

**Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil**

**Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia
da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto
armado**

Ana Paula Maran

**Porto Alegre
2015**

Ana Paula Maran

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE
ESPAÇADORES NA GARANTIA DA ESPESSURA DE
COBRIMENTO ESPECIFICADA EM LAJES DE CONCRETO
ARMADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre
2015

ANA PAULA MARAN

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO DE
ESPAÇADORES NA GARANTIA DA ESPESSURA DE
COBRIMENTO ESPECIFICADA EM LAJES DE CONCRETO
ARMADO**

Porto Alegre, 15 de julho de 2015.

Prof. Denise Coitinho Carpena Dal Molin
Dra. pela USP
Orientadora

Prof. João Ricardo Masuero
Dr. pela UFRGS
Colaborador

Prof. Armando Miguel Awruch
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Jairo José de Oliveira Andrade (PUCRS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Ricardo Leopoldo e Silva França (USP)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Dedico este trabalho aos meus maiores incentivadores,
meus pais, Paulino e Leda.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família, pai, mãe e irmão, por todo apoio e carinho ao longo desta e de todas as trajetórias que já percorri.

Agradeço ao Filipe Gimenez Ramos pela paciência, pela atenção e pelo companheirismo. Apesar da distância sempre caminhamos juntos.

Agradeço à Maria Fernanda Fávero Menna Barreto, querida amiga de todas as horas, por todos os momentos que passamos juntas, estudando, trabalhando, viajando ou descansando, sempre lado a lado.

Agradeço aos professores orientadores que possibilitaram a realização deste trabalho, em especial à Professora Denise Dal Molin, pelas ideias, pela serenidade transmitida e pelos esclarecimentos, e ao Professor João Masuero, por sempre ser tão solícito, por indagar, ajudar e elucidar diversas questões que surgiram ao longo deste trabalho.

Agradeço à Professora Angela Masuero, por todo o carinho e atenção dedicados a todos os alunos, és muito especial. À toda equipe NORIE (vamos time!), funcionários, bolsistas, alunos de mestrado e doutorado, por todos os momentos que vivemos juntos. Em especial aos colegas ingressos do mesmo ano, que compartilharam tantas experiências, anseios e alegrias. Ao Márlon Longhi por aguentar toda a mulherada e às bilus Maria Fernanda, Natalia, Ariane, Gabriela A. e Carina Stolz. Aos laboratoristas (Airton, Gilmar e Demetrius) e ao bolsista (Arthur), meu agradecimento pela ajuda e pela amizade.

Agradeço à CAPES e ao CNPq pelo fomento à esta pesquisa e à banca examinadora pelas contribuições com este trabalho.

Agradeço a todos aqueles que contribuíram, de forma direta ou indireta, para que mais esta etapa fosse concluída. Toda a minha gratidão, muito obrigada!

É melhor tentar e falhar, que preocupar-se e ver a vida passar
É melhor tentar, ainda que em vão que sentar-se, fazendo nada até o final
Eu prefiro na chuva caminhar, que em dias frios em casa me esconder
Prefiro ser feliz embora louco, que em conformidade viver.

Martin Luther King

RESUMO

MARAN, A. P. Análise da influência de distribuição de espaçadores plásticos para garantir o cobrimento especificado em lajes de concreto armado. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

A espessura de cobrimento das armaduras, que se interpõe entre as barras de aço e o ambiente proporcionando proteção contra os agentes agressivos, é fator determinante na durabilidade das estruturas de concreto armado. Embora o emprego do espaçador para assegurar o cobrimento especificado seja normatizado, a regulamentação brasileira não dispõe nenhum método de fixação e distribuição dos dispositivos. Levantamentos *in loco* efetuados durante esta pesquisa, em obras localizadas em Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT, mostraram através de medições em elementos estruturais já executados, que as espessuras de cobrimento estão não conformes com as especificações de projeto. Dentro deste levantamento, os resultados mais preocupantes estão relacionados ao fundo de viga e lajes. Para lajes de concreto armado, notou-se durante a execução, que alguns fatores poderiam influenciar na obtenção deste requisito proposto em norma. Sendo assim, buscou-se testar através de simulação computacional diferentes combinações de variáveis, como por exemplo, a distribuição de espaçadores, as características da armadura e o carregamento acidental presente durante a concretagem. Diante dos resultados apresentados pelo estudo computacional, onde um grande percentual de combinações apresenta a plastificação total das barras de aço, testou-se em laboratório alguns conjuntos de variáveis, a fim de mensurar a deformação permanente na malha de armadura. Foi possível constatar que armaduras compostas com diâmetros de 4,2 mm e 5,0 mm, apresentam resultados críticos na obtenção da espessura de cobrimento, independentemente da distribuição dos espaçadores, deformando permanentemente a armadura chegando a um valor de 17,31 mm, e assim, prejudicando diretamente a durabilidade da estrutura de concreto armado.

Palavras-chave: espessura de cobrimento; espaçadores; carga de execução

ABSTRACT

MARAN, A. P. Analysis of plastic spacers distribution influence to ensure specified cover to reinforcement concrete slabs. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

The cover to reinforcement ensures durability, it is responsible for protecting the armor front the environment aggressive agents. The use of spacers is a recommendation standard, however the regulation does not provide sufficient methodology of use subsidies. Thus, cover to reinforcement just barely achieved during the structural element execution as show in this research, through surveys conducted in the cities of Porto Alegre/RS and Cuiabá/MT. With that, by computer and experimental simulation, some variables observed during the solid slabs execution, such as armor characteristics, overlays thickness and spacers distribution were tested in different configurations. The results shows that the smaller diameter reinforcements (4,2 and 5,0 mm) create critical situations in relation to overlays obtainment, independent of the configuration, all the reinforcements suffer permanent deformation, reaching 17,31 mm, affecting the performance of the reinforced concrete structure.

Keywords: cover to reinforcement; spacers; simulation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1	Objetivo principal.....	21
1.1.2	Objetivos secundários.....	21
1.2	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	21
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	22
2	DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	24
2.2	CORROSÃO DAS ARMADURAS	30
3	COBRIMENTO DAS ARMADURAS	33
3.1	ESPECIFICAÇÃO DA ESPESSURA DE COBRIMENTO.....	34
3.2	ESPAÇADORES.....	40
3.2.1	Distribuição de espaçadores	43
4	LEVANTAMENTO EM OBRA	47
4.1	PROCEDIMENTO	47
4.2	ANÁLISE DE RESULTADOS	50
5	CARGAS ATUANTES SOBRE ARMADURA.....	57
5.1	CARGA REFERENTE AO VOLUME DE CONCRETO FRESCO.....	58
5.1.1	Procedimento experimental	58
5.1.2	Análise de resultados	61
5.2	CARREGAMENTO ACIDENTAL	63
6	EFEITO DO CARREGAMENTO DE EXECUÇÃO SOBRE A DEFORMAÇÃO DA ARMADURA	66
6.1.1	Simulação computacional.....	66
6.1.2	Simulação experimental	73
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78

7.1	CARREGAMENTO ACIDENTAL	78
7.1.1	Simulação computacional	78
7.1.2	Simulação experimental	97
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
8.1	LEVANTAMENTO EM OBRA	103
8.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	104
8.3	SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL	104
8.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	105
	REFERÊNCIAS.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da pesquisa.	20
Figura 2: Falhas de execução de lajes	35
Figura 3: Análise de sensibilidade a erros de execução em lajes em função da camada de cobrimento (BENEDETTI, 2013).	37
Figura 4: Efeito da espessura de cobertura na estrutura: a) cobertura especificado; b) redução da espessura (durabilidade); c) aumento da espessura de cobertura (capacidade estrutural).....	38
Figura 5: Proposta para espessura de cobertura e tolerâncias de execução.....	39
Figura 6: Esquema da falta de nivelamento das fôrmas durante a execução.	39
Figura 7: Posicionamento de espaçadores: a) fundo das fôrmas; b) laterais das fôrmas (Fonte: Equipe de Obra).....	40
Figura 8: Armadura de viga sem espaçadores antes da concretagem.....	41
Figura 9: Modelos de espaçadores utilizados no fundo de fôrmas: a) plastilha argamassada; b) cadeirinha; c) calço com garra; d) centopéia (Fonte: Catálogo Eplás).	42
Figura 10: Distribuição de espaçadores normatizada para armadura positiva em lajes (Fonte: BS 7973-2, 2001).....	45
Figura 11: Desenvolvimento da pesquisa.....	46
Figura 12: Medições com pacômetro digital: a) lajes; b) vigas; c) pilares.....	50
Figura 13: Armadura deslocada no interior do elemento estrutural.	52
Figura 14: Faixa de probabilidade de ocorrência de dados.	54
Figura 15: Acompanhamento de execução: a);b) Concretagem de laje em Cuiabá/MT; c) Trabalhador distribuindo espaçadores aleatoriamente; c);d) Concretagem de laje em Porto Alegre/RS.	57

Figura 16: Esquema de ensaio para carga de concreto fresco.	59
Figura 17: Protótipo executado para ensaio de concreto fresco.	59
Figura 18: Procedimento da simulação experimental: a) teste de abatimento; b) despejo do concreto fresco; c) volume de concreto sobre armadura; d) concreto vibrado.....	61
Figura 19: Tráfego sobre laje durante a concretagem (Fonte: Equipe de Obra).	64
Figura 20: Aplicação de carregamento acidental sobre armadura: a) operário caminhando; b) operário parado.	64
Figura 21: Aplicação de carga representativa.....	65
Figura 22: Área de alcance da carga aplicada: a) malha com espaçamento de 20 cm; b) malha com espaçamento de 10 cm.	65
Figura 23: Comportamento em relação à carga: a) distribuição de espaçadores; b) aplicação da carga e situações decorrentes ao deslocamento e reação; c) solução adotada.	69
Figura 24: Deformação gerada pela movimentação de operário na armadura: a) Ø 4,2 mm; b) Ø 8,0 mm.	69
Figura 25: Diagrama de momento: a) Momento de plastificação inicial; b) Momento de transição; c) Momento de plastificação total.	71
Figura 26: Processos da simulação computacional.	72
Figura 27: Distribuição dos espaçadores: a) 20cm; b) 60cm; c) 100cm.	73
Figura 28: Dimensões dos espaçadores (30 ± 1 mm).	74
Figura 29: Teste de carga sobre espaçadores de madeira.	74
Figura 30: Espaçadores testados conforme sentido da fibra da madeira: a) direção perpendicular às fibras: espaçadores 1, 2 e 3; b) direção das fibras: espaçadores 4, 5 e 6.	75
Figura 31: Correção da carga de ensaio.....	76
Figura 32: Pontos de medição nas barras centrais.	76

Figura 33: Procedimento de ensaio experimental: a) aplicação de carga; b) medição com paquímetro digital.....	77
Figura 34: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 4,2 mm e afastamento 20 cm).	80
Figura 35: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 4,2 mm e afastamento 15 cm).	80
Figura 36: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 4,2 mm e afastamento 10 cm).	80
Figura 37: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 5,0 mm e afastamento 20 cm).	82
Figura 38: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 5,0 mm e afastamento 15 cm).	82
Figura 39: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 5,0 mm e afastamento 10 cm).	82
Figura 40: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,0 mm e afastamento 20 cm).	84
Figura 41: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,0 mm e afastamento 15 cm).	84
Figura 42: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,0 mm e afastamento 10 cm).	84
Figura 43: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,3 mm e afastamento 20 cm).	86
Figura 44: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,3 mm e afastamento 15 cm).	86
Figura 45: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,3 mm e afastamento 10 cm).	86

Figura 46: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 8,0 mm e afastamento 20 cm).	88
Figura 47: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 8,0 mm e afastamento 15 cm).	88
Figura 48: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 8,0 mm e afastamento 10 cm).	88
Figura 49: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 10,0 mm e afastamento 20 cm).	90
Figura 50: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 10,0 mm e afastamento 15 cm).	90
Figura 51: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 10,0 mm e afastamento 10 cm).	90
Figura 52: Aplicação de carga sobre malha diâmetro 4,2 mm e contato armadura/fôrma.....	98
Figura 53: Deformação da barra 4,2 mm após aplicação de carga.....	99
Figura 54: Momento fletor gerado pela aplicação de carga; a) espaçamento 20 cm; b) espaçamento 100cm.....	99
Figura 55: Armadura sem contato com armadura durante aplicação de carga.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação ambiental (Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).	26
Tabela 2: Classificação da agressividade ambiental (Fonte: EN 206-1, 2007).	28
Tabela 3: Relação entre qualidade do concreto e classe de agressividade (Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).	29
Tabela 4: Principais mecanismos físico-químicos de determinação das estruturas (Fonte: MEDEIROS et al., 2011).	31
Tabela 5: Valor de espessura de cobrimento normatizado (Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).	36
Tabela 6: Distância entre espaçadores recomendada (Fonte: EHE, 2008 tradução livre).	44
Tabela 7: Especificações de cobrimentos em projeto.	48
Tabela 8: Critérios de controle obtidos no levantamento em campo das obras.	49
Tabela 9: Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação das medições.	51
Tabela 10: Valor mínimo e máximo da espessura de cobrimento.	52
Tabela 11: Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para lajes e valores máximos e mínimos de vigas.	53
Tabela 12: Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação de valores máximos e mínimos de pilares.	53
Tabela 13: Resultados dos testes de normalidade das medições realizadas em lajes.	54
Tabela 14: Cobrimento característico inferior e superior dos elementos estruturais.	55
Tabela 15: Diferença entre cobrimentos efetivos inferiores e superiores dos elementos estruturais.	55
Tabela 16: Abatimento e relação a/c do concreto.	60
Tabela 17: Pesos máximos registrados em ensaio.	62

Tabela 18: Fatores de possível influência no cobrimento.	67
Tabela 19: Distribuição dos espaçadores em relação a abertura da malha de armadura.	68
Tabela 20: Momento fletor relacionado ao diâmetro da barra.	70
Tabela 21: Teste de carregamento e deformação em espaçadores de madeira (30 mm ± 1 mm)	75
Tabela 22: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 4,2 mm e uma superfície de apoio.....	79
Tabela 23: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 5,0 mm e uma superfície de apoio.....	81
Tabela 24: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 6,0 mm e uma superfície de apoio.....	83
Tabela 25: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 6,3 mm e uma superfície de apoio.....	85
Tabela 26: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 8,0 mm e uma superfície de apoio.....	87
Tabela 27: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 10,0 mm e uma superfície de apoio.....	89
Tabela 28: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 4,2 mm e duas superfícies de apoio	91
Tabela 29: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 5,0 mm e duas superfícies de apoio	92
Tabela 30: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 6,0 mm e duas superfícies de apoio	93
Tabela 31: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 6,3 mm e duas superfícies de apoio	94

Tabela 32: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 8,0 mm e duas superfícies de apoio	95
Tabela 33: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para Ø 10,0 mm e duas superfícies de apoio	96
Tabela 34: Cobrimento inicial das malhas de armadura.....	97
Tabela 35: Resultados obtidos em simulação experimental (Ø4,2 mm).	98
Tabela 36: Resultados obtidos em simulação experimental (Ø5,0 mm)	99
Tabela 37: Resultados obtidos em simulação experimental (Ø6,3 mm)	100
Tabela 38: Resultados obtidos em simulação experimental (Ø8,0 mm)	100

1 INTRODUÇÃO

Um concreto durável é aquele que irá manter a sua forma original, qualidade e facilidade de manutenção quando exposto ao ambiente. Para isso, o concreto deve ser devidamente dosado, e com lançamento, adensamento e cura adequados é capaz de fornecer décadas de serviço (ACI 201, 2008).

Segundo Mehta e Monteiro (2008), o crescimento dos custos envolvendo a reposição de estruturas e a ênfase no custo do ciclo de vida está forçando os engenheiros a darem mais atenção às questões de durabilidade. Além de ser uma questão técnica da engenharia, a durabilidade também possui significado econômico pois, trata-se de um desastre econômico quando estruturas de concreto armado deterioram-se em poucos anos de serviço (ROSTAM, 2005).

É possível relacionar o tempo gasto no desenvolvimento do projeto com a vida útil da edificação, ou seja, quanto maior o empreendimento e menor o recurso aplicado, maior será o potencial de surgimento de manifestações patológicas (TAKATA, 2009; MERRETZ, 2010).

Sabe-se que, dentre outros fatores, a durabilidade está diretamente relacionada ao cobrimento. A principal função do cobrimento é criar uma barreira de proteção para a armadura, evitando a ação do ambiente agressivo na estrutura ao servir como proteção mecânica, química e física. Portanto, o cobrimento insuficiente pode afetar diretamente a vida útil da estrutura de concreto armado, pois possibilita a deterioração, resultando a longo prazo na corrosão das armaduras (CLARK et al, 1997; MARSH, 2003; SHAW, 2007; MEDEIROS, 2008). Além disso, o mecanismo de transmissão de tensões prevê que as barras estejam envolvidas em concreto para o funcionamento do concreto armado.

Perante a ligação com a durabilidade, ao dobrar a espessura de cobrimento de concreto às armaduras, a vida útil da estrutura aumenta em quatro vezes (DAL MOLIN, 1988). Helene (2013) alerta que a diminuição de meio centímetro na espessura de cobrimento resulta em uma possível redução de vida útil, podendo significar de 10 a 15 anos.

Além de ser fundamental na durabilidade da estrutura, a espessura de cobrimento também auxilia em caso de incêndio (SHAW, 2007). Em caso de fogo, vigas submetidas a 700° C, cobrimentos de 10 mm, 15 mm, 20 mm e 25 mm resultam em reduções da resistência à tração

das armaduras de 62%, 54%, 49% e 47%, respectivamente (AWOYERA, ARUM e AKINWUMI, 2014).

A espessura de cobrimento especificada em projeto muitas vezes não é alcançada devido a uma combinação de fatores presentes na maioria das obras no Brasil, como a falta de diretrizes e fiscalização durante a execução. Segundo Clark et al. (1997), a não obtenção de cobrimento pode ser em razão da carência de mão de obra qualificada, projetos e detalhamentos incorretos, falta de comunicação e coordenação no canteiro de obras.

No Brasil, a especificação da espessura de cobrimento deve ser em conformidade à norma referente NBR 6118 (ABNT, 2014), estando o projetista ciente do ambiente em que a estrutura estará inserida. Além da especificação de projeto, a execução também é parte fundamental na obtenção de uma estrutura de concreto mais durável. Porém, a norma responsável pelas recomendações da execução das estruturas em concreto armado, NBR 14931 (ABNT, 2004), não faz menção ao procedimento de utilização, deixando somente obrigatório o uso de espaçadores, responsáveis pela obtenção do cobrimento.

Campos (2013) e Silva (2012), assim como levantamento em obras de Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT realizado neste trabalho, mostram que o cobrimento executado em obras não está sendo alcançado, seja qual for o elemento estrutural. Para se evitar erros durante a execução, todos os participantes dessa tarefa devem saber como realizar sua parte específica dentro do conjunto total de operações. Qualquer falha por parte destes, seja por negligência ou por displicência, por falta de conhecimento técnico ou normativo, podem provocar danos e prejuízos na estrutura (RIPPER, 1996).

Em nenhum dos levantamentos realizados em obras, a respeito da obtenção do cobrimento, foi encontrada metodologia relativa ao uso dos espaçadores. Em medição do cobrimento já executado, as lajes maciças apresentaram-se como ponto crítico na obtenção da espessura de cobrimento, mesmo as empresas possuindo certificação de qualidade, e teoricamente, um maior controle de execução nas edificações.

Deste modo, a problemática referente ao alcance da espessura de cobrimento está diretamente relacionada às técnicas construtivas e a falta de orientação de execução presente nas recomendações normativas.

Dentro de algumas pesquisas realizadas no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – NORIE, relacionadas ao estudo da durabilidade, da vida útil, da penetração de agentes agressivos e de técnicas construtivas em concreto armado (POSSAN, 2010; PAULETTI, 2009; VIEIRA, 2008; SILVEIRA, 2007; TUTUKIAN, 2007; ANDRADE, 2001, entre outros), este trabalho está contextualizado, buscando contribuir com o estudo sobre cobertura de armadura¹, em relação à distribuição de espaçadores (Figura 1).

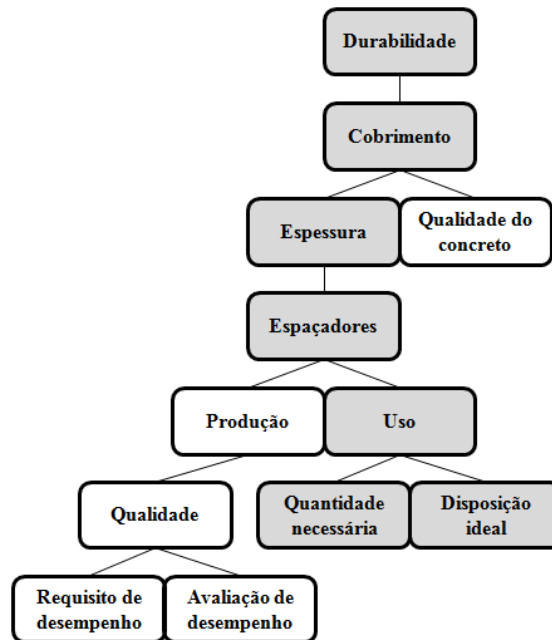


Figura 1: Estrutura da pesquisa.

Seguindo a linha de pesquisa e considerando os levantamentos em obras já realizados, fica claramente justificada a necessidade de um estudo relacionado aos fatores que interferem na espessura de cobrimento, analisando os procedimentos executivos atuais, na busca de fornecer subsídios para futuras diretrizes normativas relacionadas ao tema.

¹ Em colaboração com trabalho desenvolvido por Menna Barreto (2014): "Avaliação de desempenho de espaçadores plásticos: proposição e avanço de métodos de avaliação".

1.1 OBJETIVOS

Dentro desta pesquisa, os objetivos abaixo foram traçados:

1.1.1 Objetivo principal

O objetivo principal desta pesquisa é verificar a influência da distribuição dos espaçadores na garantia da espessura de cobrimento durante a execução de lajes maciças em concreto armado.

1.1.2 Objetivos secundários

Em decorrência do objetivo principal, são propostos os seguintes objetivos secundários:

- a) examinar se o cobrimento especificado em projeto está sendo garantido na execução dos diferentes elementos estruturais, através de estudo de caso;
- b) verificar a existência de algum método de utilização de espaçadores em distintas obras;
- c) simular experimentalmente cargas atuantes sobre a armadura, decorrentes da aplicação de concreto fresco em lajes;
- d) identificar combinações de fatores (diâmetro de armadura, distribuição de espaçadores, carga atuante, abertura da malha de armadura) que resultem em situações mais críticas em relação à espessura de cobrimento, através de simulação numérica;
- e) validar a simulação numérica através de modelos experimentais, testando conjuntos mais críticos em relação à carga acidental;

1.2 DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Os levantamentos do cobrimento, contido neste trabalho, limitam-se a obras com estrutura de concreto armado moldada *in loco* e que utilizam, na sua execução, espaçadores plásticos. Participaram da pesquisa 4 obras em Cuiabá/MT e 5 obras em Porto Alegre/RS.

Para simulação computacional foi utilizada uma análise no regime elástico linear, segundo os seguintes critérios: lajes maciças de concreto armado, armaduras de aço CA-50 e CA-60, diâmetros comerciais de 4,2 mm a 10 mm, carregamento correspondente ao peso de um trabalhador (100 kg) sobre as armaduras.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em oito capítulos, sendo o capítulo inicial destinado à introdução do tema, descrevendo a importância e os objetivos da pesquisa, assim como as suas delimitações.

Na revisão da literatura, o segundo capítulo é dedicado ao tema referente à durabilidade do concreto armado, abordando os aspectos de degradação do concreto ligados aos agentes agressivos presentes no ambiente. Junto aos agentes agressivos, a corrosão de armaduras é exemplificada por ser a manifestação patológica de maior incidência, principalmente em ambientes marinhos.

O capítulo 3 refere-se ao cobrimento da armadura, apresentando a importância dos espaçadores neste requisito. Ainda, relata as recomendações apresentadas nas normas brasileiras, de projeto e execução de estruturas de concreto armado, e nas normas internacionais, a fim de verificar as diferenças na abordagem normativa.

No capítulo 4 é apresentado um levantamento *in loco* dos cobrimentos obtidos em lajes, vigas e pilares em obras residenciais/comerciais em Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT e das orientações quanto ao uso de espaçadores contidas nos projetos e procedimentos construtivos utilizados nas respectivas obras, bem como comparações com o cobrimento nominal de projeto e as prescrições de norma, visando identificar quão recorrente é o problema de cobrimentos insuficientes e quais suas prováveis causas.

No capítulo 5 estão expostos os carregamentos atuantes sobre a armadura durante a execução de lajes maciças, juntamente com as variáveis e os métodos propostos para representação destes em laboratório e por simulação computacional. Está detalhado o procedimento experimental para determinação das cargas decorrentes do concreto em estado fresco sobre as armaduras.

Em referência às simulações computacional e experimental, o capítulo 6 apresenta o procedimento baseado em modelo de grelhas para avaliação do comportamento da armadura frente às variáveis de composição da malha de armadura e carregamento acidental. A metodologia proposta para validação das simulações computacionais em laboratório, também está exposta neste capítulo.

