valor proposto. Lembrando que, como o projeto analisado considera um rigoroso controle de qualidade, e apesar do projetista ter optado por não reduzir em projeto os 5mm que a norma permite, o espaçador utilizado em obra apresenta redução do mínimo exigido, e, neste caso, a margem de variação permitida seria de apenas 5mm.

A Tabela 14 também mostra que, sem interferência na colocação dos espaçadores, nem metade dos pontos medidos está de acordo com este intervalo, tanto para malha de bitola 5.0mm quanto para de 6.3mm. Mais que isso, nestes casos, 37,5% das situações com diâmetro 5.0mm e 25% das com diâmetro 6.3mm estão fora inclusive de um intervalo de 10mm, o que mostra uma grande deficiência para a obtenção dos valores propostos. Os coeficientes de variação apresentados para cada situação mostram também a grande variação resultante da falta de padrão para disposição dos espaçadores, comparado aos casos onde os espaçadores foram colocados a cada 20cm ou 40cm.

Para as configurações propostas pelo autor, pôde-se observar uma relativa melhora. Nas situações onde foram colocados espaçadores distanciados a cada 20cm ou a cada 40cm notou-se um resultado relativamente semelhante. Os quadrantes onde o espaçamento era de 40cm, apresentaram resultados até melhores em comparação onde estes foram espaçados a cada 20cm. Isto mostra que, apesar dos dispositivos estarem posicionados mais próximos, a plastificação da armadura, devido às cargas suportadas por ela, acaba ocorrendo de forma semelhante. Quanto aos casos onde estes dispositivos foram colocados a cada 60cm, pôde-se observar elevados coeficientes de variabilidade, sendo que para malha composta por barras de diâmetro 6.3mm, 47,5% dos valores lidos ficaram fora do intervalo entre 15mm e 25mm. Para o maior espaçamento testado, de 80cm, a armadura positiva de bitola 5.0mm apresentou apenas 9 dos 20 pontos (45%) dentro do intervalo exigido, sendo que 3 pontos estavam inclusive abaixo dos 10mm de cobrimento.

Quanto ao diâmetro da armadura analisada, como era de se esperar, os casos onde a malha é formada por barras de diâmetro 5.0mm apresentam menor adequação ao valor de cobrimento exigido. A fragilidade deste tipo de barra acaba por comprometer o cobrimento resultante devido à deformação sofrida pela mesma. Uma alternativa que seria interessante para tentar amenizar esta situação, seria a substituição deste tipo de barra, por armadura de maior diâmetro.

Além da possibilidade de aumentar o diâmetro da armadura positiva, visando manter a malha mais firme e menos deformável, poderia se pensar em aumentar o cobrimento nominal de projeto. Sabendo-se da dificuldade de manter o coeficiente de variabilidade na faixa de 5mm ou 10mm, o aumento do cobrimento mínimo, e conseqüente aumento do cobrimento nominal, forneceria uma certa segurança para a espessura de cobrimento final. Evidentemente, esta decisão cabe aos projetistas, pois envolve questões de dimensionamento estrutural e custos de execução, que muitas vezes acabam inviabilizando certas mudanças.

Em relação à amarração da malha, como foi utilizado o mesmo padrão para todos os casos (exceto onde não foram feitas intervenções), não se pode concluir nada de maneira mais concreta.

Por fim, conclui-se a importância de um padrão para colocação dos espaçadores, a fim de se obter um resultado de espessura de cobrimento final compatível com o proposto em projeto. Seja a margem de variação executiva aceita pela norma de 5mm ou de 10mm, uma correta colocação dos espaçadores e amarração da malha é capaz de reduzir essa variação, e permitir um resultado que seja satisfatório para a conservação da armadura. Como os resultados obtidos para espaçamento de 20cm e 40cm estão muito próximos, e em um dos casos onde o espaçamento foi de 60cm se obteve um resultado bom, pode-se trabalhar com mais testes e experimentos para os últimos dois citados, visto a dificuldade da utilização destes dispositivos a cada 20cm, seja por motivos de tempo de trabalho ou de um gasto excessivo de material.