No capítulo 7 são apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir das simulações experimentais e computacionais referentes às cargas decorrentes da execução do elemento estrutural. Por fim, o capítulo 8 apresenta as considerações finais deste trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

2 DURABILIDADE DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A durabilidade tornou-se assunto recorrente a partir da década de 70, quando as estruturas, até então consideradas com vida útil infinita, começaram a apresentar deterioração precoce (POSSAN, 2004; ROSTAM, 2005). A partir disto, estudos relacionados à durabilidade das estruturas de concreto armado vêm sendo apresentados e aprimorados diante do conhecimento atual sobre mecanismos de transporte de líquidos e gases nos poros do concreto.

A norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014) descreve que as estruturas de concreto devem conservar sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço, levando em consideração as condições ambientais previstas na época do projeto, durante o período correspondente à sua vida útil.

Denomina-se vida útil o período de tempo em que o edifício e seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento aos níveis de desempenho, considerando a periodicidade e a correta execução dos processos de manutenção (NBR 15575, 2013).

Segundo Mehta e Gerwick (1996), algumas etapas do processo produtivo de estruturas de concreto armado podem ter efeito direto sobre a durabilidade, como:

- projeto estrutural e detalhamento de projeto;
- seleção dos materiais constituintes da mistura;
- dosagem do concreto;
- lançamento, adensamento e cura.

A redução da vida útil gera um aumento no consumo de matérias-primas, na geração de poluentes, nos gastos energéticos e nos custos com reparos, que constituem parte substancial do orçamento total das construções, podendo atingir 40% do total dos recursos da indústria (MEHTA e MONTEIRO, 2014). Em contrapartida, aumentando a vida útil, ocorre a preservação dos recursos naturais e economia de energia, viabilizando o projeto de forma a ser mais sustentável (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

A vida útil de projeto é definida como o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e construtor, assim

como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais (ABNT NBR 6118, 2014).

Helene (1997) cita a vida útil como uma resultante de ações coordenadas e realizadas durante todas as etapas do processo construtivo, desde a concepção até a execução, e principalmente a etapa de uso da estrutura. A última etapa se destaca, pois nela serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenção preventiva e corretiva, indispensáveis para o alcance da vida útil prevista.

Possan (2004) corrobora tal ponto de vista, afirmando que a durabilidade considerada como um parâmetro relativo às propriedades intrínsecas dos materiais que compõem uma estrutura, sendo a mesma afetada pelas características do ambiente onde está inserida, pelas condições de utilização, segurança e intervenções de manutenção e reparo. Sendo assim, a preocupação com a durabilidade durante todo o processo de produção e uso de uma estrutura de concreto armado pode ocasionar benefícios referentes à determinação de vida útil. A atenção durante o projeto colabora para que não sejam construídas estruturas que se tornem obsoletas em um curto espaço de tempo.

Com relação à durabilidade das estruturas de concreto armado, a NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta tabelas prescritivas que especificam os limites mínimos aceitáveis para uma dada estrutura, em função da espessura de cobrimento e classe de resistência do concreto mínimas e/ou relação água/cimento máxima, mas não apresenta uma especificação da vida útil mínima desejada (POSSAN, 2010). Para prever vida útil, podem ser utilizados modelos de previsão, os quais possuem duas abordagens: determinística e probabilística. Os modelos determinísticos consideram fatores constantes no tempo, como por exemplo o coeficiente de difusão de cloretos, a resistência do concreto, a temperatura ambiente, entre outros. Esse procedimento pode conduzir a um determinado nível de incertezas (ANDRADE, 2001). Já os modelos probabilísticos consideram a existência de probabilidade de ocorrência dos fatores de degradação, sendo assim, conseguem inserir as variabilidades do processo de degradação, fornecendo estimativas mais próximas à realidade.

A vida útil da edificação está recomendada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013), que aponta para vida útil de projeto mínima para estruturas o limite de 50 anos, de modo a compatibilizar as limitações quanto ao custo inicial com os requisitos do usuário em relação à durabilidade e aos custos de manutenção/reposição ao longo da vida útil. A vida útil de projeto intermediária

é igual a 63 anos, enquanto para um padrão construtivo superior, recomenda-se o prazo de 75 anos.

Para conceber um projeto com base na vida útil, é necessário o conhecimento de parâmetros que determinam o envelhecimento e a deterioração das estruturas, ou seja, possuir dados científicos e modelos matemáticos referentes à agressividade do ambiente e resistência dos materiais, incluindo mecanismos de transporte de substâncias e de deterioração do concreto e armadura (ROSTAM, 2005).

2.1 AGENTES AGRESSIVOS

Mehta e Monteiro (2014) destacam que as condições ambientais são de grande importância para o desenvolvimento de projetos. A durabilidade sob um conjunto de condições não significa necessariamente a mesma sob outro, portanto, costuma-se incluir uma referência geral do ambiente ao definir-se a durabilidade.

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, retração hidráulica, entre outras. Esta norma divide a agressividade ambiental em classes, apresentadas na Tabela 1, que variam segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes. Caso não sejam respeitados os limites normatizados exigidos em relação à agressividade do meio ambiente no qual as estruturas se encontram, a probabilidade do surgimento de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado torna-se alta.

Tabela 1: Classificação ambiental (Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

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 ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^{a)} 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).

^{b)} 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.

^{c)} Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas

Em comparação com a atmosfera rural, que apresenta risco de deterioração insignificante devido à falta de fontes poluidoras, a velocidade de corrosão em atmosfera marinha é bastante superior. Quando combinada com a atmosfera industrial, juntamente com um ambiente que possui umidade alta, o meio é altamente favorável à degradação da estrutura.

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.

Apesar da citação da norma em referência à agressividade ambiental, a classificação apresentada é bastante superficial. Migliavacca et al. (2009), em avaliação da precipitação da chuva em Porto Alegre/RS e região metropolitana encontraram uma média igual a 1 em 30 % da relação Cl^-/Na^+ , indicando a presença de sais marinhos e parcela de cloreto proveniente de atividades industriais. O estudo também registrou valores do pH da água da chuva entre 4,75 e 7,45, mostrando uma grande variação dentro de uma mesma área urbana. Desta forma, torna-se essencial o conhecimento das substâncias presentes no ambiente em que a estrutura será inserida.

À vista disto, uma classificação ambiental mais rigorosa é apresentada na norma EN 206-1 (2007), baseada na concentração efetiva de certas substâncias agressivas no ambiente, conforme Tabela 2:

Tabela 2: Classificação da agressividade ambiental (Fonte: EN 206-1, 2007).

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos de ocorrência
1 Sem risco de corrosão ou ataque		
X0	Concreto sem armadura ou fibras metálicas: todas as exposições exceto gelo/degelo, abrasão ou ataque químico	Concreto dentro da edificação com baixa umidade do ar
	Concreto com armadura ou fibras metálicas: ambiente seco	
2 Corrosão induzida pela carbonatação		
Concreto com armadura ou fibras metálicas é exposto ao ar e umidade, a exposição deve ser classificada como:		
XC1	Seca ou permanentemente úmida	Concreto dentro da edificação com baixa umidade do ar; Concreto permanentemente submerso em água
XC2	Úmida, raramente seca	Contado com água a longo prazo; fundações
XC3	Umidade moderada	Concreto dentro da edificação com moderada ou alta umidade do ar.
XC4	Úmida e seca - cíclico	Superfície em contato com a água, fora da classe XC2
3 Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar		
Concreto com armadura ou fibras metálicas em contato com água contendo cloretos, incluindo sais de degelo, não provenientes da água do mar, a exposição deve ser classificada como:		
XD1	Umidade moderada	Superfícies de concreto expostas a cloretos transportados pelo ar
XD2	Úmida, raramente seca	Piscinas; Concreto exposto à águas industriais contendo cloretos
XD3	Úmida e seca - cíclico	Partes de pontes expostas a pulverização contendo cloretos; Pavimentos; Lajes de estacionamento
4 Corrosão induzida por cloretos provenientes da água do mar		
Concreto com armadura ou fibras metálicas em contato com água do mar contendo cloretos ou ar com sal proveniente da água do mar, a exposição deve ser classificada como:		
XS1	Exposto ao sal marinho mas sem contato com água do mar	Estruturas próximas ou inseridas na costa.
XS2	Permanentemente submerso	Partes de estruturas marinhas
XS3	Maré, respingos e zonas de pulverização	Partes de estruturas marinhas
5 Ataque com ou sem agentes de gelo/degelo		
Concreto exposto a ataques significativos por ciclos de gelo/degelo, enquanto molhado, a exposição deve ser classificada como:		
XF1	Saturação moderada de água, sem agente de degelo	Superfícies de concreto verticais expostas à chuva e ao congelamento
XF2	Saturação moderada de água, com agente de degelo	Superfícies verticais expostas ao congelamento e agentes de degelo presentes no ar
XF3	Saturação alta de água, sem agente de degelo	Superfície de concreto horizontais expostas à chuva e ao congelamento
XF4	Saturação alta de água, com agente de degelo	Superfície exposta a pulverização de agentes de degelo; Zonas de respingo de maré exposta ao congelamento
6 Ataque químico		
Concreto exposto ao ataque químico dos solos naturais e águas subterrâneas, a exposição deve ser classificada como segue abaixo. A classificação da água do mar depende da localização geográfica		
XA1	Ambiente químico ligeiramente agressivo	
XA2	Ambiente químico moderadamente agressivo	
XA3	Ambiente químico altamente agressivo	

Analisando os resultados encontrados por Migliavacca et al. (2009) e as recomendações da EN 206-1 (2007), ao se projetar estruturas de concreto armado, além das recomendações normativas, seria preciso um estudo mais aprofundado dos agentes agressivos onde a obra será inserida, e ainda, um melhor entendimento e aplicação dos conhecimentos relacionados por parte dos projetistas.

Além da prescrição relacionada à agressividade ambiental, a NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta a Tabela 3, que estabelece a correspondência entre a classe de agressividade do ambiente e a qualidade do concreto armado, já que este está diretamente ligado à penetração dos agentes agressivos junto com a espessura de cobrimento.

Tabela 3: Relação entre qualidade do concreto e classe de agressividade
(Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

Concreto ^a	Tipo ^{b,c}	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

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

As especificações demonstram que quanto menor a agressividade ambiental, é possível empregar um concreto com menor resistência e maior relação água/cimento, e assim, com maior porosidade, devido ao menor risco de degradação presente.

Além da relação água/cimento e da resistência do concreto, é relevante o tipo de cimento utilizado de acordo com a afirmação de Medeiros, Andrade e Helene (2011):

“Deve-se dar preferência a certos tipos de cimento Portland, a adições minerais e a aditivos mais adequados para resistir à agressividade ambiental, em função da natureza dessa agressividade. Do ponto de vista da maior resistência à lixiviação, são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III e CP IV. Para minimizar o risco de reações álcali-agregado são preferíveis os cimentos pozolânicos tipo CP IV. Para reduzir a profundidade de carbonatação são preferíveis os cimentos tipo CP I e CP V sem adições. Para reduzir a penetração de cloretos são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III e CP IV com adição extra de sílica ativa, metacaulim ou cinza de casca de arroz.”

Através destes subsídios, é possível definir os parâmetros de durabilidade e escolher, além da espessura de cobrimento, as características do concreto em função da agressividade do meio

no qual se encontra a estrutura e aperfeiçoar suas propriedades a fim de adaptá-las à vida útil desejada. As especificações são concernentes ao tipo e a dosagem mínima de cimento, à compactidade mínima, ao valor máximo da relação água/cimento, ao cobrimento mínimo das armaduras e ao teor máximo de cloretos no concreto (ROUGEAU e GUIRAUD, 2014). Além do embasamento dos possíveis causadores de manifestações patológicas em cada ambiente ser importante para a especificação da espessura do cobrimento, é também imprescindível estabelecer um uso adequado dos materiais.

Embora o projeto estrutural e o detalhamento sejam mais abrangentes que simplesmente a especificação do cobrimento de concreto às armaduras, este não é apenas uma especificação de projeto, sendo o resultado conjunto do projeto e das práticas construtivas.

2.2 CORROSÃO DAS ARMADURAS

A corrosão das armaduras é caracterizada por ser um fenômeno eletroquímico gerador de óxidos e hidróxidos de ferro, podendo ser acelerado pela presença de agentes químicos externos ou internos ao concreto (HELENE, 1992). São perceptíveis por apresentarem uma coloração marrom-avermelhada. A formação dos produtos de corrosão podem gerar uma pressão na interface concreto/aço, aumentando o volume e destacando a camada de cobrimento (SOLGAARD et. al, 2013; GENTIL 1986).

Os fenômenos de corrosão podem ser relativamente rápidos, como nos casos de porosidade excessiva do material e/ou de espessura insuficiente do cobrimento (BAROGHEL-BOUNY; CAPRA; LAURENS, 2014). Quando o concreto não for adequado ou não cobrir a armadura corretamente as consequências podem ser progressivas.

Como observado na Tabela 4, a longo prazo, todos os fatores de degradação estão relacionados aos processos de difusão, como a carbonatação, a penetração de íons agressivos e o suprimento de oxigênio necessário às reações eletroquímicas (DAL MOLIN, 1988). Ainda, todos os processos resultam na corrosão da armadura, que através da deterioração do aço gera perda de aderência da barra com o concreto e redução da seção transversal, podendo ocasionar o colapso da estrutura (MENEZES, 2009).

Tabela 4: Principais mecanismos físico-químicos de determinação das estruturas (Fonte: MEDEIROS et al., 2011).

Agressividade do ambiente		Consequências sobre a estrutura	
Natureza do processo	Condições particulares	Alterações iniciais na superfície do concreto	Efeitos a longo prazo
Carbonatação	UR 60% a 85%	Imperceptível	Redução do pH Corrosão de armaduras Fissuração superficial
Lixiviação	Atmosfera ácida, águas puras	Eflorescências Manchas brancas	Redução do pH Corrosão de armaduras Desagregação superficial
Retração	Umedecimento e secagem, ausência de cura, UR baixa (<50%)	Fissuras	Fissuração Corrosão de armaduras
Fuligem	Partículas em suspensão na atmosfera urbana e industrial	Manchas escuras	Redução do pH Corrosão de armaduras
Fungos e mofo	Temperaturas altas (>20°C e < 50°C) com UR > 75%	Manchas escuras e esverdeadas	Redução do pH Desagregação superficial Corrosão de armaduras
Concentração salina	Atmosfera marinha e industrial	Imperceptível	Despassivação e corrosão de armaduras
Sulfatos	Esgoto e águas servidas	Fissuras	Expansão → fissuras Desagregação do concreto Corrosão de armaduras
Álcali-agregado	Composição do concreto, umidade, UR>95%	Fissuras, gel ao redor do agregado graúdo	Expansão → fissuras Desagregação do concreto Corrosão de armaduras

UR: umidade relativa

A passivação do aço somente acontece enquanto o concreto apresenta uma boa qualidade, sem fissuras e sem ação de agentes agressivos, mantendo o pH elevado (HELENE, 1986). A alcalinidade do concreto é relacionada, principalmente, ao hidróxido de cálcio que se forma durante a hidratação dos silicatos do cimento e aos álcalis que geralmente estão incorporados como sulfatos, no clínquer. Estas substâncias situam o pH da fase aquosa contida nos poros em valores entre 12,6 e 14,0, isto é, no extremo mais alcalino da escala de pH. A estes valores de pH e em presença de uma certa quantidade de oxigênio, o aço das armaduras encontra-se passivado, ou seja, recoberto de uma capa de óxidos transparentes, compacta e contínua que o mantém protegido por períodos indefinidos, mesmo em presença de umidades elevadas no concreto (ANDRADE, 1992).

A condição de passivação pode ser alterada por ação de agentes agressivos como o CO₂ atmosférico ou a presença de íons cloreto. Quando desprotegida a armadura, ocorre a corrosão, manifestação diretamente ligada ao cobrimento do aço da estrutura. Dal Molin (1988) relata que a maior parte dos problemas de corrosão da armadura (59%) analisados em

sua pesquisa estava relacionada à inobservância dos cobrimentos mínimos para o tipo de ambiente e qualidade do concreto utilizado, fenômeno observado ainda nas obras do país.

O comportamento da estrutura frente à degradação ocasionada pelo ambiente, pode ser dividido em duas fases: iniciação e propagação (TUTTI, 1982). O período de iniciação está relacionado ao período de tempo onde os substâncias agressivas presentes no ambiente, como Cl⁻ e CO₂, penetram pelo camada de revestimento até ocorrer a despassivação do aço. A segunda fase corresponde ao momento em que os agentes agressivos atingem a armadura, iniciando na corrosão (SOLGAARD et al., 2013; BALAFAS E BURGOYNE, 2011).

A influência do tipo de ataque na corrosão da armadura do concreto é bastante significativa, tendo a ação de cloretos um efeito mais deletério em relação à ação da carbonatação do concreto (CASCUDO e HELENE, 2001). Conforme os autores, a maioria dos estudos que avalia o desempenho quanto à corrosão de peças de concreto armado, trata de aspectos próprios do concreto como condicionantes da corrosão, tais como: características da porosidade, presença de contaminantes, presença de fissuras e deficiências na espessura do revestimento, entre outros.

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 da capacidade portante da estrutura, revelam-se prejudiciais ao bom funcionamento estrutural (BAROGHEL-BOUNY; CAPRA; LAURENS, 2014).

3 COBRIMENTO DAS ARMADURAS

O cobrimento é de extrema importância para a proteção da armadura e, por conseguinte, possui influência direta na durabilidade do concreto. A proteção ocorre de forma física, através da qualidade e porosidade do concreto, e química, através da formação de película passivadora devido à alta alcalinidade e à ação isolante da massa de concreto do cobrimento (GENTIL, 1996).

Para Marsh (2003), o cobrimento possui como principal função proteger a armadura contra a corrosão para garantir a vida útil requerida, além de fornecer um adequado período de proteção contra fogo para a armadura.

Segundo Vaquero (2007), a proteção fornecida pelo cobrimento somente é alcançada mediante a soma de diversos fatores, entre eles:

- a) a qualidade adequada do concreto, obtida a partir de sua composição (tipo e quantidade de cimento, relação água/cimento, entre outros) e sua utilização na construção (lançamento, adensamento e cura);
- b) espessura suficiente para retardar a penetração de agentes agressivos;
- c) espessura adequada para o tamanho máximo do agregado utilizado na fabricação do concreto e para o diâmetro da barra, de modo a evitar bolhas e ninhos de concretagem que deixam a armadura exposta à ação de agentes agressivos;
- d) a limitação de fissuras em peças submetidas à flexão.

A norma NBR 6118 (ABNT, 2014) indica que a dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado no concreto não pode superar em 20% a espessura nominal do cobrimento, sendo assim:

$$d_{\text{máx}} \leq 1,2 c_{\text{nom}}$$

O cobrimento possui características variáveis ao longo do tempo, pois logo após a compactação e durante o período de cura, a camada é altamente alcalina com pH elevado. A partir da interrupção da cura, inicia-se o processo de envelhecimento que poderá culminar com a despassivação da armadura (MEDEIROS; ANDRADE; HELENE, 2011).

3.1 ESPECIFICAÇÃO DA ESPESSURA DE COBRIMENTO

A espessura de cobrimento deve ser medida da face externa da estrutura até a barra mais próxima, incluindo também, barras de estribos e armaduras secundárias. A norma vigente para especificar o cobrimento, NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece que o cobrimento mínimo (c_{\min}) da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o elemento considerado, constituindo um critério de aceitação. Também descreve que o cobrimento nominal de uma determinada barra deve ser sempre:

- a) $c_{\text{nom}} \geq \varnothing \text{ barra};$
- b) $c_{\text{nom}} \geq \varnothing \text{ feixe} = \varnothing_n = \varnothing \sqrt{n};$
- c) $c_{\text{nom}} \geq 0,5 \varnothing \text{ bainha}.$

A relação entre o cobrimento e o diâmetro das barras da armadura é feita de modo a permitir e facilitar a boa qualidade das operações de lançamento e adensamento do concreto, bem como garantir a transição dos esforços concreto/aço, para o perfeito comportamento estrutural. Também é necessário prever no detalhamento das armaduras espaço suficiente para entrada da agulha do vibrador, como especificado na NBR 6118 (ABNT, 2014):

- a) Esp. mínimo entre armaduras $\geq 2 \text{ cm};$
- b) Esp. mínimo entre armaduras $\geq \varnothing \text{ armadura};$
- c) Esp. mínimo entre armaduras $\geq \varnothing \text{ agregado}.$

Estas condições buscam impedir a segregação dos agregados e a ocorrência de vazios no interior do elemento estrutural, como mostra a Figura 2.

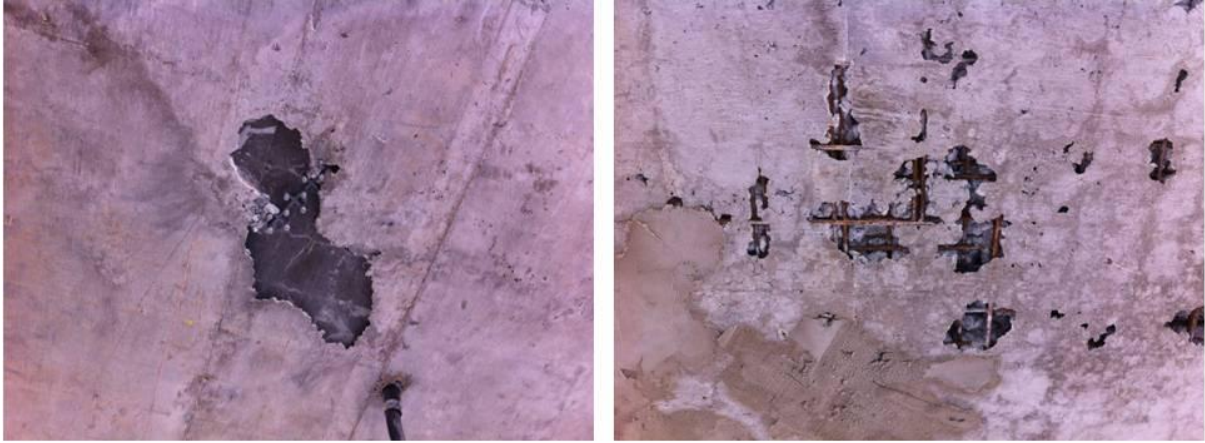


Figura 2: Falhas de execução de lajes

Sendo assim, alguns cuidados durante todo o processo de execução do elemento estrutural garantem a diminuição de falhas, conforme coloca Merretz (2010):

- verificar a adequação de fôrmas, por profissional competente, antes da colocação das armaduras para garantir a estabilidade durante a concretagem, e assim, a garantia do cobrimento;
- verificar a armadura e o cobrimento até a fôrma antes da concretagem;
- fiscalizar o lançamento e a compactação do concreto;

Para garantir o cobrimento mínimo da armadura (c_{\min}), o projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal (c_{nom}), que é o cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução (Δc) estabelecida em 10 mm pela NBR 6118 (ABNT, 2014). No item 7.4.7.4 da mesma norma é indicado que:

“Quando houver um adequado controle de qualidade e limites rígidos de tolerância da variabilidade das medidas durante a execução pode ser adotado o valor de $\Delta c = 5$ mm, mas a exigência de controle rigoroso deve ser explicitada nos desenhos de projeto. Permite-se, então, a redução dos cobrimentos nominais, prescritos em tabela, em 5 mm.”

A espessura do cobrimento adequada para cada componente estrutural, em estruturas de concreto armado e concreto protendido, em função da classe de agressividade ambiental em que o mesmo será submetido, consta na Tabela 5.

Tabela 5: Valor de espessura de cobrimento normatizado
(Fonte: ABNT NBR 6118, 2014).

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

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

^b 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 ≥ 15 mm.

^c 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.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Segundo Merretz (2010), a obtenção do cobrimento deve ser verificada e registrada como estando em conformidade nos documentos de garantia de qualidade de controle de processo antes mesmo do início da concretagem.

A última revisão da NBR 6118 (ABNT, 2014) coloca que para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 5 podem ser reduzidos em até 5 mm. O valor do cobrimento pode ser diminuído quando for escolhido um concreto com classe de resistência à compressão superior à classe de referência (classe de exposição), forem utilizados aços inoxidáveis e quando existir sistema de controle de qualidade, neste último caso a redução de 5 mm é relacionada à tolerância de execução.

Para execuções submetidas a um sistema de controle de qualidade, incluindo medições de cobrimento, a redução pode ser de 5 mm e onde pode ser assegurado o uso de dispositivo de medição preciso para monitoramento e rejeição de elementos não conformes o valor pode ser reduzido em 10 mm (EN 1992 1-1, 2004; ROUGEAU e GUIRAUD, 2014).

Apesar da permissão para a redução de cobrimentos nominais para obras que possuam controle de qualidade ou que utilizem uma classe de resistência de concreto superior à mínima exigida, a norma não indica nenhum parâmetro para que se tenha base de um projeto com adequado controle de qualidade. Sendo assim, toda e qualquer execução tem a liberdade de

alegar que possui um controle rigoroso. A redução de 5 mm é, então, bastante comum em diversos projetos.

Para ambientes com presença de cloretos, uma maior espessura de cobertura combinada com uma relação água/aglomerante menor gera menor perda de massa das armaduras e também um maior efeito do tratamento superficial do concreto já deteriorado (PEREIRA et al. 2013; MEDEIROS, 2008). Entretanto, Mota et al. (2012) colocam que um cobertura excessivo é antieconômico e corre-se o risco de fissuras, aumentando a expectativa para espessuras superiores a 60 mm.

Para Marsh (2003), uma das funções do cobertura é permitir a transmissão segura de esforços entre a armadura e o concreto, para garantir que a estrutura trabalhe conforme projetado em relação ao transporte de carga e controle de abertura de fissuras.

Assim, Benedetti (2013) demonstra a gravidade do aumento da espessura de cobertura em relação ao funcionamento estrutural, através de análise de sensibilidade a erros de execução. Para lajes com espessura média de 8,5 cm, afirmou-se que para um aumento de 2 cm no cobertura em função de um erro durante a execução, o coeficiente de segurança médio sofre o decréscimo de 36,81%, ultrapassando a faixa do coeficiente de segurança limite para o uso da estrutura, como mostrado na Figura 3.

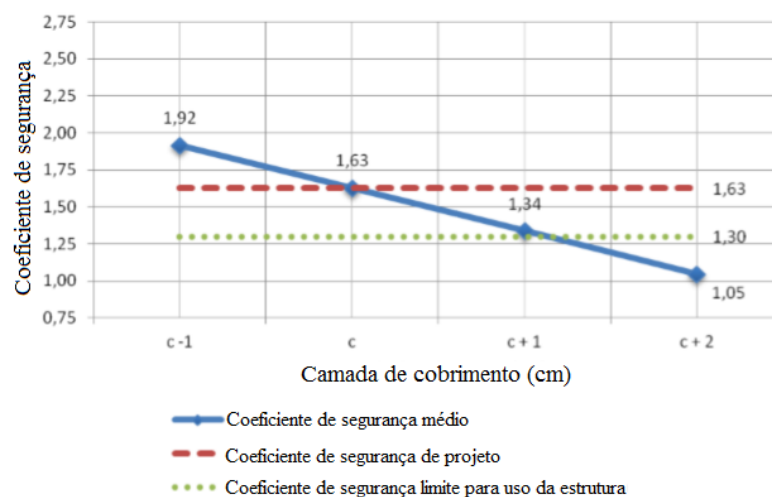


Figura 3: Análise de sensibilidade a erros de execução em lajes em função da camada de cobertura (BENEDETTI, 2013).

As recomendações da NBR 6118 (ABNT,2014) estão relacionadas somente à redução da espessura de cobertura (figura 4b) e seu impacto à durabilidade da estrutura. Porém, quando

a espessura do cobrimento ultrapassa o valor projetado (figura 4c), a armadura acaba se aproximando da linha neutra. Para o caso de lajes apoiadas, onde os esforços na parte inferior da seção são basicamente de tração, a variação da altura da armadura e a redução do braço de alavanca influenciam diretamente na capacidade de carga da laje, prejudicando assim, o funcionamento estrutural.

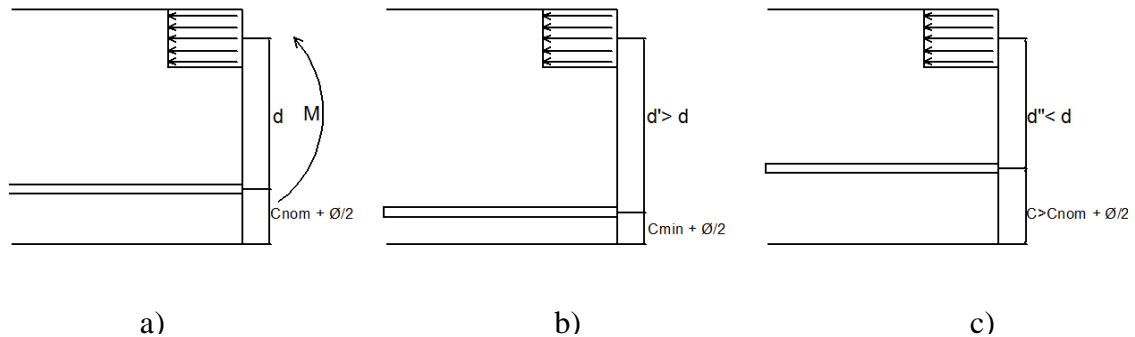


Figura 4: Efeito da espessura de cobrimento na estrutura: a) cobrimento especificado; b) redução da espessura (durabilidade); c) aumento da espessura de cobrimento (capacidade estrutural).

Se a NBR 6118 (ABNT, 2014) admite uma tolerância de execução no cobrimento para menos a partir do valor nominal, que é o valor indicado em projeto, esta mesma tolerância deveria ocorrer também para valores maiores. Nesta situação, não há prejuízo à durabilidade, mas pode ocorrer perda considerável da capacidade portante da estrutura, em especial àquelas em que a altura útil das seções (d) é pequena, como as lajes.

Sendo assim, seria prudente considerar a tolerância de execução (ΔC) com ocorrência nos dois sentidos (Figura 5). O cobrimento máximo, ou de cálculo, seria o maior valor e deve ser utilizado para todos os cálculos estruturais. O cobrimento nominal, de valor intermediário, é o valor que deve estar exposto no detalhamento do projeto. O cobrimento mínimo é referente à execução, sendo o menor valor da espessura de cobrimento que a estrutura deve possuir após a concretagem. Sendo assim, tem-se tolerância de execução (ΔC) superior e inferior, garantindo, em caso de erro, o funcionamento estrutural e a durabilidade da estrutura.

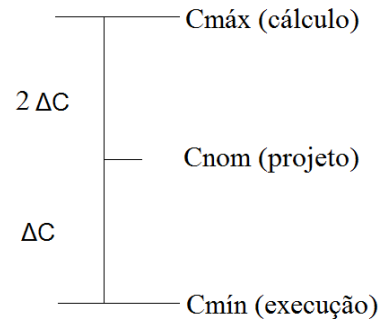


Figura 5: Proposta para espessura de cobrimento e tolerâncias de execução.

Em contrapartida, a espessura não conforme de cobrimento, além da execução, pode estar relacionada também a defeitos de projeto, de detalhamento ou de fornecimento de materiais, e estes problemas provavelmente só podem ser resolvidos em suas raízes (Clark et al., 1997).

Levando isto em consideração, alguns estudos relatam a dificuldade encontrada em obras relacionada ao cobrimento. Campos (2013), através de levantamento em campo realizado em 8 obras de diversas empresas na cidade de Porto Alegre, concluiu que em 44% das obras o cobrimento medido antes da concretagem era inferior ao cobrimento nominal de projeto, passando para 50 % nos cobrimentos medidos após a concretagem. A pesquisa mostra que na maioria das obras que estão sendo executadas, o cobrimento final não atende a especificação do projeto.

Silva (2012) apresenta que 46% das medições realizadas em 9 diferentes obras em Porto Alegre não atendem o valor de cobrimento estabelecido no projeto estrutural antes da concretagem. Para a mesma comparação, as lajes apresentaram o pior resultado entre os elementos estruturais, estando 67% abaixo. Ainda para lajes, todas as obras mostraram valores inferiores em medições feitas no meio do vão das barras, e um terço das obras estava abaixo do estabelecido em medições realizadas próximas ao espaçador. O autor coloca que este resultado pode ser consequência da colocação irregular de espaçadores ou da falta de planicidade das fôrmas (Figura 6).

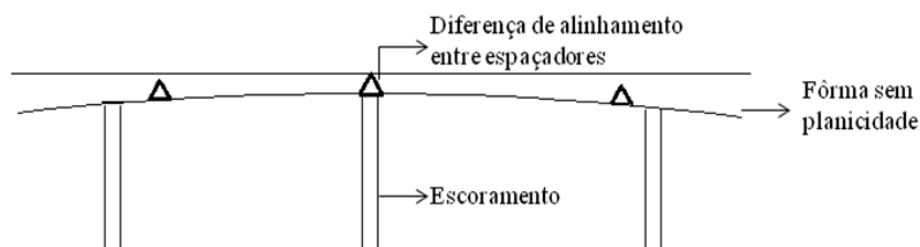


Figura 6: Esquema da falta de nivelamento das fôrmas durante a execução.

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado.

A norma referente à execução das estruturas NBR 14931 (ABNT, 2004) ressalva a importância do escoramento de fôrmas que impede deformações que prejudiquem o formato da estrutura.

Ambos os autores, Campos (2013) e Silva (2012), descrevem que nenhuma empresa onde as respectivas pesquisas foram realizadas possuía alguma metodologia referente à distribuição de espaçadores.

3.2 ESPAÇADORES

O uso de espaçadores tem como principal função assegurar a espessura de cobrimento requerida em projeto. Sendo assim, são utilizados durante a fase de execução e se posicionam entre as barras e a fôrma, fazendo com que a armadura permaneça fixa durante a concretagem. Modelos específicos são produzidos para uso no fundo da fôrma ou para o uso nas laterais, como mostra a Figura 7.

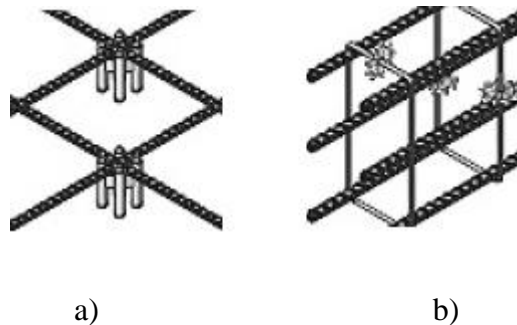


Figura 7: Posicionamento de espaçadores: a) fundo das fôrmas; b) laterais das fôrmas (Fonte: Equipe de Obra)

Conforme Takata (2009), os espaçadores têm a finalidade de manter a armadura afastada da fôrma durante a montagem, o lançamento e o adensamento do concreto. Ainda, ressalta que a logística que envolve desde a montagem das fôrmas até a desfôrma é, muitas vezes, negligenciada. Com isso, a correta execução de outras etapas no processo construtivo influencia diretamente no alcance do cobrimento, já que as fôrmas garantem a geometria do elemento estrutural.

Embora esteja explicitado o uso dos espaçadores na norma NBR 14931 (ABNT, 2004), em algumas obras ainda encontram-se falhas, como a falta de uso dos espaçadores em um

elemento estrutural, como mostrado na Figura 8, o uso do modelo inadequado de espaçador e principalmente a falta de fiscalização antes da concretagem.



Figura 8: Armadura de viga sem espaçadores antes da concretagem.

A norma referente à execução de estruturas de concreto NBR 14931 (ABNT, 2004) descreve no item 8.1.5.5 que:

“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 devem ser 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.”

Os espaçadores de argamassa têm como principal vantagem a confecção no próprio local de execução e a possibilidade de personalização; entretanto, a uniformidade dimensional não é satisfatória, já que são confeccionados sem maior precisão. Os espaçadores plásticos, vastamente utilizados na atualidade, apresentam como vantagem a uniformidade dimensional e variedade de modelos. Peixoto e Gomes (2006) apontam a melhoria da qualidade do cobrimento, maior rapidez no processo de montagem, redução de custos, já que a produção não é realizada em canteiro de obra e a redução de mão de obra, quando os espaçadores de argamassa são substituídos por espaçadores plásticos. Alguns modelos de espaçadores são apresentados na Figura 9.



Figura 9: Modelos de espaçadores utilizados no fundo de fôrmas: a) plastilha argamassada; b) cadeirinha; c) calço com garra; d) centopéia (Fonte: Catálogo Eplás).

A instrução espanhola EHE (2008) aponta que os espaçadores utilizados devem ser constituídos com materiais resistentes à alcalinidade do concreto e que não induzam a corrosão das armaduras. É proibida a utilização de madeira, bem como qualquer outro material residual, mesmo tijolo ou concreto. Os espaçadores de concreto ou argamassa devem ter a qualidade comparável com o material utilizado na execução.

O comitê euro-internacional CEB (1990) e a norma britânica BS 7973-2 (2001) estabelecem uma classificação dos espaçadores conforme sua aplicação, dividindo-os em:

- a) solicitação leve: Para proporcionar cobrimento em armaduras verticais mais próximas da superfície de concreto ou em armaduras horizontais com seção pequena e sem possibilidade de tráfego. Não é adequado para barras maiores que 16 mm;
- b) solicitação normal: Para proporcionar cobrimento em armaduras com barras de 20 mm ou menos;
- c) solicitação pesada: Para proporcionar cobrimento em armaduras com barras maiores que 20 mm;
- d) cadeira: Para apoiar a parte superior da armadura em lajes, de modo a garantir o cobrimento do topo ou separar as camadas de armaduras.

Os mesmos regulamentos definem espaçador do tipo cadeira como aquele fabricado em aço, com função de apoiar o reforço superior da laje ou separar as camadas de reforço em paredes.

Alguns aspectos devem ser considerados no momento da escolha do tipo de espaçador, segundo Vaquero (2007), entre os quais:

- a) valor do cobrimento nominal estabelecido em projeto;

- b) cargas que o espaçador terá que suportar devido ao peso da armadura, ao procedimento de colocação, à movimentação de trabalhadores sobre a armadura e às cargas produzidas durante a concretagem da peça;
- c) diâmetro e posição da armadura (parede, laje, viga ou pilar);
- d) tipo de armadura: barras ou telas soldadas;
- e) tipo de fixação mais adequado: sem fixação, com arame ou grampo;
- f) circunstâncias externas que podem afetar o concreto tais como pressão, temperatura, possíveis ataques químicos, alternância de ciclos de umidade, fogo ou corrosão;
- g) possíveis marcas ou traços que o espaçador possa deixar sobre a superfície do concreto, sobretudo se esta ficar visível;
- h) tipo de acabamento da superfície do concreto;
- i) facilidade de colocação dos espaçadores, desempenho e custo.

Os dispositivos plásticos não possuem especificação vigente quanto às características de desempenho no Brasil, sendo assim, a produção não precisa atender nenhuma exigência. Dentre alguns requisitos testados segundo critérios propostos, baseados nas normas europeias, Menna Barreto (2014) afirma que nenhum modelo de espaçador plástico desempenha a função quanto à estabilidade, à fixação, ao dimensionamento e ao suporte de carga. Entretanto, todos os requisitos foram alcançados por algum modelo, tornando possível a obtenção de um produto satisfatório para a garantia do cobrimento.

3.2.1 Distribuição de espaçadores

No momento de dispor os espaçadores deve-se levar em consideração que uma distância excessiva pode causar a deformação das barras por flexão, especialmente durante a concretagem. Não é comum existir nas obras projeto ou procedimento que estabeleça um planejamento para distribuição e colocação de espaçadores, gerando assim uma alta variabilidade dos valores de cobrimento.

A norma brasileira referente à execução de concreto armado NBR 14931 (ABNT, 2004) define que a montagem das armaduras deve ser feita por meio de amarração, utilizando

arames. Ainda, especifica que a amarração das barras das lajes deve ter afastamento máximo de 35 cm, porém em momento algum cita qualquer especificação a respeito da distribuição dos espaçadores.

As recomendações do comitê euro-internacional CEB (1990) e da norma britânica BS 7973-2 (2001) são aplicadas para barras individuais e malhas soldadas. Para lajes, coloca que cada interseção entre as barras no perímetro deve ser amarrada. Para barras de diâmetro até 20 mm deve-se amarrar as interseções alternadamente, e para as barras com diâmetro de 25 mm ou superior deve-se amarrar as intersecções a cada 50 diâmetros da barra.

Para vigas e pilares aconselha-se amarrar cada interseção nos cantos entre as barras principais e estribos. Para malhas soldadas utilizadas como estribos, deve-se amarrar o centro a cada 50 diâmetros da barra, na barra principal. Múltiplos estribos devem ser amarrados juntos.

A Instrução de Concreto Estrutural espanhola EHE (2008) especifica a distribuição dos espaçadores como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Distância entre espaçadores recomendada (Fonte: EHE, 2008 tradução livre).

Elementos		Distância máxima
Elementos de superfície horizontal (placas, lajes, alicerces e lajes de fundação, etc.)	Armadura inferior	$50 \text{ } \varnothing \leq 100 \text{ cm}$
	Armadura superior	$50 \text{ } \varnothing \leq 50 \text{ cm}$
Paredes	Cada malha	$50 \text{ } \varnothing \leq 50 \text{ cm}$
	Separação entre malhas	100 cm
Vigas ¹⁾		100 cm
Pilares ¹⁾		$100 \leq 200 \text{ cm}$

¹⁾ Ser disposto, pelo menos, três planos de espaçadores por vão, no caso das vigas, e pela seção, no caso de pilares, acoplados aos aros ou estribos.
 \varnothing Diâmetro da armadura em que o espaçador será acoplado

O detalhamento da distribuição de espaçadores para a armadura inferior de lajes dado pelo comitê euro-internacional CEB (1990) e pela norma britânica BS 7973-2 (2001), está exposto na Figura 10. A distância recomendada é a mesma apresentada na Tabela 6, as duas regulamentações ainda trazem a recomendação de distribuição de espaçadores para armadura soldada.

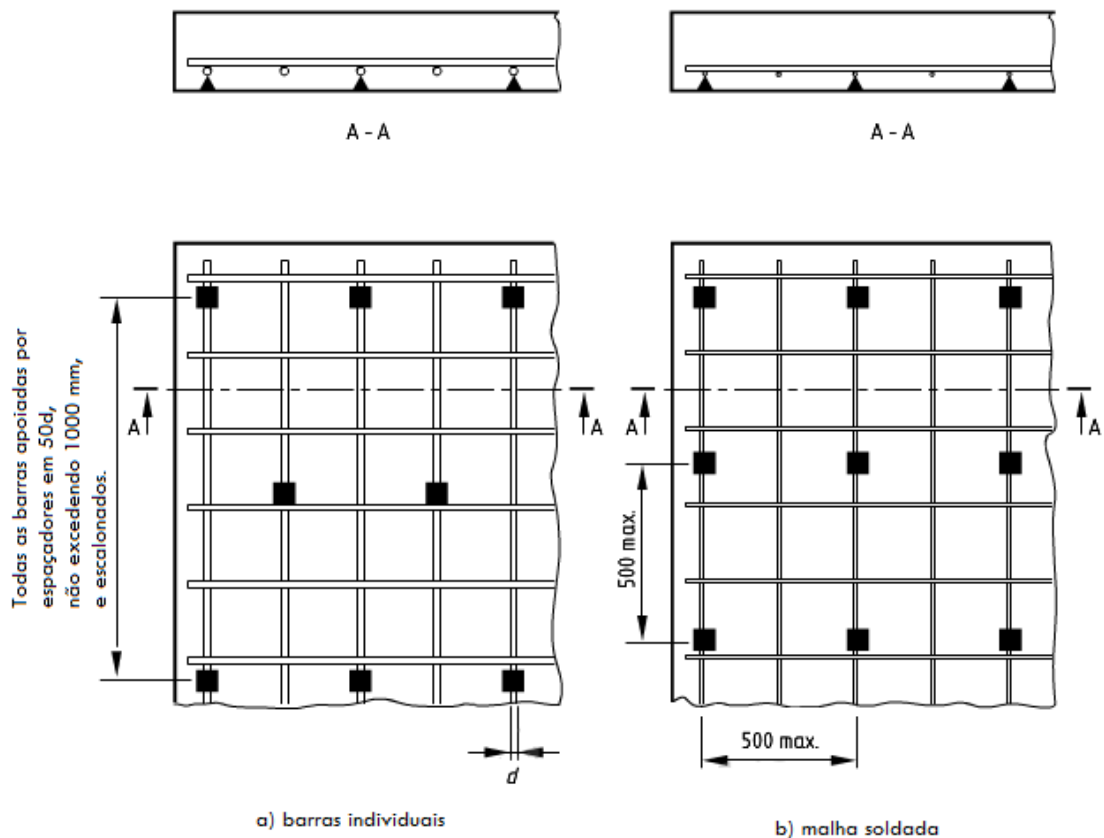


Figura 10: Distribuição de espaçadores normatizada para armadura positiva em lajes (Fonte: BS 7973-2, 2001).

Com base nos levantamentos realizados por Campos (2013) e Silva (2012) na cidade de Porto Alegre-RS, constatou-se que o cobrimento especificado não está sendo alcançado durante e após a execução, e uma parcela deste problema pode estar relacionado à falta de diretrizes nas normas brasileiras para a distribuição dos espaçadores. Desta forma pretende-se com esta pesquisa, confirmar a problemática quanto aos cobrimentos de projeto não alcançados em obra de outras cidades, bem como contribuir para uma futura normalização que especifique critérios para definir a distância entre espaçadores.

A organização do trabalho e apresentação dos seguintes capítulos encontram-se apresentados na Figura 11. O levantamento *in loco* do cobrimento já executado em diferentes obras serviu como parâmetro para analisar a situação atual, justificando a importância desta pesquisa e permitindo a coleta de dados para as etapas seguintes.

O programa experimental, dividido em coletar valores referentes ao carregamento sobre a armadura e a atuação destas cargas na deformação das barras e garantia do cobrimento, foi possível graças ao levantamento realizado em obra.

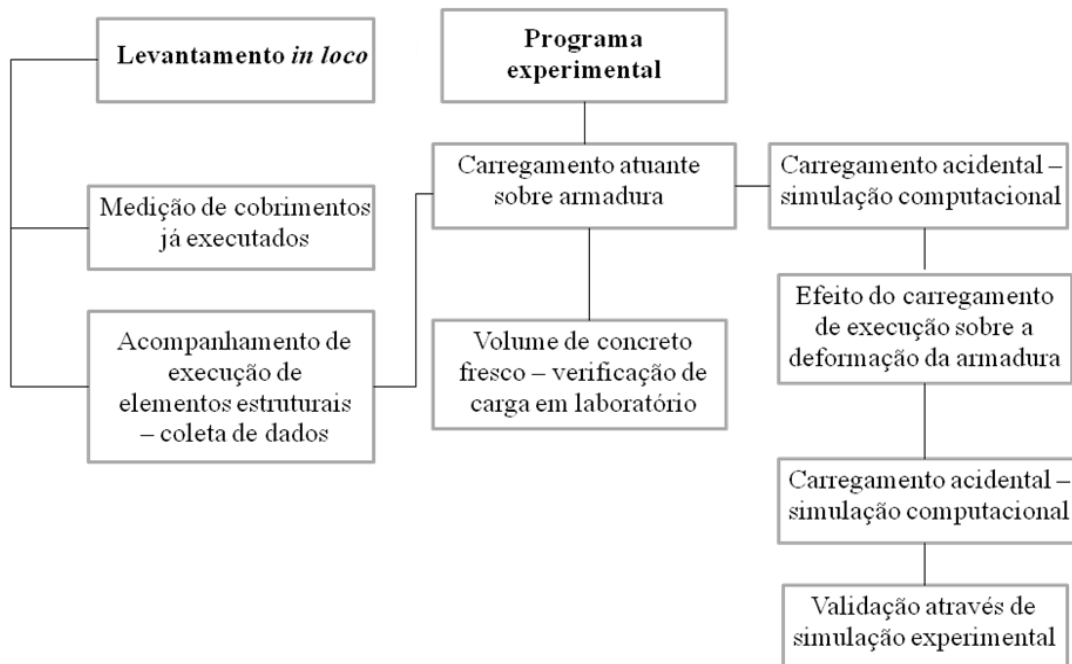


Figura 11: Desenvolvimento da pesquisa

4 LEVANTAMENTO EM OBRA

Com a proposta de avaliar o cumprimento das diretrizes normativas em relação ao alcance do cobrimento, e tratando-se de uma justificativa para a continuação deste trabalho, fez-se o levantamento em diversas obras nos elementos estruturais já executados. As medições realizadas em duas capitais, escolhidas por representarem duas regiões distintas no Brasil (Sul e Centro-Oeste), são em colaboração ao trabalho de Menna Barreto² (2014).

4.1 PROCEDIMENTO

A avaliação ocorreu em diferentes obras, nas cidades de Porto Alegre/RS e Cuiabá/MT, com o objetivo de averiguar se os cobrimentos executados correspondem aos cobrimentos solicitados em projeto.

As empresas escolhidas para o levantamento em campo executaram edificações em concreto armado moldado *in loco*, com múltiplos pavimentos, lajes maciças e utilizam espaçadores plásticos durante a execução.

A coleta dos dados realizada em cada empreendimento teve auxílio de projetos de fôrma e detalhamento estrutural do pavimento medido, para garantir maior exatidão das informações. Desta forma, permitiu-se a identificação do elemento estrutural dentro do pavimento medido, sua espessura de cobrimento solicitada em projeto, além do diâmetro das barras. A planilha utilizada durante os levantamentos encontra-se no Apêndice A.

A leitura dos projetos mostrou que o cobrimento indicado no selo é igual ao cobrimento resultante no detalhamento dos elementos. Com isso, pode-se afirmar que há a preocupação tanto na definição do projeto quanto na montagem das armaduras, como por exemplo, o correto posicionamento das barras juntamente com os estribos. Assim, o detalhamento de projeto pode ser seguido durante a montagem da armadura, e desta forma, se bem executado, a espessura de cobrimento tem maior probabilidade de ser cumprida.