## REFERÊNCIAS

- A INFORMÁTICA. Tudo para o seu computador. Não paginado. Disponível em: <http://www.ainformatica.com.br/produto/6215/pacmetro-bosch-d-etect-150>. Acessado em 09 dez. 2016.
- ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão de vida útil de estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão da armadura**. 2001. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho – parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BAROGHEL-BOUNY V., CAPRA B., LAURENS S. **La durabilité des Bétons**. Chapitre 9: La durabilité des armatures et du béton d'enrobage, 2008, p. 303-386.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 7973**: Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 1: Product performance requirements. UK, 2001.
- \_\_\_\_\_. **BS 7973**: Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 2: Fixing and application of spacers and chairs and tying reinforcement. UK, 2001.
- CAMPOS, D. de. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado**: análise comparativa entre valores antes, durante e depois da concretagem. 2013. 75 f. – Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- COMERCIAL GERDAU. Não paginado. Disponível em: <https://www.comercialgerdau.com.br/pt/produtos/tela-soldada-nervurada-gerdau#ad-image-0>. Acessado em 08 dez. 2016.
- COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BETÓN (CEB). **Bulletin d'Information No. 201** – Spacers, chairs and tying of steel reinforcement. Lausanne: Comité Euro-Internacional du Betón, 1990.
- CONEKPLAS. Espaçadores para construção civil. Não paginado. Disponível em: [http://www.conekplas.com.br/\\_imgs/fotos/espacadores/ema\\_principal\\_g.jpg](http://www.conekplas.com.br/_imgs/fotos/espacadores/ema_principal_g.jpg). Acesso em 13 nov. 2016.
- DAL MOLIN, D. C. C. **Fissuras em estruturas de concreto armado**: análise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado do Rio Grande do Sul. 1988. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

GARCÍA-ALONSO, M. C.; ESCUDERO, M. L.; MIRANDA, J. M.; VEGA, M. I.; CAPILLA, F.; CORREIA, M. J.; SALTA, M.; BENNANI, A.; GONZÁLEZ, J. A. Corrosion behaviour of new stainless steels reinforcing bars embedded in concrete. **Cement and Concrete Research**, 37, p. 1463-1471, 2007

HELENE, P. R. do L. **Cobrimento garantido**. In: Revista Construção Mercado, Editora Pini, Edição 140, São Paulo: março, 2013.

INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DEL HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE). **EHE 08** – Capítulo XIII – Ejecución. España, 2008.

MAQBLOCOS. Máquinas, equipamentos e acessórios para construção civil. Não paginado. Disponível em: <http://www.maqblocos.com.br/detalhes-produto/48/distanciador-espacador-plastico-scp/>. Acesso em 13 nov. 2016.

MARAN, A. P.; **Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

MARAN, A. P. MENNA BARRETO, M. F. F.; ROHDEN, A. B.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, J. R. Análise da espessura do cobrimento de armadura em lajes com diferentes distanciamentos entre espaçadores e pontos de amarração. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 10., 2015, São Paulo

MARSH, B. **Specification and achievement of cover to reinforcement**. In: Advanced Concrete Technology Set. Volume 1, Pages 1 – 9, 2003.

MEHTA, P. K.; GERWICK, B. C. Concrete in the service of the modern worl. In: **Internacional Conference Concrete in the Service of Manking**, University of Dundee, Scotland, jun, 1996.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. 2001.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 2 ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MEIRA, G. R.; PADARATZ, Ivo J. Custos de recuperação e prevenção de estruturas de concreto armado: uma análise comparativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, IX, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Porto Alegre: 2002, p. 1425-1432

MENEZES, L. F.; AZEVEDO, M. T. **Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado**. Universidade Católica de Salvador, Salvador, 2009.

MENNA BARRETO, M. F. F. **Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos: proposição e avanço de métodos de avaliação**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

MENNA BARRETO, M. F.; MARAN, A. P.; DAL MOLIN, D. C. C.; MASUERO, J. R.; ALVES, R. Z. Influência do diâmetro da armadura do cobrimento final em lajes de concreto armado. In: Congresso Brasileiro de Concreto, 56., 2014, Natal. **Anais...** Natal, 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18: Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção.** 2015

PEIXOTO, B. L. F.; GOMES, M. de L. B. **Ganhos em produtividade decorrentes de inovação tecnológica na construção civil: o uso dos distanciadores plásticos no sub-setor de edificações.** XXVI ENEGEP. Fortaleza, 2006.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil em estruturas de concreto em ambiente urbano.** 2010. 263 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PROCEQ SA. **Profoscope: Instruções operacionais – Detector de barras de reforço e medidor da camada.** São Paulo, 2008.

SHAW, C. B. **Durability of Reinforcement Concrete.** 2007. Disponível em: <<http://www.localsurveyorsdirect.co.uk/sites/default/files/attachments/reinforced%20concrete.pdf>>.

SILVA, O. S. P. **Cobrimento de armaduras em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre o valor especificado em projeto e o em execução em obras na cidade de Porto Alegre.** 2012. 84 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SILVA, V. M. **Ação da carbonatação em vigas de concreto armado em serviço, construídas em escala natural e reduzida.** 2007. 281 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1998.

SOUZA, R.; TAMAKI, M. R. **Gestão de Materiais de Construção.** 1. ed. São Paulo: O Nome da Rosa, 2005.

TAKATA, L. T. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas de concreto armado: estudo de caso.** 2009. 149 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.