Independentemente da obra, todas foram consideradas inseridas em ambiente de agressividade II, sendo assim, classe moderada. Portanto, de acordo com a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) a classe de resistência do concreto (f_{ck}) deve ser de no mínimo 25 MPa e os valores de

² Em conjunto durante o período de mestrado (2013-2015) com diferentes análises de resultados, servindo como foco/justificativa da pesquisa.

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado.

cobrimento superiores a 25 mm para lajes e 30 mm para vigas e pilares. A definição destes dados são responsabilidade do projetista estrutural, baseado nas tabelas apresentadas na NBR 6118 (ABNT,2014). As informações obtidas através da análise dos projetos estão expostas na Tabela 7.

Tabela 7: Especificações de cobrimentos em projeto.

Cidade	Empresa	Obra	fck (Mpa)	Cobrimento nominal de projeto (mm)		
				Laje	Viga	Pilar
Cuiabá	A	1	25	20	25	25
		2	30	15	20	20
		3	30	20	25	25
	B	4	30	20	25	25
Porto Alegre	C	5	35	15	20	25
		6	30	15	20	25
		7	35	20	25	25
	D	8	30	20	25	25
		9	30	20	25	25

É possível observar que a maioria das obras optaram pela redução da espessura de cobrimento nominal em 5 mm pela redução da tolerância de execução do cobrimento permitida pela norma. Como já mencionado, a regulamentação não informa os requisitos para considerar um controle de qualidade rígido, entretanto, estima-se que as obras consideram o controle na execução. Esta redução também pode estar relacionada ao uso de resistência superior ao mínimo exigido, com exceção da obra 1 que especifica o concreto de 25 MPa. Porém esta possibilidade só foi apresentada na última revisão da norma em 2014, descartando, assim, esta condição nas obras participantes.

Alguns projetos, como no caso das obras 2, 5 e 6 não compreenderam a tolerância de cobrimento nominal, reduzindo 10 mm do cobrimento recomendado, o que vai contra a NBR 6118 (ABNT, 2014), que exige uma tolerância somada ao cobrimento mínimo para resultar o cobrimento nominal.

Além dos valores relacionados aos cobrimentos, tentou-se estabelecer um critério com relação ao nível de controle das obras durante a execução, baseado em Campos (2013) e Silva (2012). Sendo assim, quatro critérios foram definidos: (1) presença de engenheiro civil responsável; (2) organização e limpeza do canteiro/pavimento; (3) apresentação de método para distribuição de espaçadores e (4) certificação de qualidade. O controle de execução de cada obra foi relacionado à quantidade de critérios observados, como mostra a Tabela 8. Os níveis adotados foram os seguintes:

- Sem controle: obra onde nenhum critério foi atendido;
- Nível ruim: obra possuindo um critério atendido;
- Nível intermediário: obra possuindo dois critérios atendidos;
- Nível bom: obra possuindo três critérios atendidos;
- Nível ótimo: obra possuindo todos os critérios atendidos.

Tabela 8: Critérios de controle obtidos no levantamento em campo das obras.

Cidade	Empresa	Obra	Critérios de controle				Nível de controle
			Presença de Eng. Civil	Organização/Limpeza	Metodologia distrib. dos espaçadores	Certificação de qualidade	
Cuiabá	A	1	x	-	-	x	Intermediário
		2	x	x	-	x	Bom
		3	x	x	-	x	Bom
	B	4	x	x	-	x	Bom
Porto Alegre	C	5	x	x	-	x	Bom
		6	x	x	-	x	Bom
		7	x	x	-	x	Bom
	D	8	x	x	-	x	Bom
		9	x	x	-	x	Bom

Nota-se que apesar de pertencer à mesma empresa (A), a obra 1 apresenta um nível de controle intermediário, enquanto as outras obras mostram resultados mais satisfatórios. Nenhuma obra atingiu o nível ótimo de controle, pois a metodologia de distribuição de espaçadores era inexistente, assim como observado por Silva (2012) e Campos (2013) em seus respectivos trabalhos, e explicado pela ausência de requisitos normativos a este respeito.

O cobrimento foi medido nos elementos estruturais da edificação após o lançamento e desfôrma do concreto, com a utilização do aparelho denominado pacômetro digital, que funciona a partir de tecnologia magnética de indução de pulso para detectar armaduras. A medição é resultante da mudança de tensão através da indução, no sentido oposto, no campo magnético causada por corrente induzida. Esse método não é afetado por materiais não condutivos como o concreto (embora alguns tipos de concreto e outros materiais estruturais possam conter metais), madeira, plásticos, tijolos, entre outros (PROCEQ, 2008). O equipamento estima o valor de cobrimento com uma precisão de 3 mm e faixa de

profundidade de medição até 60 mm, suficiente pois as recomendações normativas estão abaixo deste valor.

Para cada obra, as medições foram feitas em um único pavimento, no qual foram escolhidas três lajes aleatoriamente para medição da face inferior. Em cada fundo de laje, foram medidas 10 espessuras de cobertura, de forma aleatória e distribuída, totalizando assim 30 medições (Figura 12a).

Em seguida, três vigas foram escolhidas aleatoriamente dentre aquelas que possuíam todas as faces localizadas dentro do pavimento. Ao longo de cada viga foram realizadas 10 medições em cada lateral e 10 medições no fundo da viga, totalizando 30 medições por viga e 90 medições para este elemento por obra. Todas as medições foram aleatórias e igualmente distribuídas (Figura 12b).

Por último, os pilares foram escolhidos conforme a disponibilidade de medição dentro do pavimento, em função da segurança. Na ausência destes, foram medidas somente as faces internas de pilares da periferia. As medições foram divididas entre a base, o meio e o topo do pilar, nas quatro faces quando o acesso foi possível (Figura 12c).

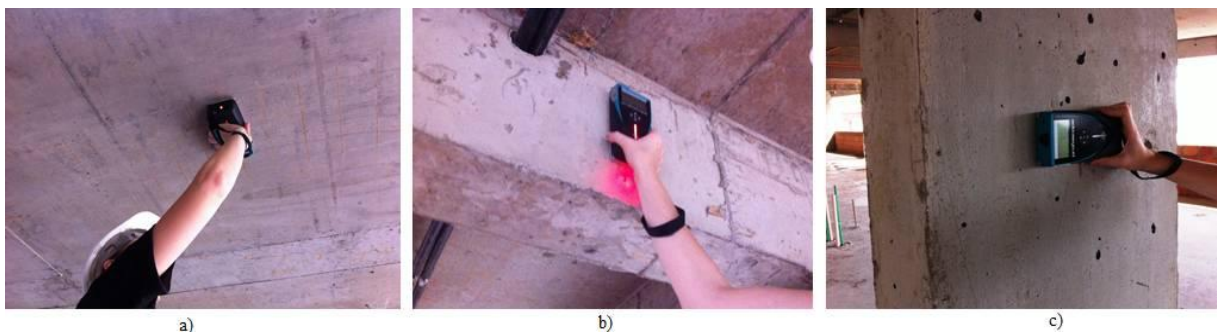


Figura 12: Medições com pacômetro digital: a) lajes; b) vigas; c) pilares.

4.2 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após recolhimento de dados nas obras, foram gerados os valores médios, desvio padrão e o coeficiente de variação (CV) relacionados a cada elemento estrutural, apresentados na Tabela 9. Andrade (2001) estabelece faixas de variação para o CV baseado em extensa pesquisa bibliográfica, com dados coletados nas mesmas sobre a espessura de cobertura, com o objetivo de categorizar os diferentes níveis de controle de qualidade presentes na execução da estrutura. Sendo assim, propõe classificar a variabilidade da espessura de cobertura em nível

de controle de execução alto ($CV \leq 0,15$), nível de controle de execução médio ($0,15 \leq CV \leq 0,35$) e nível de controle de execução baixo ($CV \geq 0,55$).

Tabela 9: Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação das medições.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural											
			Laje			Viga						Pilar		
			Média (mm)	Desvio Padrão	Coef. de variação	Laterais		Fundo		Fundo		Média (mm)	Desvio Padrão	Coef. de variação
Média (mm)	Desvio Padrão	Coef. de variação	Média (mm)	Desvio Padrão	Coef. de variação	Média (mm)	Desvio Padrão	Coef. de variação	Média (mm)	Desvio Padrão	Coef. de variação			
Cuiabá	A	1	15,4	5,5	0,36	31,0	9,3	0,30	17,4	4,2	0,24	32,0	12,3	0,39
		2	13,2	4,3	0,32	23,4	8,0	0,34	7,5	2,7	0,37	24,8	12,0	0,49
		3	14,2	4,8	0,34	31,5	13,4	0,42	13,9	5,5	0,39	29,1	13,1	0,45
Porto Alegre	B	4	15,6	2,7	0,17	27,9	7,0	0,25	11,8	4,5	0,38	23,1	9,3	0,40
		5	10,9	3,4	0,31	19,8	8,9	0,45	10,3	3,9	0,38	25,1	9,8	0,39
		6	15,3	6,0	0,39	22,1	11,0	0,50	10,5	5,1	0,49	22,3	9,2	0,41
Porto Alegre	C	7	9,9	4,5	0,45	26,7	12,6	0,47	19,2	6,8	0,35	26,6	14,3	0,54
		8	15,7	4,6	0,29	24,7	7,7	0,31	11,8	4,2	0,36	24,0	9,0	0,37
		9	16,3	4,6	0,28	26,2	9,8	0,37	15,4	4,6	0,30	22,8	9,1	0,40

Nível de execução médio

Nível de execução baixo (segundo Andrade, 2001)

Os coeficientes de variação calculados em relação a média estão compreendidos entre 0,17 e 0,54, estando dentro da faixa encontrada por Andrade (2001), de 0,14 a 0,54. A partir dos dados coletados, é possível observar que todos os coeficientes de variação dos pilares e das laterais de viga, independente da obra, apresentam valores superiores a 0,30, resultando em uma alta dispersão. Apesar das obras estarem em conformidade com os coeficientes de variação apresentados por Andrade (2001), nota-se que nenhuma obra obteve uma constância de valores, como por exemplo, a obra 4 que altera o coeficiente de variação em 0,17 para lajes, chegando ao valor de 0,40 para pilares.

Além disso, o cobrimento mínimo é o valor que deve ser respeitado ao longo de todo elemento estrutural, estando consolidado como critério de aceitação em norma, ou seja, nenhum ponto medido deve estar abaixo do cobrimento nominal acrescido da tolerância de execução permitida em norma. Sendo assim, para uma melhor compreensão das medições, os valores mínimos e máximos de cada obra, para cada elemento estrutural foram destacados, como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10: Valor mínimo e máximo da espessura de cobrimento.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural									
			Laje		Viga				Pilar			
					Laterais		Fundo		Laterais (A;B)		Laterais (X;Y)	
Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo	
Cuiabá	A	1	4,0	23,0	16,0	49,0	11,0	28,0	6,0	56,0	5,0	63,0
		2	5,0	19,0	9,0	43,0	2,0	13,0	5,0	47,0	5,0	66,0
		3	3,0	22,0	8,0	58,0	5,0	23,0	10,0	55,0	5,0	60,0
	B	4	9,0	20,0	14,0	44,0	5,0	25,0	6,0	35,0	5,0	51,0
Porto Alegre	C	5	5,0	17,0	3,0	42,0	3,0	17,0	10,0	47,0	4,0	60,0
		6	5,0	27,0	6,0	43,0	3,0	27,0	9,0	40,0	5,0	39,0
		7	2,0	18,0	4,0	48,0	5,0	31,0	4,0	46,0	3,0	60,0
	D	8	8,0	25,0	12,0	46,0	3,0	20,0	14,0	44,0	5,0	45,0
		9	2,0	23,0	6,0	48,0	6,0	24,0	7,0	39,0	3,0	41,0

Medidas em mm

Inicialmente, nota-se que os valores mínimos ultrapassam o limite de tolerância de execução normatizado, atingindo valores preocupantes, abaixo de 5,0 mm. Sendo assim, em relação ao critério de aceitação proposto em norma para valores mínimos, nenhuma obra apresenta uma espessura de cobrimento suficiente nos elementos estruturais, contestando a especificação em projeto, em que todas as obras reduziram o valor do cobrimento nominal, alegando implicitamente possuir um controle rigoroso de execução.

Em medições de lajes, algumas obras apresentaram valores inferiores de forma pontual, entretanto as obras 2, 5 e 7 apresentaram os valores mínimos inferiores de forma generalizada ao longo dos elementos. As medições no fundo das vigas mostraram uma situação bastante crítica, ou seja, os valores da espessura de cobrimento insuficientes apresentaram-se de forma generalizada ao longo do elemento estrutural, prejudicando diretamente a durabilidade.

Nota-se que os valores mínimos e máximos encontrados nas faces laterais de vigas e pilares possuem uma grande diferença. Esta alta variabilidade em relação aos valores mínimos e máximos refere-se ao deslocamento da armadura, como mostrado na Figura 13. Desta forma, uma face apresentou um valor abaixo do especificado e conseqüentemente, a face oposta apresentou um cobrimento acima do informado em projeto. Apesar dos valores serem compensados no cálculo da média, o CV elevado mostra a variabilidade destas medições.

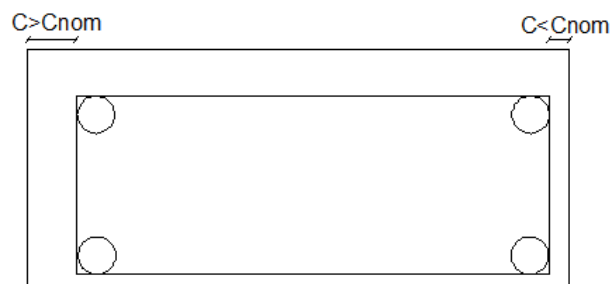


Figura 13: Armadura deslocada no interior do elemento estrutural.

A partir da situação exposta na figura 12, considerar os valores medidos nas laterais das vigas e pilares de forma conjunta seria incorreto. Sendo assim, estes resultados foram separados em valores mínimos e máximos e os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação foram recalculados, como mostram as Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11: Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para lajes e valores máximos e mínimos de vigas.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural											
			Laje			Viga								
						Laterais						Fundo		
			Valor mínimo			Valor máximo								
Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV			
Cuiabá	A	1	15,4	5,5	0,36	24,4	5,9	0,24	37,6	7,3	0,19	17,4	4,2	0,24
		2	13,2	4,3	0,32	17,3	4,3	0,25	29,4	6,0	0,20	7,5	2,7	0,37
		3	14,2	4,8	0,34	20,1	5,8	0,29	42,8	8,1	0,19	13,9	5,5	0,39
	B	4	15,6	2,7	0,17	22,6	4,4	0,19	33,3	4,5	0,13	11,8	4,5	0,38
Porto Alegre	C	5	10,9	3,4	0,31	13,7	4,9	0,36	25,8	8,0	0,31	10,3	3,9	0,38
		6	15,3	6,0	0,39	12,8	5,6	0,43	31,4	6,1	0,19	10,5	5,1	0,49
		7	9,9	4,5	0,45	16,5	8,7	0,52	36,9	5,7	0,15	19,2	6,8	0,35
	D	8	15,7	4,6	0,29	20,0	3,3	0,16	29,5	7,8	0,27	11,8	4,2	0,36
		9	16,3	4,6	0,28	18,8	6,0	0,32	33,5	6,9	0,21	15,4	4,6	0,30

Média em mm

Tabela 12: Valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação de valores máximos e mínimos de pilares.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural											
			Pilares											
			Laterais (A;B)						Laterais (X;Y)					
			Valor mínimo			Valor máximo			Valor mínimo			Valor máximo		
Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Cuiabá	A	1	25,8	7,8	0,30	37,1	8,6	0,23	22,5	7,2	0,32	42,7	12,6	0,30
		2	16,4	5,4	0,33	28,0	8,5	0,30	20,8	11,6	0,56	33,8	13,3	0,39
		3	21,9	7,1	0,32	34,7	8,1	0,23	17,6	8,3	0,47	42,4	10,9	0,26
	B	4	18,2	5,5	0,30	25,4	5,1	0,20	15,3	6,8	0,45	33,6	6,4	0,19
Porto Alegre	C	5	18,3	3,7	0,20	29,4	7,0	0,24	18,6	6,8	0,36	35,9	12,2	0,34
		6	18,5	4,0	0,22	30,7	5,0	0,16	10,5	3,8	0,36	32,0	6,2	0,20
		7	15,2	5,6	0,37	29,3	8,1	0,28	17,5	9,6	0,55	44,5	9,7	0,22
	D	8	18,6	3,4	0,19	26,1	6,7	0,26	16,8	6,0	0,36	33,6	6,6	0,19
		9	18,7	4,5	0,24	29,1	6,1	0,21	13,7	7,1	0,51	29,7	6,7	0,23

Média em mm

Os valores obtidos foram submetidos aos testes de normalidade Kolmogorev-Smirnov (K-S) e Jarque-Bera (J-B), não apresentando evidências de que a distribuição não seja normal, para um nível de significância de 5%. Os resultados destes testes, para lajes, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Resultados dos testes de normalidade das medições realizadas em lajes

Cidade	Empresa	Obra	Laje					
			K-S (D_{30})	Valor - p	Normalidade	J-B (JB)	Valor - p	Normalidade
Cuiabá	A	1	0,174	> 20%	SIM	2,967	22,7%	SIM
		2	0,104	> 20%	SIM	1,742	41,9%	SIM
		3	0,199	> 10%	SIM	4,601	10,0%	SIM
	B	4	0,141	> 20%	SIM	3,715	15,6%	SIM
Porto Alegre	C	5	0,114	> 20%	SIM	1,588	45,2%	SIM
		6	0,097	> 20%	SIM	0,984	61,2%	SIM
		7	0,152	> 20%	SIM	1,346	51,0%	SIM
	D	8	0,097	> 20%	SIM	0,853	65,3%	SIM
		9	0,190	$\geq 20\%$	SIM	4,428	10,9%	SIM

Considerando a curva normal, foram encontrados os cobrimentos característicos mínimo e máximo, a partir das medições. Esses valores correspondem à mesma definição dada para a resistência característica do concreto, ou seja, o valor tal que existe uma probabilidade de 5% de se obter valor inferiores ou superiores igualmente, conforme Figura 14. Por ser uma grandeza nova, utilizado em outro conceito, há liberdade de ser discutida. Embora a probabilidade de 5% é um valor usual, utilizado tanto para concreto e para aço, e assim, um valor inferior seria considerado rígido.

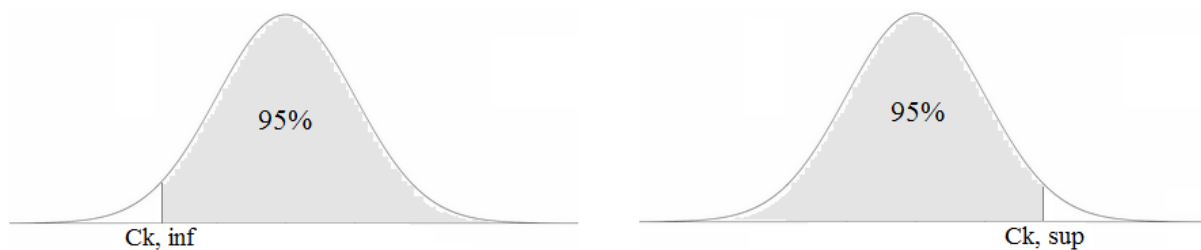


Figura 14: Faixa de probabilidade de ocorrência de dados.

O cobrimento característico inferior é o valor em relação ao qual 95% dos resultados de cobrimento efetivo são superiores, enquanto o cobrimento característico superior é o valor em relação ao qual 95% dos resultados de cobrimento efetivo são inferiores. Os resultados encontrados estão indicados na Tabela 14.

Tabela 14: Cobrimento característico inferior e superior dos elementos estruturais.

Cidade	Empresa	Obra	Elemento Estrutural									
			Laje		Viga				Pilar			
					Laterais		Fundo		Laterais (A;B)		Laterais (X;Y)	
			C _{min}	C _{máx}	C _{min}	C _{máx}	C _{min}	C _{máx}	C _{min}	C _{máx}	C _{min}	C _{máx}
Cuiabá	A	1	6,4	24,4	14,7	49,5	10,5	24,3	13,0	51,3	10,7	63,5
		2	6,1	20,3	10,2	39,3	3,1	11,9	7,6	42,0	1,8	55,7
		3	6,3	22,1	10,6	56,0	4,9	22,9	10,2	48,0	3,9	60,3
	B	4	11,2	20,0	15,4	40,7	4,4	19,2	9,1	33,7	4,1	44,2
Porto Alegre	C	5	5,3	16,5	5,7	38,9	3,9	16,7	12,3	40,9	7,5	55,9
		6	5,4	25,2	3,7	41,4	2,1	18,9	11,9	39,0	4,3	42,3
		7	2,5	17,3	2,3	46,2	8,0	30,4	6,0	42,7	1,7	60,4
	D	8	8,1	23,3	14,6	42,4	4,9	18,7	12,9	37,1	6,8	44,4
		9	8,7	23,9	9,0	44,9	7,8	23,0	11,3	39,2	2,1	40,7

Valores em mm.

A partir do cálculo nota-se que os valores de cobrimento encontram-se em faixas com variação maior que 10 mm, tolerância que a norma indica para obtenção do cobrimento nominal. Os valores inferiores mais críticos são para fundo de vigas que variam entre 2,1 a 10,5 mm e também para lajes, onde a variação dos valores mínimos é de 2,5 a 11,2 mm.

Para os valores máximos, nota-se que as laterais das vigas e pilares apresentaram um valor elevado em relação ao cobrimento especificado. Como já exposto na revisão bibliográfica, o valor da espessura de cobrimento superior ao projetado afeta diretamente a segurança estrutural.

Com base nos dados da tabela 14, a diferença entre os valores máximos e mínimos para os elementos estruturais foram calculadas e estão expostas na Tabela 15. Nota-se que a maior diferença entre valores (superior - inferior) para os elementos estruturais está em medições realizadas em pilares, com faixas que atingem mais de 50 mm.

Tabela 15: Diferença entre cobrimentos efetivos inferiores e superiores dos elementos estruturais.

Cidade	Empresa	Obra	Cob. Superior - Cob. Inferior (mm)				
			Laje	Viga		Pilar	
				Laterais	Fundo	Laterais (A;B)	Laterais (X;Y)
Cuiabá	A	1	18,1	34,8	13,8	38,2	52,8
		2	14,1	29,1	8,9	34,4	53,9
		3	15,8	45,4	18,1	37,8	56,3
	B	4	8,9	25,3	14,8	24,7	40,2
Porto Alegre	C	5	11,2	33,2	12,8	28,6	48,4
		6	19,7	37,7	16,8	27,0	38,0
		7	14,8	43,9	22,4	36,7	58,7
	D	8	15,1	27,8	13,8	24,2	37,6
		9	15,1	35,9	15,1	27,9	38,6

Analisando os requisitos propostos pela NBR 6118 (ABNT, 2014) e comparando-os com resultados obtidos, pode-se afirmar que como as faixas de variação são muito superiores ao permitido em norma (10 mm), torna-se temerária a redução de 5 mm já que não existe nenhuma exigência normativa detalhada quanto ao controle de execução rigoroso.

Sendo assim, é possível colocar que os valores de cobrimento estão fora dos limites (cobrimento mínimo - cobrimento nominal) de tolerância permitidos pela norma, gerando assim, resultados insatisfatórios e preocupação quanto à durabilidade da estrutura.

5 CARGAS ATUANTES SOBRE ARMADURA

No decorrer da pesquisa bibliográfica, realizada para este estudo, identificaram-se lacunas relacionadas à influência de cargas atuantes sobre as armaduras durante a concretagem e a atuação dos espaçadores, não sendo encontrado nenhum estudo respectivo. Em referências normativas nacionais, somente a NBR 6120 (ABNT, 1980) faz alusão ao carregamento em estruturas de edificações, entretanto os valores são disponíveis para cargas de serviço, não possuindo nenhuma referência aos valores de cargas atuantes durante a execução dos elementos estruturais.

Desta forma, buscou-se acompanhar a execução de lajes em concreto armado, analisando alguns aspectos que pudessem influenciar o alcance do cobrimento, como por exemplo, a colocação dos espaçadores, o volume de concreto vertido sobre a armadura, a quantidade e a movimentação de trabalhadores durante a operação.

Não foi possível o acompanhamento em todas as empresas participantes do Capítulo 4, devido, em parte, à finalização de execução dos elementos estruturais, e à restrição ao acesso durante a concretagem em relação à apresentação da NR 35 por questões de segurança. A Figura 15 apresenta as concretagens na quais em que o acompanhamento foi permitido.



Figura 15: Acompanhamento de execução: a);b) Concretagem de laje em Cuiabá/MT; c) Trabalhador distribuindo espaçadores aleatoriamente; c);d) Concretagem de laje em Porto Alegre/RS.

5.1 CARGA REFERENTE AO VOLUME DE CONCRETO FRESCO

O procedimento consistiu em conferir se o volume do concreto fresco exerce carga sobre a armadura, ou seja, se durante a concretagem das lajes maciças o peso do concreto fresco despejado sobre a malha causa alguma deformação, e assim, deve ser considerado na definição da distribuição dos espaçadores. O método de teste foi concebido a partir do acompanhamento em obra e das possibilidades laboratoriais disponíveis, não sendo adaptado de outras metodologias.

5.1.1 Procedimento experimental

Para testar o peso gerado pelo volume de concreto sobre as armaduras durante o lançamento, foi confeccionada uma malha de 10 cm de abertura, espaçamento mínimo usualmente recomendado para armadura positiva (CAMPOS FILHO, 2014), com todas as interseções amarradas com arame recozido, composta por barras de aço de 100 cm de comprimento e 12,5 mm de diâmetro. Este conjunto foi escolhido para exemplificar uma situação crítica, na qual a malha de armadura apresenta uma maior superfície de obstrução em projeção horizontal, constituindo então, um maior bloqueio ao concreto em estado fresco no preenchimento da fôrma. O tamanho da malha (100 cm x 100 cm) foi concebido de forma a obter-se o comportamento do volume do concreto fresco no ponto central, permitindo o despejo do concreto fresco com maior facilidade, considerando os limites laboratoriais.

Cada extremidade da armadura foi suspensa, através de ganchos e correntes, e presa na outra extremidade por um dinamômetro com capacidade de 40 kg e com 10 g de precisão. A fôrma foi confeccionada com dimensões de 110 cm x 110 cm por 15 cm de altura, de modo a permitir a colocação da malha de aço seguida da aplicação do concreto em situações semelhantes às observadas em campo. Além da fôrma, foram confeccionados cavaletes em madeira com 80 cm de altura, para que os dinamômetros fossem apoiados, como mostra a Figura 16. A construção do protótipo para o ensaio está apresentada na Figura 17.

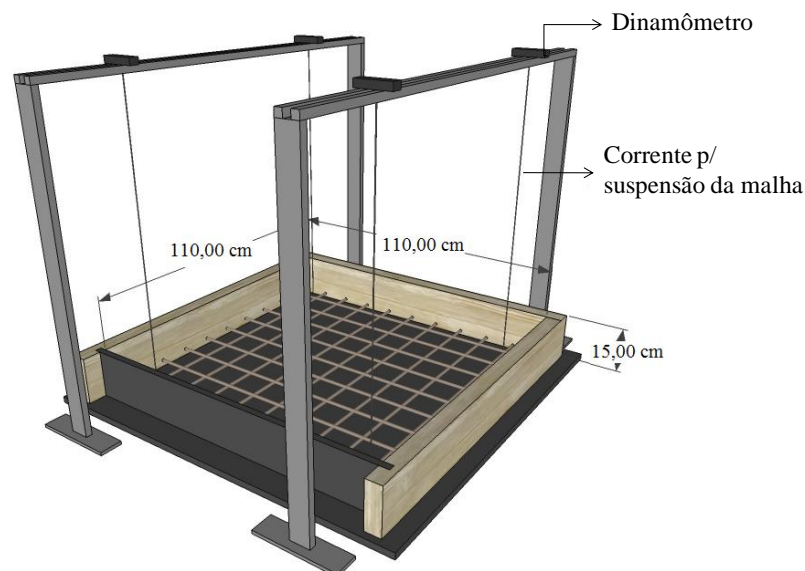


Figura 16: Esquema de ensaio para carga de concreto fresco.



Figura 17: Protótipo executado para ensaio de concreto fresco.

O ensaio consistiu basicamente em colocar, com o auxílio de um carrinho de mão, todo o volume de concreto fresco, correspondente ao preenchimento da fôrma, sobre as armaduras e em seguida, vibrá-lo para uma melhor acomodação do mesmo. A malha de armadura estava suspensa a 5 cm de altura em relação ao fundo da fôrma, espaço suficiente para a acomodação do concreto fresco e impedimento do contato armadura/fôrma. A vibração foi executada com auxílio de vibrador por imersão, tomando-se cuidado para a agulha não encostar nas armaduras e utilizado verticalmente, no intervalo de tempo necessário para o adensamento.

A principal característica do concreto solicitada para a realização deste ensaio foi seu abatimento, fixado em 80 mm (± 10 mm), pois apesar de possuir menor trabalhabilidade ainda permite a utilização na estrutura. A consistência foi escolhida por proporcionar maior retenção de volume de concreto, combinado com a menor abertura da malha e representando a situação mais crítica em termos de carregamento. O teste de abatimento foi executado conforme norma NBR NM 67 (ABNT, 1998), pelo método tronco de cone (*slump test*), conforme Figura 18a.

O concreto utilizado foi produzido em betoneira de queda 380 litros, com traço de 1: 3,5: 5,0 (cimento: areia: brita) e composição com materiais comumente utilizados na construção civil como o cimento tipo CP IV, areia média quartzosa e brita 1.

Como o ensaio teve cinco repetições, o concreto fresco foi reutilizado. Para isso, fez-se o uso de aditivo retardador de pega conforme as recomendações do fabricante em 0,2% em relação à massa de cimento. A cada repetição, o concreto fresco foi novamente misturado na betoneira e teve o abatimento corrigido com adição de água, como mostra a Tabela 16

Tabela 16: Abatimento e relação a/c do concreto

Aplicação	Abatimento (mm)	Relação a/c
1	75	0,33
2	70	0,37
3	70	0,40
4	85	0,42
5	75	0,42

A leitura durante todo o processo, em cada um dos quatro dinamômetros, foi registrado por vídeo. Na sequência, o concreto era retirado com auxílio de pá, e a fôrma e a malha eram limpas, com auxílio de pá e água respectivamente, para que uma nova aplicação fosse executada. O processo repetiu-se 5 vezes, a fim de verificar a variabilidade das medições.

Por meio de gravação do ensaio, foi possível obter informações sobre o comportamento da armadura desde o peso gerado pela colocação do concreto até a vibração do mesmo, como exposto nas Figura 18 b, c e d.

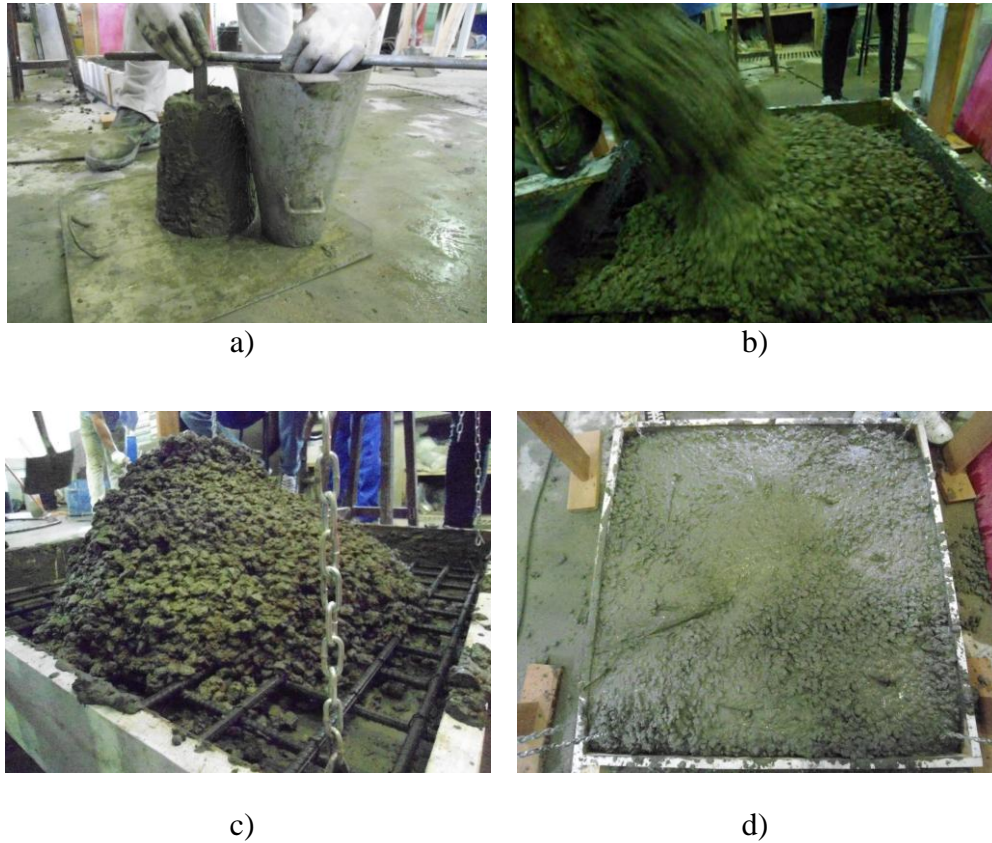


Figura 18: Procedimento da simulação experimental: a) teste de abatimento; b) despejo do concreto fresco; c) volume de concreto sobre armadura; d) concreto vibrado.

Para este trabalho, os maiores valores registrados em vídeo foram somados. A média desta soma foi dividida pelo comprimento total das barras, gerando assim, o valor da carga uniformemente distribuída por unidade de comprimento. Este valor representa o efeito do concreto em estado fresco quando vertido sobre as armaduras.

5.1.2 Análise de resultados

Os valores máximos registrados em cada dinamômetro estão expostos na Tabela 17, junto com o somatório.

Tabela 17: Pesos máximos registrados em ensaio

Aplicação concreto fresco	Dinamômetros ¹⁾				
	1	2	3	4	Σ pesos
1	15,66	11,96	18,48	12,32	58,42
2	14,58	15,42	17,49	9,24	56,73
3	17,54	13,36	12,28	14,80	57,98
4	17,38	11,86	10,86	17,54	57,64
5	15,22	15,05	14,24	14,14	58,65
Média	57,88				

1) peso em kg.

Os valores individuais em cada dinamômetro não são uniformes, pois dependem da distribuição espacial do concreto vertido sobre a armadura, que não é homogêneo. Nota-se que os maiores valores foram registrados nos dinamômetros 1 e 3, por estes estarem mais próximos do ponto de aplicação do concreto fresco. Ainda durante o procedimento, foi observado que os valores registrados nos dinamômetros cresciam durante a aplicação do concreto fresco até atingir o valor máximo, em seguida os valores diminuía com o começo do processo de vibração do concreto, os valores registrados nos dinamômetros reduziam consideravelmente, em todas as aplicações, chegando a valores menores que 5 kg. Isto ocorre devido ao envolvimento e acomodação do concreto fresco em torno da malha de armadura.

Para finalidade de cálculo, as barras de aço do perímetro da malha foram consideradas com a metade de dimensão, já que em situação real, a carga sobre estas barras seria dividida com a malha ao lado. A carga uniformemente distribuída sobre as barras de aço, foi calculada conforme equação 1:

$$C = \frac{\text{média somatório}}{\text{comprimento total}} \quad (\text{equação 1})$$

$$C = \frac{57,88}{20}$$

$$C = 2,89 \text{ kg/m ou } 0,0289 \text{ kg/cm}$$

Este valor representa a pior situação de carga sobre a malha de armadura, pois outra armadura composta por barras de menores diâmetros e maior abertura entre as barras proporciona menor bloqueio do concreto e conseqüentemente menores cargas.

Para carga distribuída uniformemente do concreto fresco sobre armadura de 12,5 mm de diâmetro, o momento positivo resultante é de 13,2 Kgf.cm, valor insignificante se comparado ao momento de plastificação inicial (958,74 Kgf.cm) e plastificação total da barra (1.550,72 Kgf.cm).

Para fins de deformação permanente das armaduras e consequente redução do cobrimento, tal carga pode ser desprezada frente ao peso de um único operário (100 kgf) apoiado sobre uma única barra de armadura.

5.2 CARREGAMENTO ACIDENTAL

O carregamento acidental considerado neste trabalho está correlacionado à movimentação dos trabalhadores sobre a armadura durante a execução de lajes maciças em concreto armado. Takata (2009) descreve que no ambiente de obra, somente ocorre um cuidado com o fluxo de materiais. Entretanto, a movimentação dos trabalhadores é fator importante, pois influencia no posicionamento da armadura, uma vez que o choque na malha de aço provoca o seu deslocamento dentro das fôrmas, além da retirada do espaçador não fixado da sua posição original, ocasionando a deformação das armaduras.

A única citação referente à carga acidental durante a concretagem está no item 18.8.4 da norma regulamentadora NR 18 (2011), que traz como obrigatória a colocação de pranchas de madeira firmemente apoiadas às armações nas fôrmas, para a circulação de operários. Apesar da referência a este processo, a norma esboça somente a preocupação com a saúde dos trabalhadores. Tecnicamente, a melhor forma de colocação das plataformas seria se estas estivessem apoiadas sobre as fôrmas, com o objetivo de não interferir no deslocamento e na deformação das armaduras. Embora exista uma regulamentação quanto à colocação de um caminho apropriado para o tráfego de pessoas e materiais, não é esta situação que ocorre durante as concretagens, conforme mostrado na Figura 15 e Figura 19.



Figura 19: Tráfego sobre laje durante a concretagem (Fonte: Equipe de Obra).

As cargas utilizadas condizem com o observado em obras, e foram arbitradas para a configuração deste trabalho, sendo possíveis outras formas de aplicação em outros processos. O peso estipulado para o operário equivale 1.000 N, correspondendo a aproximadamente 100 kg de massa, distribuído igualmente por uma superfície de apoio correspondente à planta dos sapatos, idealizada como um retângulo de 10 x 30 cm por pé. Desta forma, dois diferentes carregamentos uniformemente distribuídos foram aplicados a uma distância de 2 cm da interseção entre as barras do ponto central da malha na qual está aplicado um espaçador.

Avaliou-se o efeito que somente um operário causa sobre a armadura, sendo assim, testaram-se as possibilidades do operário caminhando, sendo todo o peso concentrado em um único pé (1000 N em 10 cm), e parado sobre a armadura, peso distribuído em dois pés (2 x 500N em 10cm), como mostra a Figura 20 e Figura 21.

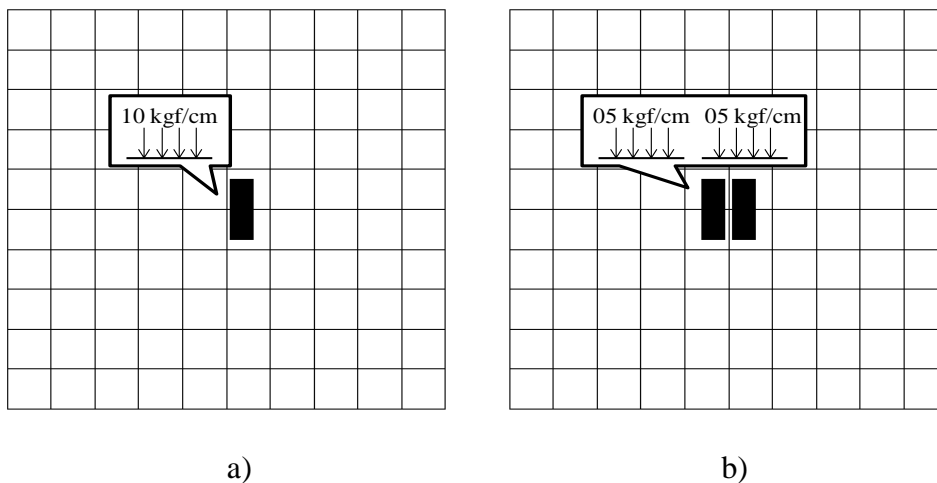


Figura 20: Aplicação de carregamento acidental sobre armadura: a) operário caminhando; b) operário parado.

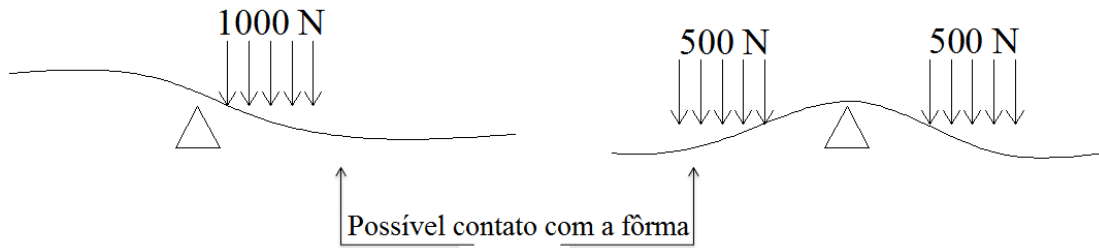


Figura 21: Aplicação de carga representativa

A carga decorrente do peso do operário foi devidamente distribuída sobre a malha em relação a abertura das barras de aço. Como mostra a Figura 22, a superfície de apoio (planta do pé; 10x30 cm) do operário atinge diferentes áreas conforme a configuração da malha, como por exemplo, para a malha com abertura de 10 cm, a aplicação da carga deixa de ser sobre 10 cm lineares, passando para um comprimento maior.

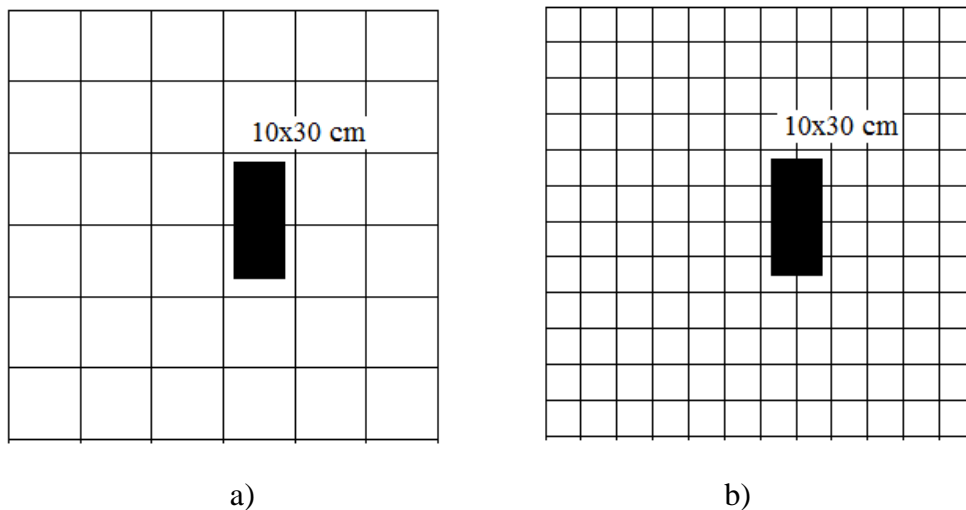


Figura 22: Área de alcance da carga aplicada: a) malha com espaçamento de 20 cm; b) malha com espaçamento de 10 cm.

Após a definição da carga acidental representativa, as simulações experimental e computacional de aplicação de carga sobre a armadura foram iniciadas, possibilitando a análise de deformação de diversos conjuntos de armaduras.

6 EFEITO DO CARREGAMENTO DE EXECUÇÃO SOBRE A DEFORMAÇÃO DA ARMADURA

A análise do efeito da aplicação de carga acidental sobre a armadura foi dividida em duas etapas: a simulação computacional, que permite uma visão abrangente do efeito e a definição das armaduras mais críticas, e a simulação experimental, que permite a mensuração da deformação permanente das barras de aço e o comportamento da armadura, validando ou não a simulação computacional.

6.1.1 Simulação computacional

A simulação computacional foi gerada a partir do método dos deslocamentos utilizando o modelo de grelha. A modelagem da estrutura é dada a partir da definição de sua forma geométrica, sua vinculação (restrições) e os carregamentos impostos à estrutura (CENTAURUS, 1993).

O método apresenta algumas limitações, mostrando-se eficaz no regime elástico-linear das barras submetidas ao carregamento acidental. Entretanto, quando a armadura apresenta início de plastificação, em função dos momentos, o modelo de grelha não reproduz fielmente este comportamento das barras. Sendo assim, a simulação não pôde ser utilizada como ferramenta de previsão das deformações, e sim, como indicativo de quais conjuntos submetidos a carga acidental sofreriam maior plastificação de armadura.

O modelo de grelha considera uma união rígida entre as barras havendo acoplamento entre torção e flexão. Contudo, malha de armaduras formada por barras de aço independentes não possui uma ligação rígida entre os pontos de cruzamento, apenas um acoplamento dos deslocamentos verticais, uma vez que a vinculação das barras é somente o contato entre elas e a amarração empregada (usualmente, arame recozido). Para contemplar tal característica no modelo de grelha, a rigidez torcional das barras foi reduzida a valores próximos de zero, muito inferior ao valor real de rigidez. Sem tal artifício, o modelo computacional seria equivalente a uma tela soldada.

Todas as malhas foram formuladas com dimensão de 200 cm x 200 cm, de modo a permitir uma análise do comportamento das armaduras no entorno do espaçador central.

O primeiro dado escolhido para início da simulação foi o afastamento entre as barras de aço da malha. Em todas as montagens, levou-se em consideração as conectividades entre as

interseções das barras de aço, ou seja, todos os nós foram considerados como se fossem amarrados em caso real.

A análise estrutural considerou alguns fatores que podem interferir na obtenção do cobrimento especificado em projeto, como: o tipo do aço, o diâmetro da barra, a distribuição dos espaçadores, a abertura da malha de armadura, as cargas geradas durante a execução do elemento estrutural e cobrimento normalizado de projeto, incluindo as tolerâncias normativas de execução, como mostra a Tabela 18.

Tabela 18: Fatores de possível influência no cobrimento.

Fatores analisados	Níveis	Unidades
Tipo de aço:	CA 60 e CA50	
Diâmetro das barras:	4,2 ; 5,0 ; 6,0; 6,3 ; 8,0 ; 10,0	mm
Distribuição do espaçador:	50 ϕ ; Médio; 100	cm
Abertura da malha:	20; 15; 10	cm
Carregamento:	10 e 05	kgf/cm
Cobrimento:	10; 15; 20; 25; 35; 45	mm

O diâmetro e a abertura da malha, assim como a amarração entre os pontos de interseção, interferem diretamente na rigidez do conjunto e, portanto, na forma como as armaduras sofrerão deformações sob a ação das cargas de execução.

O cobrimento de projeto, ou a altura do espaçador utilizado, influi sobre as deformações permanentes que possam ser provocadas sobre as armaduras, uma vez que, para malhas pouco rígidas, a deformação elástica pode provocar o contato da armadura com a fôrma. Nestas condições, quanto maior a distância inicial entre as armaduras e a fôrma (maior o tamanho do espaçador utilizado), maior a chance de ocorrerem deformações permanentes das armaduras com cargas de execução aplicadas em pontos próximos dos espaçadores. Os cobrimentos considerados na simulação englobam os valores disponíveis na tabela normatizada da NBR 6118 (ABNT, 2014), junto com a tolerância de execução permitida pela mesma norma.

Por conseguinte, os apoios sob a malha foram selecionados simulando os espaçadores plásticos. Como critério de simulação foram escolhidos os distanciamentos dos espaçadores de acordo com a abertura da malha, para que o apoio ficasse colocado abaixo da interseção das barras de aço. Entre as opções de espaçamento entre apoios, considerou-se a recomendação normativa do CEB (1990) e BS 7973-2 (2001), de distanciamento mínimo de 50 \emptyset . Sendo assim, todos os diâmetros de barras utilizados foram testados desde a

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado.

recomendação mínima de espaçamento para o menor diâmetro, até o espaçamento máximo de 100 cm. A distribuição dos espaçadores em relação à abertura da malha foi concebida conforme Tabela 19:

Tabela 19: Distribuição dos espaçadores em relação a abertura da malha de armadura.

Abertura da malha (cm)	Distribuição dos espaçadores (cm)				
20	20	40	60	80	100
15	30	45	60	75	105
10	20	40	60	80	100

A fim de simular o possível problema de contato das armaduras sob cargas de execução com a fôrma, o seguinte procedimento foi utilizado. A análise de resultados iniciou-se pela verificação, para cada cobrimento utilizado, dos deslocamentos da armadura gerados pela aplicação da carga. Caso este deslocamento fosse inferior a espessura de cobrimento, significava que a armadura não encosta na fôrma. Caso fosse superior, as armaduras encostavam na fôrma, propiciando um possível apoio às barras de aço, e conseqüentemente a modificação dos momentos, podendo este, impedir a plastificação da armadura. Para solução, foram adicionados outros apoios com descolamento prescrito igual ao do cobrimento que não permitissem a malha encostar na fôrma. Os pontos com descolamentos impostos foram definidos através de método iterativo.

Outro resultado analisado foram as reações causadas pela carga aplicada. Caso uma reação de tração fosse identificada entre os nós (pontos), o apoio era retirado do sistema, pois em situação real o espaçador estaria tombado, não desempenhando sua função. Além disso, o espaçador não está preso à fôrma, tornando-se um vínculo incompleto e permitindo o deslocamento de baixo para cima.

A tomada de decisão em relação ao comportamento das barras submetidas ao carregamento e os respectivos apoios durante a simulação, em relação ao deslocamento e reação de tração exemplificadas. A Figura 23 (a) representa a fôrma com os espaçadores distribuídos sem estar submetida ao carregamento, e conseqüentemente com o cobrimento garantido. Após a aplicação de carga, no primeiro trecho o deslocamento da armadura é superior a espessura de cobrimento, por conseguinte, o espaçador possui uma reação de tração (Figura 23 b). Por fim, a solução adotada em ambos os casos está representada na Figura 23 (c).

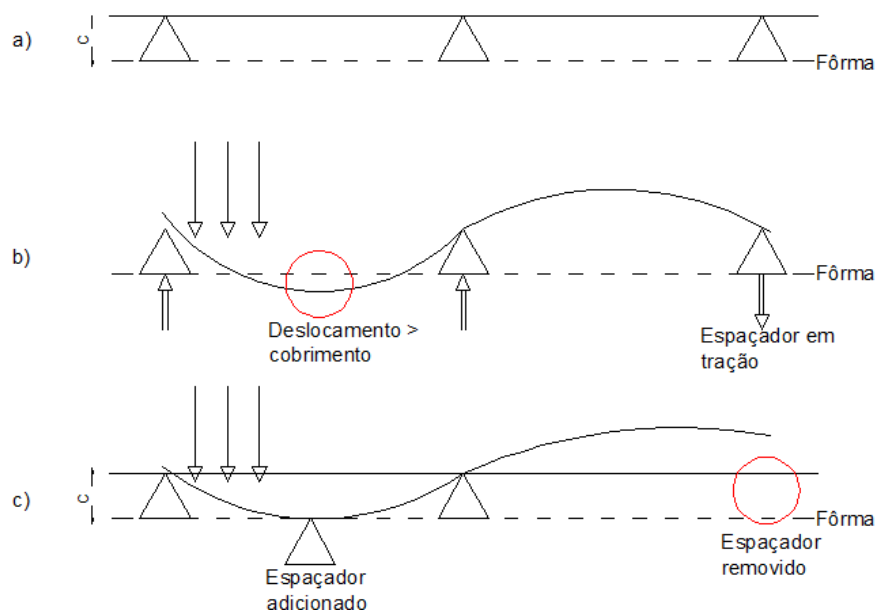


Figura 23: Comportamento em relação à carga: a) distribuição de espaçadores; b) aplicação da carga e situações decorrentes ao deslocamento e reação; c) solução adotada.

O resultado da simulação também possibilita visualizar a deformação da malha, em uma escala exagerada com objetivo de tornar visíveis os deslocamentos nodais, sendo possível comparar o efeito da carga sobre a armadura em relação ao diâmetro das barras de aço, como mostrado na Figura 24, na qual a mesma carga relacionada ao operário em movimento é aplicada à armadura.

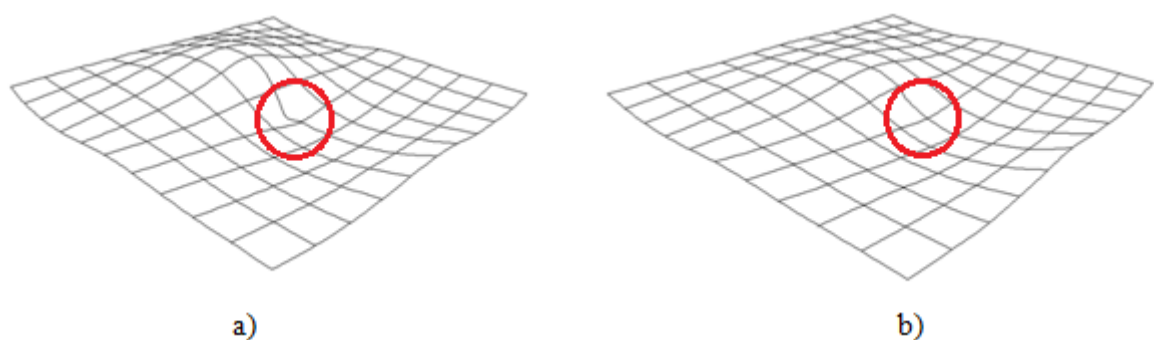


Figura 24: Deformação gerada pela movimentação de operário na armadura: a) \varnothing 4,2 mm; b) \varnothing 8,0 mm.

Posteriormente, os momentos fletores positivos e negativos gerados são comparados com o momento fletor limite de plastificação da barra. Momentos aplicados superiores ao momento limite representam plastificação das armaduras, deformações permanentes e a diminuição do cobrimento nominal de projeto.

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado.

Diante da comparação necessária entre os momentos fletores decorrentes do carregamento e da armadura, calcularam-se os momentos fletores de plastificação inicial e plastificação total para cada diâmetro das barras de aço, através das equações 2 e 3:

$$M_{PI} = (\pi R^3/4) \cdot \sigma_e \quad (\text{equação 2})$$

$$M_{PT} = (4R^3/3) \cdot \sigma_e \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

M_{IP} = Momento de plastificação inicial;

M_{PT} = Momento de plastificação total;

σ_e = Tensão de escoamento do aço;

R = Raio da barra de aço.

Sendo assim, o momento fletor indicativo a cada diâmetro de barra e ao tipo de aço está apresentado na Tabela 20.

Tabela 20: Momento fletor relacionado ao diâmetro da barra.

Diâmetro	Momento fletor (KN.cm)	
	M_{PI}	M_{PT}
(CA 60) Ø 4,2	43,64	74,09
(CA 60) Ø 5,0	73,63	125,0
(CA 60) Ø 6,0	127,23	216,0
(CA 50) Ø 6,3	122,74	208,37
(CA 50) Ø 8,0	251,33	426,67
(CA 50) Ø 10,0	490,8	833,33

A plastificação inicial da barra de aço indica o momento em que a aplicação do carregamento gerado pelo operário resulta em um começo de deformação permanente. Um único ponto da seção alcança a tensão de escoamento, e o restante da seção permanece no regime elástico linear, qualquer momento superior a este provoca deformações permanentes, além das elásticas. O momento de plastificação total da barra de aço define o limite de resistência da barra, ou seja, quando o carregamento aplicado é superior a este valor a barra de aço sofre deformações permanentes sem limite em flexão, transformando o ponto mais solicitado em uma rótula plástica.

Perante a comparação entre o momento fletor da carga e das barras de aço, têm-se as seguintes condições:

- a) $M_{\text{carga}} < M_{\text{PI}}$ = Regime elástico
- b) $M_{\text{carga}} > M_{\text{PT}}$ = Plastificação total da seção

Onde:

M_{carga} = Momento gerado pela aplicação de carga accidental;

M_{IP} = Momento de plastificação inicial;

M_{PT} = Momento de plastificação total;

Buscou-se, ainda, verificar a porcentagem de transição entre os momentos fletores de plastificação inicial e plastificação total da barra de aço (equação 4), para analisar o comportamento da armadura em relação à espessura de cobrimento e à distribuição de espaçadores durante a aplicação da carga accidental. Sendo assim, têm-se:

$$\% \text{ plastificação} = \frac{M_{\text{carga}} - M_{\text{PI}}}{M_{\text{PT}} - M_{\text{PI}}} \times 100 \quad (\text{equação 4})$$

Os diagramas representativos dos momentos fletores de plastificação inicial e total são apresentados na Figura 25.

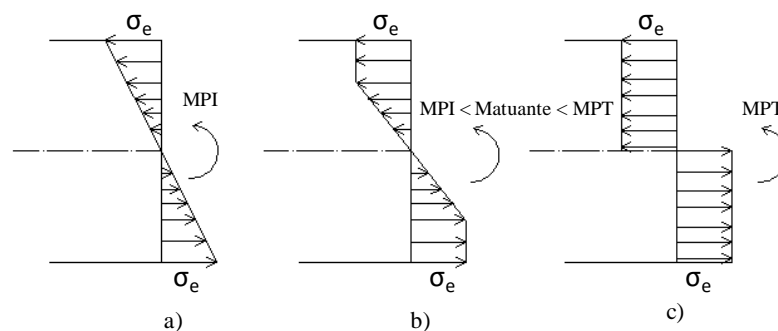


Figura 25: Diagrama de momento: a) Momento de plastificação inicial; b) Momento de transição; c) Momento de plastificação total.

Um resumo de todos processos realizados para obtenção da simulação computacional estão demonstrados através do fluxograma apresentado na Figura 26.

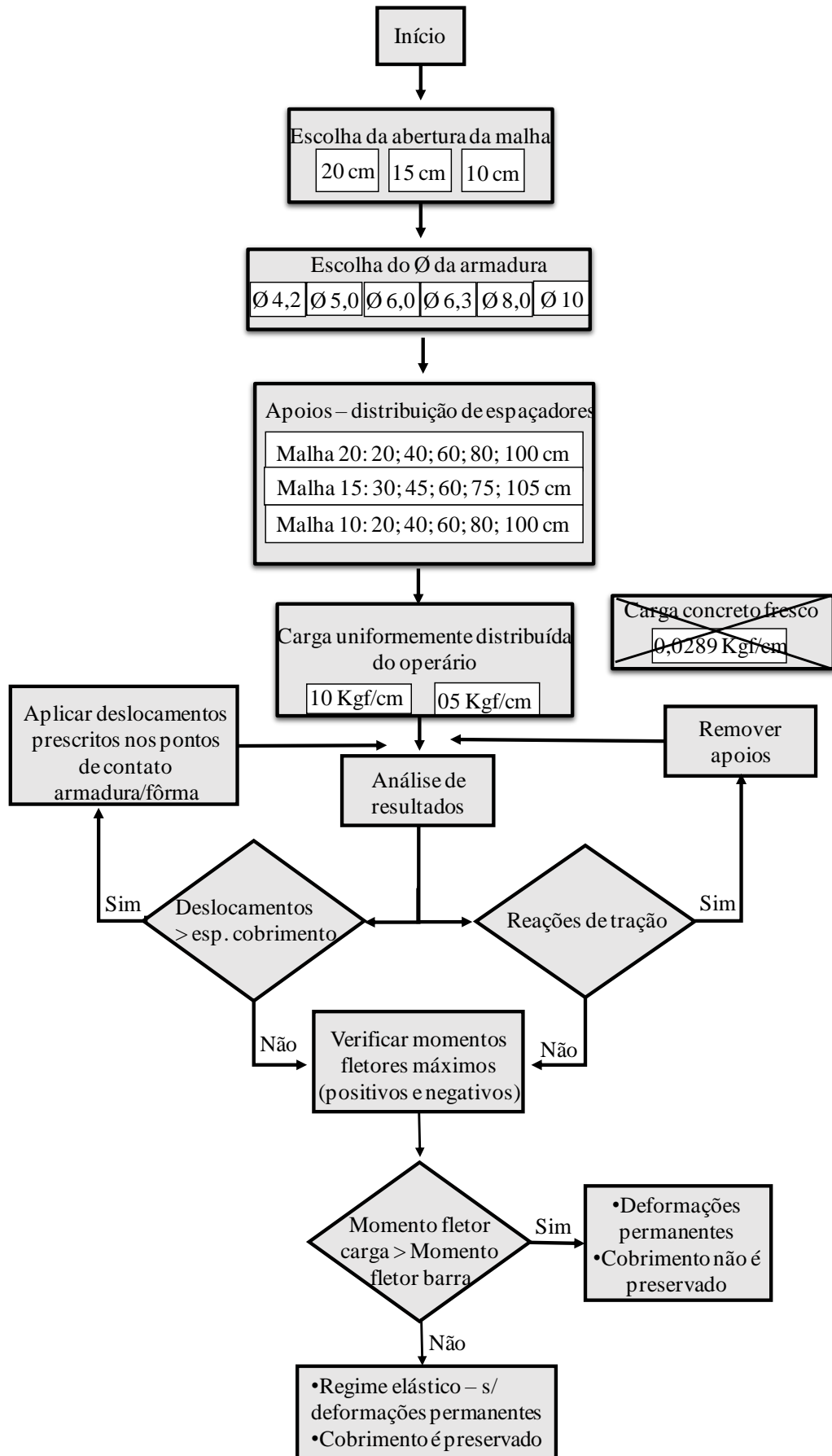


Figura 26: Processos da simulação computacional.

6.1.2 Simulação experimental

Apesar da simulação computacional fornecer informações fundamentais para o conhecimento do comportamento da armadura, pelo fato de ter sido realizada uma análise elástico-linear, ainda não é conhecida quantitativamente a deformação da barra de aço, ou a relação entre o percentual de plastificação e a deformação permanente gerada.

Desta forma, alguns diâmetros críticos, cuja aplicação da carga resultou em um momento fletor superior ao máximo da barra de aço em todos os níveis dos fatores simulados, como no caso das armaduras com diâmetro de 4,2 mm e 5,0 mm, e outros que obtiveram momentos fletores próximos do momento máximo da barra de aço (armaduras com diâmetro de 6,3 mm e 8,0 mm) foram testados de forma experimental em laboratório, a fim de validar os resultados da simulação.

Para isso, malhas de armaduras foram montadas com as mesmas dimensões da simulação computacional (200 cm x 200 cm), e com abertura de 20 cm entre as barras de aço (situação mais crítica). Dentre as distribuições de espaçadores, foram escolhidos o distanciamento mínimo de 20 cm, um mediano de 60 cm e o máximo de 100 cm para todas as malhas, como mostrado na Figura 27. O cobrimento para todas as simulações foi de 3,0 cm, pois permite um maior deslocamento das barras durante o ensaio.

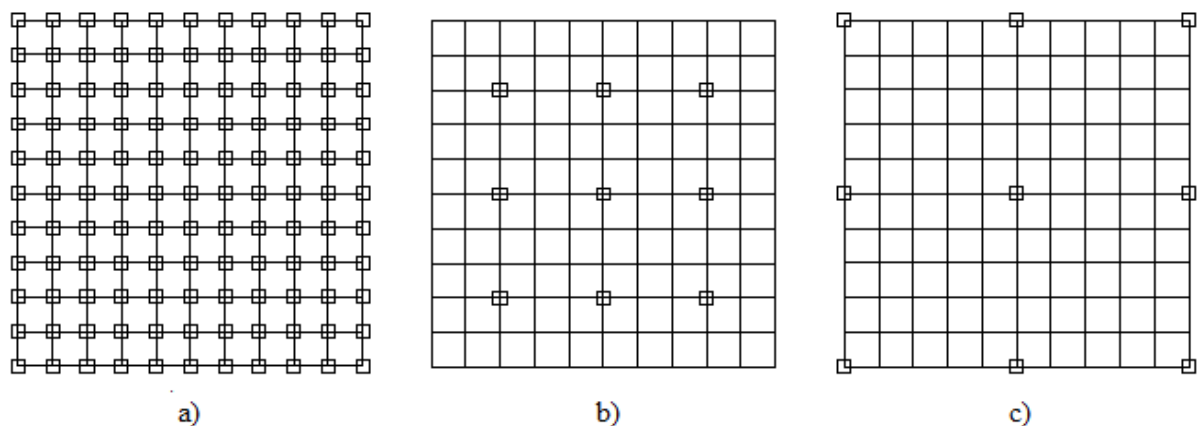


Figura 27: Distribuição dos espaçadores: a) 20cm; b) 60cm; c) 100cm.

Espaçadores de ensaio

Através da avaliação de diferentes espaçadores plásticos existentes no mercado, Menna Barreto (2014) apresenta a ineficiência do modelo cadeirinha sem clipe quanto à capacidade de resistir à carga exigida. Sendo assim, para fins deste teste, foram confeccionados

espaçadores em madeira do tipo pinus para garantir maior rigidez. Os espaçadores de ensaio foram produzidos com dimensões de 30 mm x 30 mm e tolerância dimensional normatizada de ± 1 mm (CEB, 1990; BS 7973-1, 2001), verificadas com auxílio de paquímetro digital, conforme Figura 28.



Figura 28: Dimensões dos espaçadores (30 ± 1 mm).

Além da confecção, um teste de carga e deformação foi feito em alguns espaçadores em diferentes sentidos da fibra da madeira. O teste foi realizado em prensa com auxílio de dispositivo, como apresentado na Figura 29, no qual a carga foi aplicada. Quando o valor ultrapassou 100 Kg, ou a deformação do espaçador começou a ser notada, o ensaio foi interrompido.

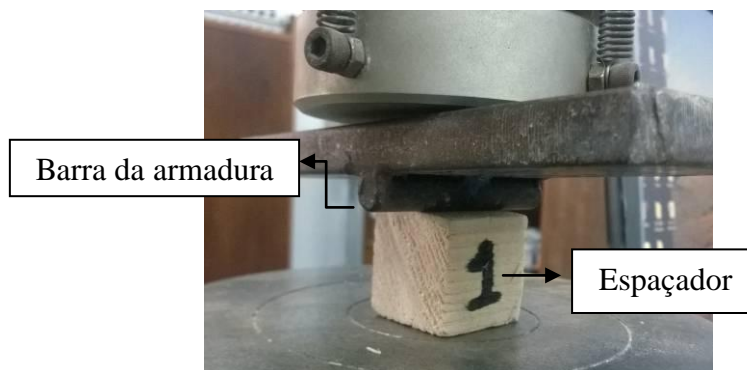


Figura 29: Teste de carga sobre espaçadores de madeira.

Após a aplicação da carga, foram medidas as dimensões finais dos espaçadores e consequentemente a deformação no sentido da fibra testada. Os resultados decorrentes do ensaio encontram-se na Tabela 21, e o aspecto dos espaçadores em relação ao sentido das fibras (Figura 30).

Tabela 21: Teste de carregamento e deformação em espaçadores de madeira (30 mm ± 1 mm) .

	Cobrimento¹	Carga²	Deformação¹
Espaçador 1	30,66	157	0,87
Espaçador 2	29,61	165	0,95
Espaçador 3	29,52	138	0,74
Espaçador 4	31,24	303	0,12
Espaçador 5	31,25	305	0,20
Espaçador 6	31,11	213	0,26

1) Unidade em mm

2) Unidade em Kg

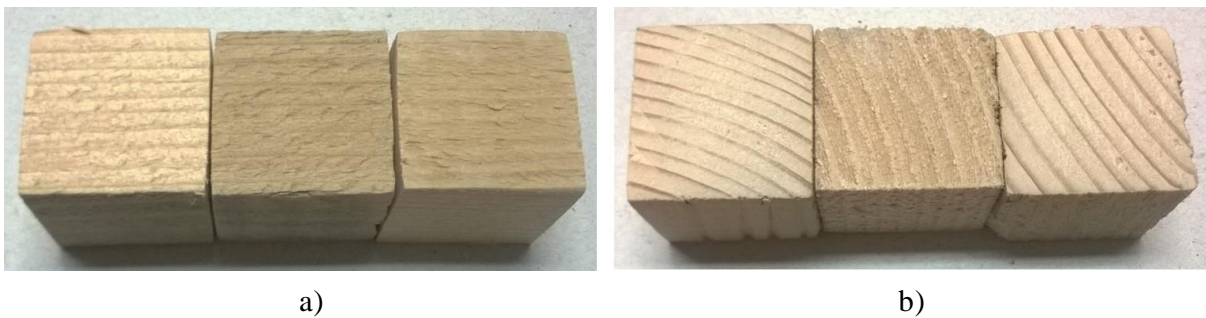


Figura 30: Espaçadores testados conforme sentido da fibra da madeira: a) direção perpendicular às fibras: espaçadores 1, 2 e 3; b) direção das fibras: espaçadores 4, 5 e 6.

Observa-se que independente do sentido da fibra, os espaçadores de madeira utilizados apresentaram uma resistência suficiente para a carga de 100 kg utilizada na simulação experimental, sob deformação linear permanente inferior a 1 mm.

Por apresentarem maior capacidade de carga sob uma menor deformação, os melhores resultados foram no sentido das fibras da madeira (espaçadores 4, 5 e 6). Logo, todos os espaçadores em madeira foram utilizados neste sentido.

Em seguida, foram montadas as malhas, sendo confeccionada uma para cada diâmetro (Ø4,2; Ø5,0; Ø6,3; Ø8,0), e com todas as interseções ligadas por uma abraçadeira de nylon, utilizada como medida de segurança em relação a quem monta e manuseia as malhas, pois durante o contato o material é mais maleável, não deixando pontas como o arame recozido. Além disso, a abraçadeira facilita a colocação/retirada das barras deformadas.

As malhas de armadura foram colocadas sobre chapa de compensado a fim de melhorar o nivelamento da superfície. Após a montagem da armadura e colocação dos espaçadores, foi posicionada uma plataforma próxima do ponto de aplicação de carga, apoiada sobre a

superfície, facilitando o acesso e possibilitando a aplicação do carregamento somente no ponto de interesse.

A carga reproduzida em laboratório foi a mesma utilizada nas simulações, referente ao trabalhador caminhando sobre a armadura. Para reprodução fiel, uma pessoa realizou a aplicação do peso próprio. Entretanto, o peso correspondente era inferior ao utilizado na simulação computacional. Sendo assim, foi corrigido com o uso de um balde auxiliar preenchido com brita até chegar aos 100 kg carregado pelo operário, como mostrado na Figura 31, e fez-se a simulação da pisada sobre as barras de aço.



Figura 31: Correção da carga de ensaio.

As duas barras localizadas no ponto central foram testadas. Para isso, antes da aplicação da carga, foram medidos pontos a partir de 2 cm da interseção, assim como realizado na simulação computacional (Figura 32). As medições das barras inferiores e superiores foram realizadas com o auxílio de paquímetro digital. Uma mesma malha possibilitava o ensaio de 2 cobrimentos diferentes.

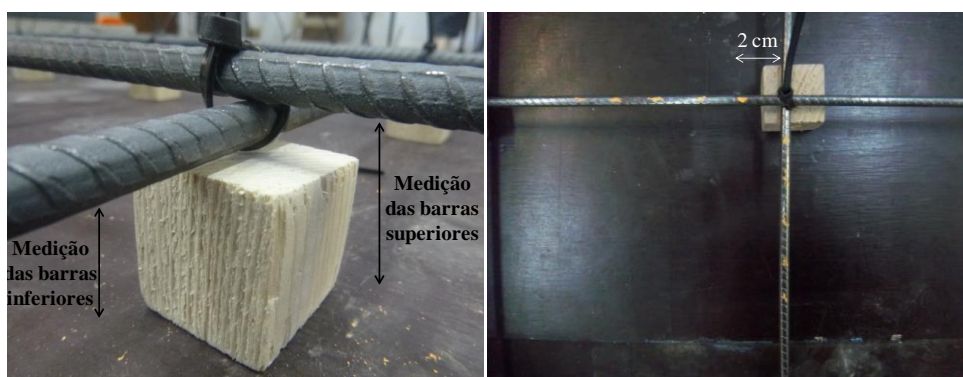


Figura 32: Pontos de medição nas barras centrais.

A aplicação da carga foi realizada através de uma pisada sobre os pontos demarcados nas barras. Somente uma pisada foi aplicada sobre cada barra e a deformação final foi medida com auxílio de paquímetro digital novamente, como mostrado na Figura 33.

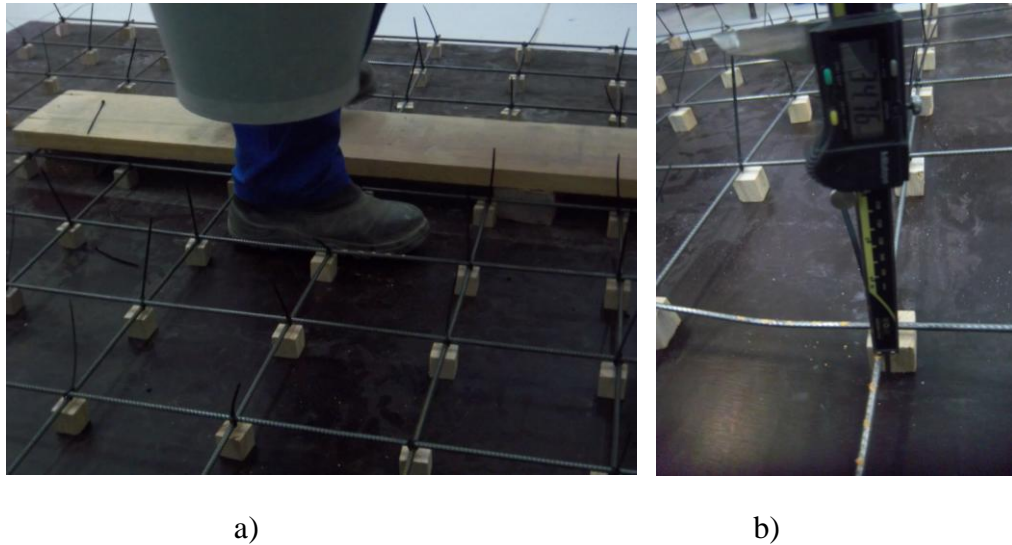


Figura 33: Procedimento de ensaio experimental: a) aplicação de carga; b) medição com paquímetro digital.

Durante a simulação, em decorrência do deslocamento da malha, os espaçadores saíam da posição original, sendo assim, após cada pisada os dispositivos eram reorganizados. Para cada distribuição dos espaçadores e diâmetro das barras, foram realizadas três trocas das barras centrais, de modo que as medições eram sempre feitas sobre uma barra que ainda não tinha sofrido deformações permanentes devido ao procedimento de ensaio. A barra deformada foi descartada para a realização do ensaio, sendo assim, seis barras de cada diâmetro foram utilizadas para cada distribuição de espaçadores, totalizando em 18 barras.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados obtidos através das simulações computacionais e experimentais, a fim de mensurar a influência de fatores presentes durante a execução de lajes de concreto armado no alcance da espessura de cobrimento. Em busca de referências bibliográficas semelhantes aos ensaios executados, nada foi encontrado. Desta forma, os resultados são analisados e comparados entre as simulações computacionais e experimentais.

7.1 CARREGAMENTO ACIDENTAL

7.1.1 Simulação computacional

Os resultados das simulações computacionais foram analisados em comparação ao momento fletor de plastificação inicial e total da barra de aço. Os efeitos do carregamento acidental das barras, referente ao operário andando sobre a armadura, estão expostos nas tabelas 22 a 33. As porcentagens apresentadas nas tabelas são referentes à transição da plastificação inicial à plastificação total da barra de aço.

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos para as malhas compostas por barras de 4,2 mm de diâmetro.

Tabela 22: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \emptyset 4,2 mm e uma superfície de apoio

\emptyset 4,2 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	48%	PT	38%	PT	7%	PT	4%	PT	8%	PT
	1,5	PT	PT	99%	PT	59%	PT	52%	PT	53%	PT
	2,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	99%	PT	94%	PT
	2,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	92%	PT	52%	PT	29%	PT	28%	PT	39%	PT
	1,5	PT	PT	PT	PT	89%	PT	84%	PT	PT	PT
	2,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	2,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	30%	PT	43%	95%	38%	PT	36%	76%	66%	PT
	1,5	67%	PT	89%	PT	PT	PT	92%	PT	PT	PT
	2,0	67%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	2,5	67%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	67%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	67%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	67%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	67%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT

PT= Plástico / EL= Elástico

Nota-se que para todos os afastamentos das malhas testadas (10, 15 e 20 cm), ocorre uma grande incidência de plastificação total nas barras, atingindo aproximadamente 86% das combinações. Nota-se que, os momentos positivos gerados pela aplicação de carga apresentaram maior índice de plastificação total em relação ao momento negativo, afetando diretamente a obtenção da espessura de cobrimto. Os gráficos de superfície referentes aos momentos positivos estão representados nas figuras 34, 35 e 36.

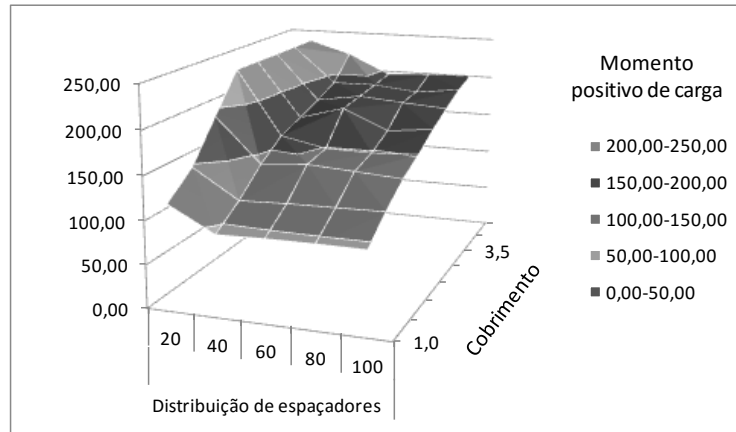


Figura 34: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 4,2 mm e afastamento 20 cm).

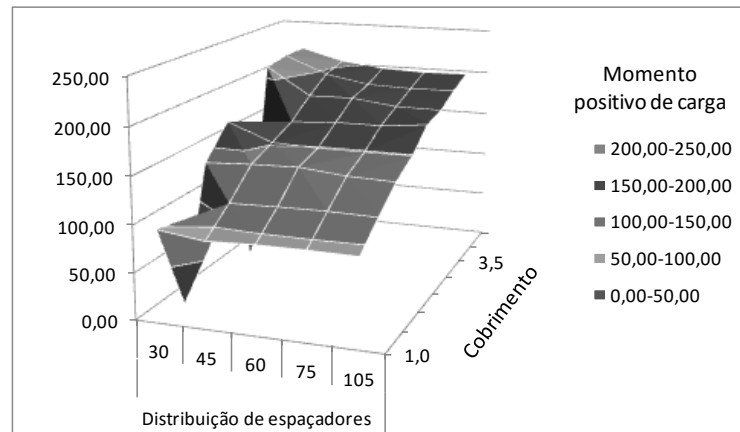


Figura 35: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 4,2 mm e afastamento 15 cm).

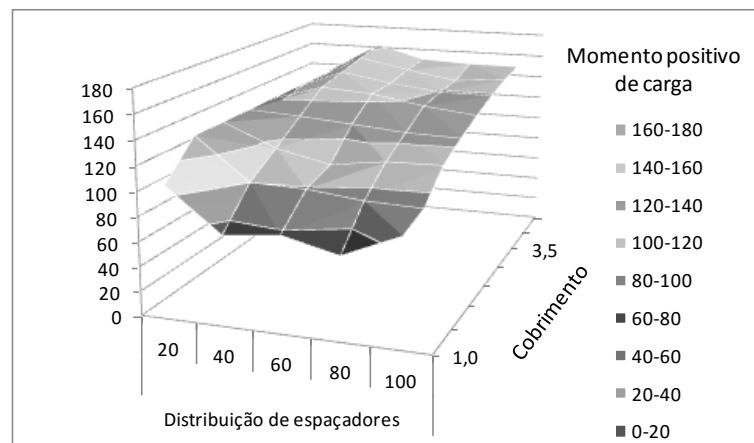


Figura 36: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 4,2 mm e afastamento 10 cm).

Os resultados referentes às malhas compostas por barras com 5,0 mm de diâmetro estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 5,0 mm e uma superfície de apoio

\varnothing 5,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	46%	PT	42%	PT	8%	PT	2%	PT	2%	PT
	1,5	82%	PT	94%	PT	53%	PT	46%	PT	45%	PT
	2,0	82%	PT	PT	PT	PT	PT	82%	PT	81%	PT
	2,5	82%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	82%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	82%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	82%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	82%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	82%	PT	40%	PT	29%	PT	24%	PT	48%	PT
	1,5	PT	PT	78%	PT	66%	PT	76%	PT	79%	PT
	2,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	2,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	PT	32%	PT	19%	70%	32%	91%	38%	77%
	1,5	EL	PT	64%	PT	68%	PT	73%	PT	75%	PT
	2,0	EL	PT	PT	PT	PT	PT	99%	PT	PT	PT
	2,5	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT

PT= Plástico / EL= Elástico

Novamente, a malha composta por barras de aço com diâmetro 5,0 mm apresenta maior índice de plastificação total, independente da abertura da malha, alcançando aproximadamente 81% em todas as combinações. Somente na malha com afastamento entre barras de 10 cm, na distribuição de espaçadores mais próxima, o momento fletor negativo não resulta em comportamento plástico, e somente para o momento sobre o apoio (espaçador). Os gráficos de superfície referentes aos momentos positivos estão representados nas figuras 37, 38 e 39.

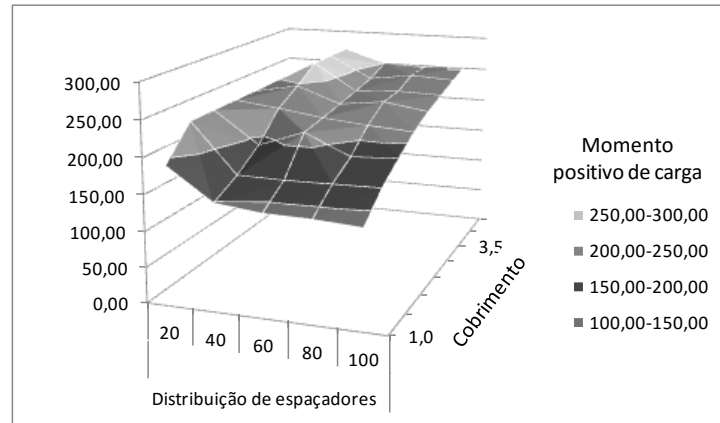


Figura 37: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 5,0 mm e afastamento 20 cm).

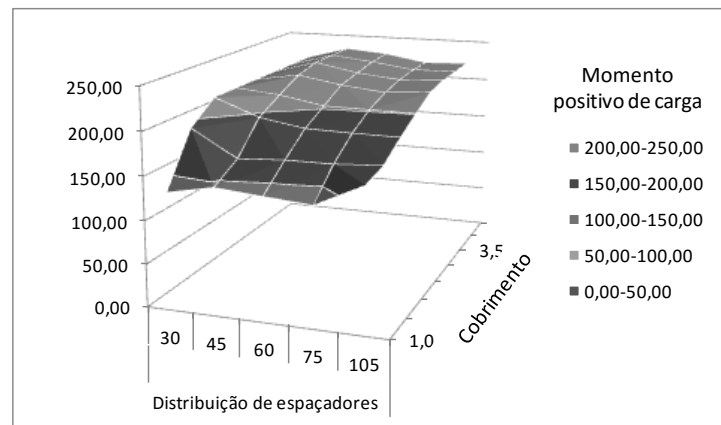


Figura 38: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 5,0 mm e afastamento 15 cm).

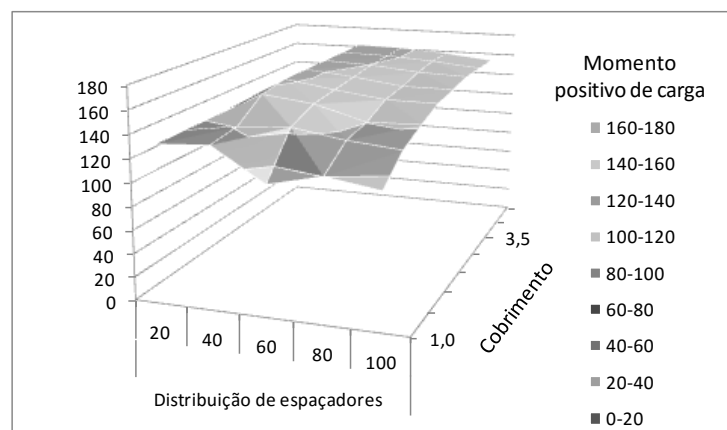


Figura 39: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobertura (malha com barras diâmetro 5,0 mm e afastamento 10 cm).

Os resultados gerados pela simulação computacional nas malhas com diâmetros intermediários, de 6,0 mm e 6,3 mm, estão expostos nas tabelas 24 e 25.

Tabela 24: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 6,0 mm e uma superfície de apoio.

\varnothing 6,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	PT	31%	89%	EL	75%	EL	72%	EL	73%
	1,5	EL	PT	89%	PT	44%	PT	32%	PT	30%	PT
	2,0	EL	PT	100%	PT	78%	PT	65%	PT	58%	PT
	2,5	EL	PT	100%	PT	PT	PT	91%	PT	84%	PT
	3,0	EL	PT	100%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	EL	PT	100%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	EL	PT	100%	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	61%	PT	20%	80%	8%	77%	13%	69%	15%	66%
	1,5	61%	PT	63%	PT	48%	PT	54%	95%	53%	97%
	2,0	61%	PT	68%	PT	77%	PT	73%	PT	79%	PT
	2,5	61%	PT	68%	PT	86%	PT	93%	PT	95%	PT
	3,0	61%	PT	68%	PT	86%	PT	PT	PT	PT	98%
	3,5	61%	PT	68%	PT	86%	PT	PT	PT	PT	94%
	4,5	61%	PT	68%	PT	86%	PT	PT	PT	PT	89%
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	7%	9%	38%	2%	28%	6%	22%	10%	19%
	1,5	EL	7%	9%	38%	31%	34%	36%	28%	39%	27%
	2,0	EL	7%	9%	38%	47%	38%	62%	31%	58%	28%
	2,5	EL	7%	9%	38%	47%	38%	72%	32%	75%	27%
	3,0	EL	7%	9%	38%	47%	38%	75%	32%	88%	25%
	3,5	EL	7%	9%	38%	47%	38%	75%	32%	99%	24%
	4,5	EL	7%	9%	38%	47%	38%	75%	32%	99%	24%

PT= Plástico / EL= Elástico

A partir da malha de armadura formada por barras de aço com diâmetros intermediários (6,0 e 6,3mm), é possível verificar a transição comportamento elástico, de plastificação inicial e plastificação total, dependendo da configuração da armadura.

Para armaduras com afastamento entre barras de aço maiores (20 cm), e com distribuição de espaçadores mais espaçada (100 cm), a plastificação total está mais presente. Conforme a malha tem afastamento entre barras menor, ou seja, tem a característica mais rígida, como a malha com abertura de 10 cm, a mesma distribuição de espaçadores resulta em um índice menor de plastificação. Os gráficos de superfície referentes aos momentos positivos estão representados nas figuras 40, 41 e 42.

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimto especificada em lajes de concreto armado.

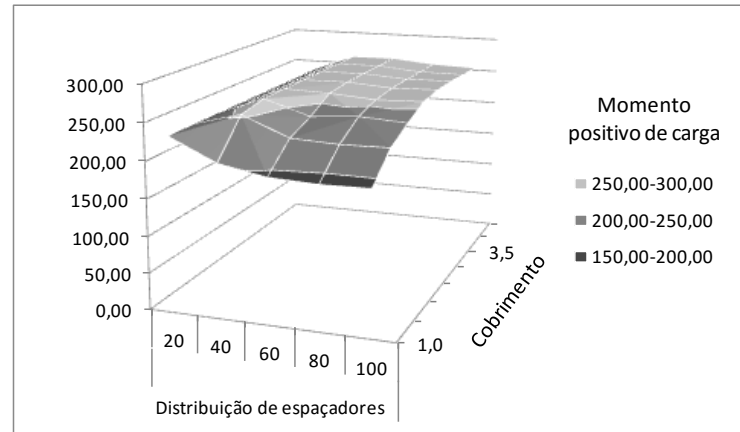


Figura 40: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,0 mm e afastamento 20 cm).

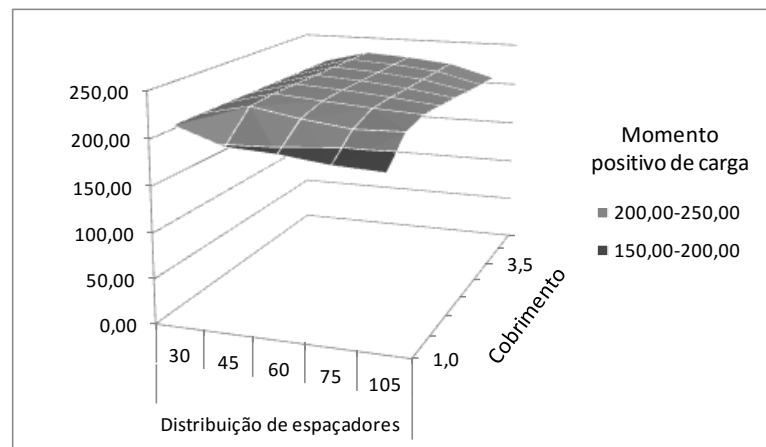


Figura 41: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,0 mm e afastamento 15 cm).

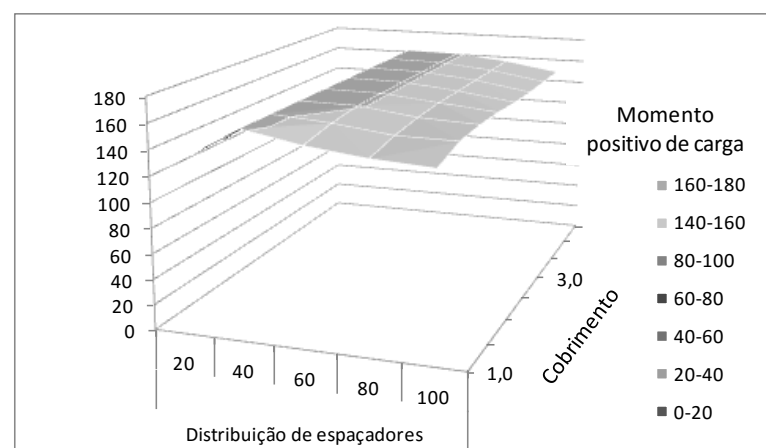


Figura 42: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,0 mm e afastamento 10 cm).

Tabela 25: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 6,3 mm e uma superfície de apoio.

\varnothing 6,3 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	PT	63%	PT	26%	PT	19%	PT	18%	100%
	1,5	EL	PT	PT	PT	76%	PT	62%	PT	59%	PT
	2,0	EL	PT	PT	PT	PT	PT	97%	PT	91%	PT
	2,5	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,0	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
	4,5	EL	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT	PT
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	69%	PT	47%	PT	33%	98%	40%	92%	44%	96%
	1,5	69%	PT	76%	PT	75%	PT	74%	PT	80%	PT
	2,0	69%	PT	76%	PT	95%	PT	PT	PT	PT	PT
	2,5	69%	PT	76%	PT	95%	PT	PT	PT	PT	PT
	3,0	69%	PT	76%	PT	95%	PT	PT	PT	PT	PT
	3,5	69%	PT	76%	PT	95%	PT	PT	PT	PT	97%
	4,0	69%	PT	76%	PT	95%	PT	PT	PT	PT	97%
	4,5	69%	PT	76%	PT	95%	PT	PT	PT	PT	97%
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	13%	13%	44%	21%	37%	24%	29%	31%	30%
	1,5	EL	13%	13%	44%	54%	44%	64%	38%	62%	35%
	2,0	EL	13%	13%	44%	54%	44%	89%	36%	81%	33%
	2,5	EL	13%	13%	44%	54%	44%	89%	36%	100%	32%
	3,0	EL	13%	13%	44%	54%	44%	89%	36%	PT	29%
	3,5	EL	13%	13%	44%	54%	44%	89%	36%	PT	29%
	4,0	EL	13%	13%	44%	54%	44%	89%	36%	PT	29%
	4,5	EL	13%	13%	44%	54%	44%	89%	36%	PT	29%

PT= Plástico / EL= Elástico

Nota-se, observando as tabelas 24 e 25, um comportamento semelhante entre as malhas de diâmetro 6,0 mm e 6,3 mm, em que as malhas com afastamento maior entre as barras (20 cm) apresenta um índice de plastificação das barras praticamente em todas as configurações. Ainda, quando o afastamento entre as barras é menor, conseqüentemente, o índice de plastificação total diminui. Os gráficos de superfície referentes aos momentos positivos estão representados nas figuras 43, 44 e 45.

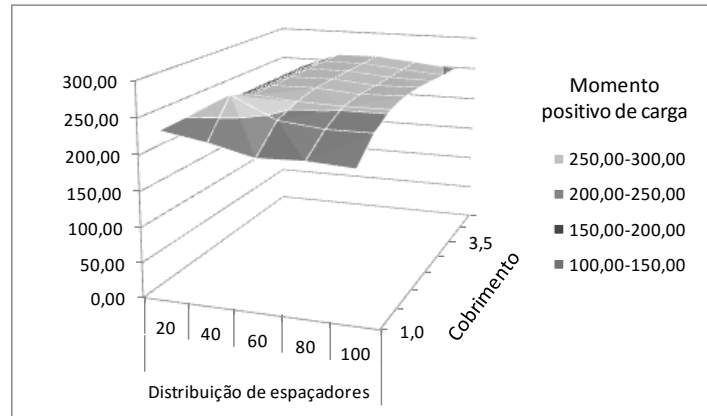


Figura 43: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,3 mm e afastamento 20 cm).

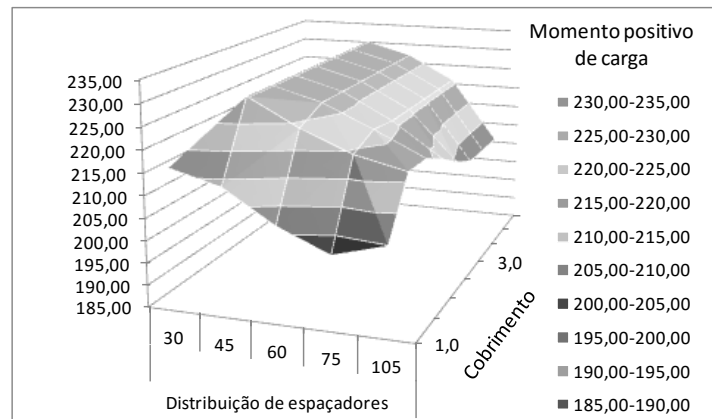


Figura 44: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,3 mm e afastamento 15 cm).

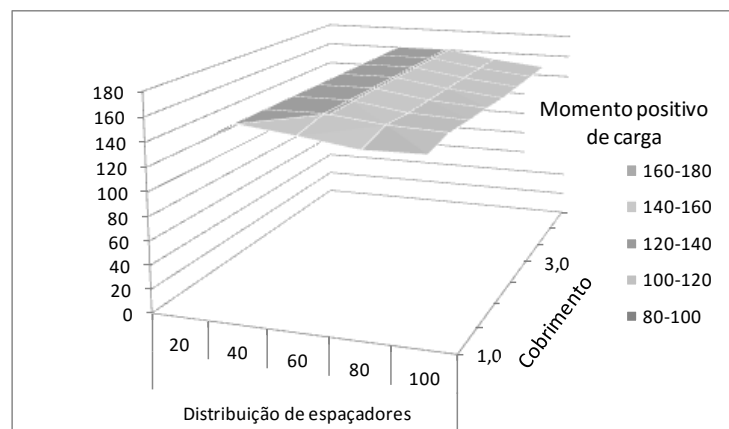


Figura 45: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 6,3 mm e afastamento 10 cm).

Os resultados relacionados aos maiores diâmetros (8,0 e 10,0 mm) são mostrados nas tabelas tabela 26 e tabela 27.

Tabela 26: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 8,0 mm e uma superfície de apoio

\varnothing 8,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	5%	EL	6%	EL	3%	EL	2%
	1,5	EL	EL	EL	5%	EL	6%	4%	1%	9%	EL
	2,0	EL	EL	EL	5%	EL	6%	4%	1%	16%	EL
	2,5	EL	EL	EL	5%	EL	6%	4%	1%	16%	EL
	3,0	EL	EL	EL	5%	EL	6%	4%	1%	16%	EL
	3,5	EL	EL	EL	5%	EL	6%	4%	1%	16%	EL
	4,5	EL	EL	EL	5%	EL	6%	4%	1%	16%	EL
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL

PT= Plástico / EL= Elástico

Apesar da carga acidental proporcionar, cerca de 16% das configurações apontaram um início de plastificação. Entretanto, esta porcentagem é consideravelmente baixa, sendo insignificante nas deformações das barras de aço.

Sendo assim, percebe-se que os menores diâmetros proporcionam uma plastificação total maior e conseqüentemente, uma maior dificuldade de obtenção da espessura de cobrimto especificada. Os gráficos de superfície referentes aos momentos positivos estão representados nas figuras 46, 47 e 48.

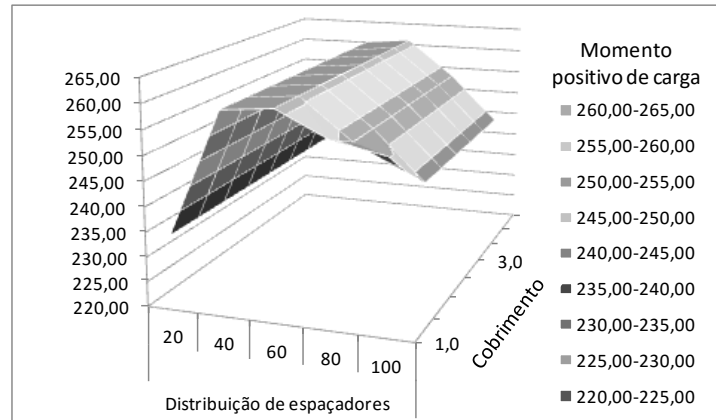


Figura 46: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 8,0 mm e afastamento 20 cm).

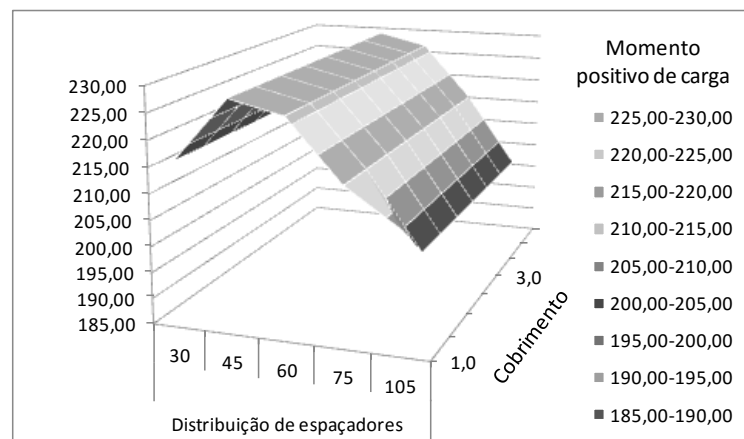


Figura 47: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 8,0 mm e afastamento 15 cm).

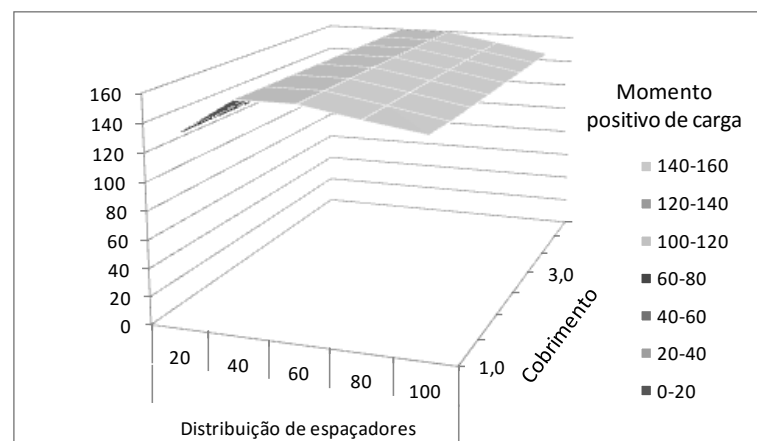


Figura 48: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 8,0 mm e afastamento 10 cm).

Tabela 27: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 10,0 mm e uma superfície de apoio

\varnothing 10,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL

PT= Plástico / EL= Elástico

A armadura composta por barras de aço de diâmetro 10,0 mm apresentou o melhor resultado, independente do conjunto de fatores analisado. A aplicação de carga sobre uma superfície de apoio, operário caminhando sobre a malha de armadura, não surtiu nenhum indício de comportamento plástico nas barras de aço. Os valores encontrados dos momentos fletores para a aplicação de carga simulando o trabalhador movimentando-se sobre a armadura, juntamente com a indicação de apoio da malha na fôrma ou não, estão apresentados no apêndice B. Os gráficos de superfície referentes aos momentos positivos estão representados nas figuras 49, 50 e 51.

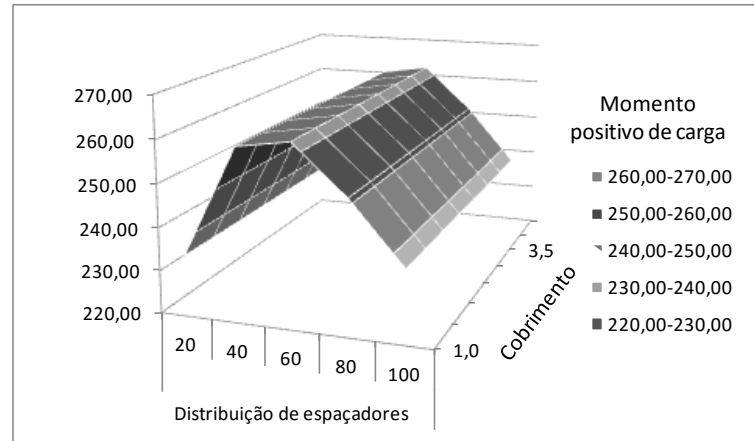


Figura 49: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 10,0 mm e afastamento 20 cm).

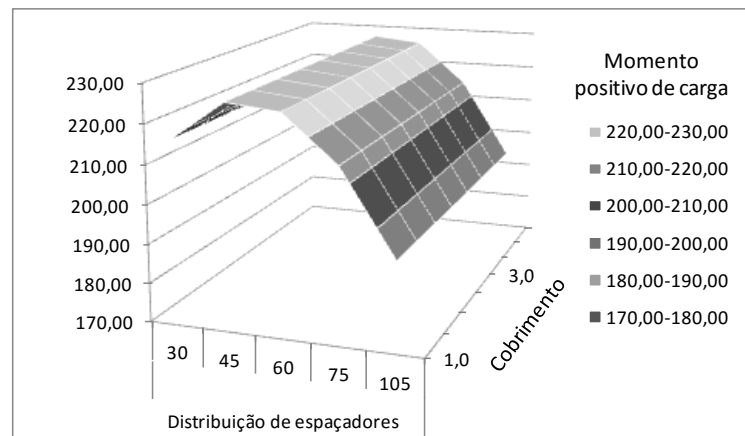


Figura 50: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 10,0 mm e afastamento 15 cm).

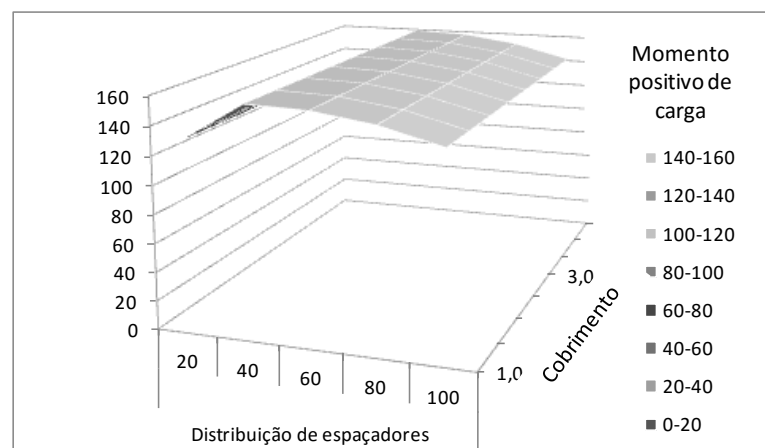


Figura 51: Momento positivo em relação a distribuição de espaçadores e espessura de cobrimento (malha com barras diâmetro 10,0 mm e afastamento 10 cm).

Os resultados relacionados à aplicação de carga acidental referente ao operário parado sobre a armadura, ou seja, sobre duas superfícies de apoio, estão demonstrados nas tabelas 28 a 33.

A tabela 28 indica os resultados referentes ao menor diâmetro de barra de aço testado, de 4,2 mm, apresentando os índices de plastificação.

Tabela 28: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 4,2 mm e duas superfícies de apoio

\varnothing 4,2 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	PT	99%	PT	54%	PT	58%	PT	51%	PT	71%
	1,5	PT	99%	PT	86%	PT	67%	PT	58%	PT	64%
	2,0	PT	99%	PT	90%	PT	66%	PT	58%	PT	55%
	2,5	PT	99%	PT	90%	PT	62%	PT	54%	PT	54%
	3,0	PT	99%	PT	90%	PT	62%	PT	45%	PT	44%
	3,5	PT	99%	PT	90%	PT	62%	PT	42%	PT	35%
	4,0	PT	99%	PT	90%	PT	62%	PT	42%	PT	26%
4,5	PT	99%	PT	90%	PT	62%	PT	42%	PT	26%	
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	PT	87%	PT	52%	PT	51%	PT	58%	PT	62%
	1,5	PT	87%	PT	64%	PT	54%	PT	54%	PT	55%
	2,0	PT	87%	PT	64%	PT	50%	PT	46%	PT	46%
	2,5	PT	87%	PT	64%	PT	50%	PT	38%	PT	36%
	3,0	PT	87%	PT	64%	PT	50%	PT	38%	PT	26%
	3,5	PT	87%	PT	64%	PT	50%	PT	38%	PT	18%
	4,0	PT	87%	PT	64%	PT	50%	PT	38%	PT	18%
4,5	PT	87%	PT	64%	PT	50%	PT	38%	PT	18%	
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	PT	46%	PT	61%	PT	54%	PT	47%	PT	44%
	1,5	PT	46%	PT	67%	PT	57%	PT	49%	PT	49%
	2,0	PT	46%	PT	67%	PT	57%	PT	52%	PT	49%
	2,5	PT	46%	PT	67%	PT	55%	PT	48%	PT	44%
	3,0	PT	46%	PT	67%	PT	55%	PT	41%	PT	39%
	3,5	PT	46%	PT	67%	PT	55%	PT	41%	PT	33%
	4,0	PT	46%	PT	67%	PT	55%	PT	41%	PT	28%
4,5	PT	46%	PT	67%	PT	55%	PT	41%	PT	28%	

PT= Plástico / EL= Elástico

Nota-se que em todas as malhas, a plastificação das barras no momento negativo é generalizada em todas as configurações, assim como apresentado na aplicação de carga sobre uma superfície de apoio.

Um comportamento observado em todas as malhas é que elas apresentam um índice de plastificação mais elevado nos momentos positivos e nas configurações onde a distribuição dos espaçadores é mais afastada, por exemplo 100 cm, possivelmente gerado pela

concentração de tensões nas menores distâncias entre apoios, ou seja, nas distribuições de espaçadores mais próximas, de 20 cm.

Abaixo, a tabela 29 apresenta os resultados da aplicação de carga dividida em duas superfícies de apoio, em malhas de armadura compostas por diâmetro 5,0 mm.

Tabela 29: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 5,0 mm e duas superfícies de apoio

\varnothing 5,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	4,5	PT	1%	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	4,5	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	4,5	9%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL

PT= Plástico / EL= Elástico

Nota-se, em comparação com a aplicação de carga em uma única superfície de apoio, quando operário está parado sobre a armadura, as barras possuem um comportamento elástico nos momentos fletores positivos, incluindo a malha com abertura 20 cm e distribuição entre espaçadores de 20 cm.

A tabela 30, apresenta os resultados obtidos para a simulação computacional da malha composta por diâmetro 6,0 mm.

Tabela 30: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 6,0 mm e duas superfícies de apoio

\varnothing 6,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimento (cm)	1,0	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	4,0	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
4,5	28%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimento (cm)	1,0	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
	4,0	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL
4,5	56%	EL	87%	EL	99%	EL	PT	EL	PT	EL	
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimento (cm)	1,0	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
	1,5	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
	2,0	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
	2,5	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
	3,0	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
	3,5	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
	4,0	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL
4,5	EL	EL	21%	EL	55%	EL	80%	EL	99%	EL	

PT= Plástico / EL= Elástico

Observa-se que novamente o operário, parado sobre a malha gera menor índice de plastificação nas barras. É possível observar a transição entre as malhas em relação à plastificação da armadura, já que o afastamento entre as barras de 20 cm é menos rígida que a abertura de 10 cm.

Os resultados apresentados na malha com diâmetro 6,3 mm estão expostos na tabela 31.

Tabela 31: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 6,3 mm e duas superfícies de apoio

\varnothing 6,3 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	4,5	34%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	1,5	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,0	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	2,5	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,0	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	3,5	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
	4,5	63%	EL	95%	EL	PT	EL	PT	EL	PT	EL
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL
	1,5	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL
	2,0	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL
	2,5	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL
	3,0	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL
	3,5	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL
	4,5	EL	EL	27%	EL	62%	EL	89%	EL	PT	EL

PT= Plástico / EL= Elástico

Observa-se que a plastificação total ou com alta porcentagem é apresentada nos momentos fletores negativos, sendo um resultado compreensível, pois a carga foi aplicada em cada lado do espaçador sobre a barra de aço. A malha com maior abertura de barras, 20 cm, mais uma vez apresenta maior índice de plastificação em comparação as demais.

Os resultados obtidos nas malhas com maiores diâmetros, de 8,0 mm e 10,0 mm, estão apresentados na tabela 32 e tabela 33.

Tabela 32: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 8,0 mm e duas superfícies de apoio

\varnothing 8,0 mm												
Abertura da malha = 20cm												
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100			
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo		
Cobrimento (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	4%	EL	16%	EL
Abertura da malha = 15cm												
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105			
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo		
Cobrimento (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	8%	EL
Abertura da malha = 10cm												
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100			
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo		
Cobrimento (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL

PT= Plástico / EL= Elástico

As malhas compostas por maiores diâmetros obtiveram resultados mais satisfatórios. A malha composta por barras de aço de diâmetro 8,0 mm apresenta porcentagem de plastificação na situação mais crítica da simulação, ou seja, na malha com maior afastamento entre barras e maior distanciamento entre os apoios, os espaçadores. Ainda que apresente uma porcentagem de plastificação, esta pode ser considerada mínima e assim, insignificante na deformação destas armaduras.

Tabela 33: Aplicação de carga acidental em simulação computacional para \varnothing 10,0 mm e duas superfícies de apoio

\varnothing 10,0 mm											
Abertura da malha = 20cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Abertura da malha = 15cm											
Distrib. Espaçadores	30		45		60		75		105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
Abertura da malha = 10cm											
Distrib. Espaçadores	20		40		60		80		100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	
Cobrimto (cm)	1,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	1,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	2,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	3,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,0	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL
	4,5	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL	EL

PT= Plástico / EL= Elástico

As malhas formadas por barras de diâmetro 10,0 mm, apresentaram comportamento elástico em todas as situações, tanto para esta aplicação de carga como no carregamento sobre uma única superfície de apoio (operário em movimento).

Entre as aplicações de carga sobre a armadura, conclui-se que, quando o operário está caminhando sobre a armadura, ou seja, o carregamento é dado somente sobre uma superfície de apoio, os resultados apresentam um índice maior de plastificação nas barras de aço. Sendo assim, define-se esta configuração como a situação de carregamento crítica.

Os valores encontrados dos momentos fletores, juntamente com outras informações, estão apresentados no apêndice C.

7.1.2 Simulação experimental

O cobrimento inicial foi medido através de paquímetro digital nas barras centrais da malha de armadura, conforme exposto na tabela 34.

Tabela 34: Cobrimento inicial das malhas de armadura

Distribuição dos espaçadores	Cobrimento médio							
	ø 4,2		ø 5,0		ø 6,3		ø 8,0	
	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior
20	30,21	34,63	30,24	35,96	30,70	36,91	30,85	39,19
60	30,50	35,59	30,13	36,00	29,95	37,61	30,02	38,70
100	29,42	33,93	29,88	36,59	29,30	36,28	30,22	38,27

Ao longo da execução do ensaio, notou-se que as armaduras com barras de diâmetro 4,2 mm e 5,0 mm não possuíam rigidez suficiente para impedir o contato da armadura com a fôrma na aplicação da carga acidental, independente da distribuição dos espaçadores. Conseqüentemente, a malha de armadura sofria uma deformação maior, levantando as demais barras, permitindo, assim, o deslocamento do espaçador, que geralmente, não possui fixação e impedindo a obtenção da espessura de cobrimento especificado em projeto.

A malha de armadura composta com barras de diâmetro 6,3 mm, obteve contato com a fôrma somente para a distribuição de espaçadores 100 cm. Para a mesma malha, na distribuição de espaçadores intermediária, de 60 cm, a aplicação da carga faz com que a barra inferior encostasse na fôrma e a barra superior ficasse bastante próxima da superfície. Sendo assim, ocorre a deformação da malha no momento da aplicação da carga, embora em menor escala comparado às malhas de armadura com barras de diâmetro 4,2 mm e 5,0 mm.

A malha de armadura composta por barras de diâmetro 8,0 mm não entra em contato com a fôrma em nenhum momento, independente da distribuição dos espaçadores. Entretanto, observou-se que durante a aplicação da carga, as barras do perímetro da malha foram levantadas, permitindo o deslocamentos dos espaçadores não fixados. Todas as observações possíveis durante o ensaio em relação ao contato da armadura com a superfície do compensado (fôrma) condizem com os resultados das simulações computacionais.

As deformações na barra, ocasionadas pela aplicação da carga sobre a malha de armadura, foram novamente mensuradas com paquímetro digital. Os valores máximos de deformação, juntamente com a média dos valores máximos correspondentes a cada barra, o desvio padrão e coeficiente de variação para cada armadura com diâmetro diferente testada, são apresentados nas tabelas 35 a 38.

Tabela 35: Resultados obtidos em simulação experimental ($\varnothing 4,2$ mm).

Distribuição dos espaçadores	$\varnothing 4,2$							
	Inferior				Superior			
	Máx.	Média	D. P	CV	Máx.	Média	D. P	CV
20	11,36	9,62	2,08	0,22	17,31	14,67	2,86	0,19
60	7,48	6,77	0,63	0,09	12,43	11,62	0,71	0,06
100	5,79	4,98	0,71	0,14	11,73	10,26	1,28	0,12

Valores em mm

Os resultados para as barras inferiores correspondem a um cobrimento nominal de 30 mm, enquanto as barras superiores são referentes ao cobrimento nominal de 35 mm. Notou-se que independente da configuração (distribuição entre espaçadores, barras superiores ou inferiores), as barras entraram em contato com a fôrma (Figura 52) quando a carga estava sendo aplicada, para a respectiva malha de diâmetro 4,2 mm.



Figura 52: Aplicação de carga sobre malha diâmetro 4,2 mm e contato armadura/fôrma

As barras de diâmetro 4,2 mm apresentaram uma deformação maior em relação às outras malhas testadas, sendo este, um resultado esperado em decorrência da espessura da barra de aço ser menor. Entretanto, nota-se que a deformação ocasionada por uma única pisada do operário (Figura 53) é bastante superior à tolerância de execução de 5 mm recomendada em norma. No caso da distribuição dos espaçadores de 20 cm para as barras superiores é possível observar que ocorre uma diferença de até 17,31 mm, ou seja, mais de 13 mm acima da tolerância de execução. Desta forma, o elemento estrutural estaria altamente prejudicado em relação à durabilidade.

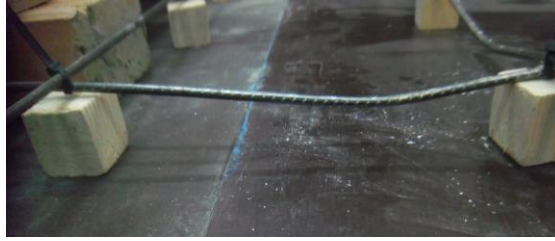


Figura 53: Deformação da barra 4,2 mm após aplicação de carga

Outro fator que pode ser observado é que, neste caso, as diretrizes normativas internacionais (CEB, 1990; BS 7973-2, 2001) que determinam a distribuição de espaçadores sendo $50 \varnothing$ são ineficientes, pois a aplicação de carga sobre a barra ocasiona um momento fletor positivo com valor acima do correspondente ao limite elástico do material, gerando deformações permanentes. Como mostra a Figura 54, por causa da fôrma, quanto menor o vão entre os espaçadores, maior é a curvatura da barra ou o momento fletor, sendo esta situação confirmada durante a simulação laboratorial.

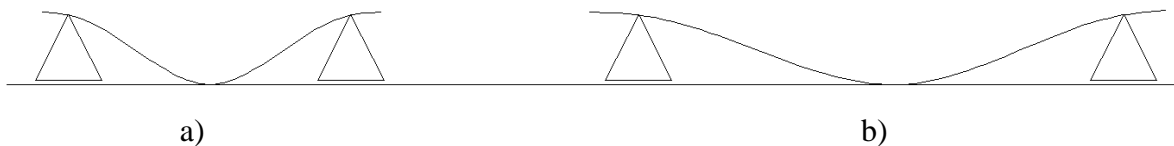


Figura 54: Momento fletor gerado pela aplicação de carga; a) espaçamento 20 cm; b) espaçamento 100cm

Os resultados gerados nos testes em malha de armadura de 5,0 mm de diâmetro estão apresentados na tabela 36.

Tabela 36: Resultados obtidos em simulação experimental ($\varnothing 5,0$ mm)

Distribuição dos espaçadores	$\varnothing 5,0$							
	Inferior				Superior			
	Máx.	Média	D. P	CV	Máx.	Média	D. P	CV
20	8,05	6,29	1,52	0,24	9,59	8,62	1,41	0,16
60	6,05	4,75	1,24	0,26	11,41	9,07	2,03	0,22
100	5,69	3,79	1,65	0,44	8,58	7,17	1,29	0,18

Valores em mm

Os valores máximos encontrados nas malhas de diâmetro 5,0 mm também apresentam uma deformação superior ao limite de tolerância de execução normativo. Notou-se que durante o procedimento de ensaio, os valores das deformações foram compatíveis com os momentos fletores apresentados na simulação computacional, sendo esta validada na simulação experimental.

Nas malhas testadas neste diâmetro, também foram notados os deslocamentos verticais das barras, ainda que em menor escala em relação aos das malhas de diâmetro 4,2 mm. Além disso, as barras superiores das malhas apresentaram um maior valor de deformação, resultante do maior espaço (espessura de cobrimento).

Os resultados gerados nos testes em malha de armadura de 6,3 mm de diâmetro estão apresentados na tabela 37.

Tabela 37: Resultados obtidos em simulação experimental ($\varnothing 6,3$ mm)

Distribuição dos espaçadores	$\varnothing 6,3$							
	Inferior				Superior			
	Máx.	Média	D. P	CV	Máx.	Média	D. P	CV
20	1,21	1,17	0,06	0,05	1,87	1,72	0,18	0,11
60	1,86	1,42	0,43	0,30	2,07	1,55	0,45	0,29
100	1,80	1,44	0,31	0,22	1,65	1,47	0,21	0,14

Valores em mm

As malhas de diâmetro 6,3 mm apresentaram valores satisfatórios em relação ao limite de tolerância de execução normativo, estando todos os valores abaixo de 5 mm. Desta forma, é possível afirmar que a armadura formada com diâmetro 6,3 mm, independente da distribuição dos espaçadores, atende à diretriz normativa, possibilitando a garantia da espessura de cobrimento especificada.

Os resultados gerados nos testes em malha de armadura de 8,0 mm de diâmetro estão apresentados na tabela 38.

Tabela 38: Resultados obtidos em simulação experimental ($\varnothing 8,0$ mm)

Distribuição dos espaçadores	$\varnothing 8,0$							
	Inferior				Superior			
	Máx.	Média	D. P	CV	Máx.	Média	D. P	CV
20	0,53	0,42	0,16	0,39	0,58	0,37	0,19	0,50
60	1,39	0,96	0,51	0,53	1,12	1,04	0,07	0,06
100	1,32	1,14	0,16	0,14	1,37	1,19	0,23	0,19

Valores em mm

Os valores resultantes da aplicação de carga para malhas compostas com barras de diâmetro 8,0 mm foram satisfatórios, estando abaixo do limite de tolerância de execução normativo. Além disso, durante a aplicação de carga notou-se que a armadura não têm contato com a fôrma (Figura 55), assim como apresentado na simulação computacional.



Figura 55: Armadura sem contato com armadura durante aplicação de carga

Novamente os valores apresentados em relação à distribuição dos espaçadores mostraram-se coerentes com a simulação computacional, já que o menor espaçamento (20 cm) apresenta um momento fletor decorrente da aplicação da carga acidental inferior em comparação ao maior espaçamento (100 cm), refletindo nos valores de média apresentados na tabela 38.

Comparando os resultados das tabelas 35 a 38 com as tabelas 22,23, 25 e 26 pode-se inferir que, quando a simulação computacional elástica-linear aponta para a plastificação total da seção em relação aos dois momentos (positivo e negativo), em malhas formadas por diâmetros inferiores a 6,3 mm, experimentalmente há deformação permanente de no mínimo 2 mm.

Os resultados indicam que para malhas de armadura compostas por barras de menores diâmetros (4,2 mm e 5,0 mm) não há como garantir o cobrimento, por apresentarem deformação maior à tolerância de execução recomendada em norma de 5,0 mm, independente da distribuição de espaçadores. Sendo assim, em relação à obtenção do cobrimento, é aconselhável descontinuar a utilização de armaduras compostas com estes diâmetros com livre tráfego de operários sobre a malha.

Outro meio de possível execução, é a utilizar as plataformas exigidas na NR 18, porém apoiadas diretamente na fôrma, em que o operário não entra em contato com a armadura durante o processo de execução das lajes.

Em situações mais críticas, como a armadura negativa, malhas com menores diâmetros mostraram-se muito deformáveis, prejudicando a estabilidade/segurança da edificação. Sendo

assim, torna-se aconselhável a utilização de barras com diâmetros maiores, 8,0 mm e 10,0 mm por exemplo, para garantir o posicionamento e rigidez da armadura.

Para malhas com diâmetros intermediários (6,0 mm e 6,3 mm), as deformações permanentes podem se aproximar de 5 mm, fazendo com que haja problemas de durabilidade se não houver controle sobre os espaçadores. Desta forma, é prudente ater-se à recomendação normativa internacional que define a distribuição de espaçadores sendo ≤ 100 cm ou $50\emptyset$.

Por fim, para malhas de diâmetro 8,0 mm e 10,0 mm, qualquer afastamento de espaçadores até 100cm pode ser utilizado. Neste caso, é prudente ater-se à recomendação normativa de $50\emptyset$.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da proposta inicial desta pesquisa, foi realizado o levantamento dos cobrimentos das armaduras em obras de duas capitais, confirmando o problema da obtenção da espessura de cobertura insuficiente. Além disso, foi realizado o acompanhamento durante algumas execuções de elementos estruturais, para coleta de dados que pudessem influenciar o alcance da espessura do cobertura.

Combinando estes fatores levantados em campo, o comportamento de conjuntos formados por diferentes combinações dos elementos ensaiados foi testado através de simulações computacionais. A partir dos resultados encontrados, foram propostos métodos de ensaio em laboratório para validar algumas configurações testadas anteriormente, e definir fatores críticos.

Os resultados obtidos e as análises realizadas ao longo desta pesquisa, dizem respeito, única e exclusivamente, às amostras avaliadas em questão. Com base nestas análises, estão descritas a seguir as conclusões deste trabalho.

8.1 LEVANTAMENTO EM OBRA

Todas as empresas participantes possuíam certificação de qualidade, e assim, afirmaram possuir um controle rigoroso de execução. Entretanto, a espessura de cobertura dos elementos estruturais apresentou valores insatisfatórios, com ênfase no fundo de vigas e lajes. Sendo assim, os elementos estruturais, após a concretagem, necessitam de reforço para garantir a espessura de cobertura, como por exemplo, o revestimento em argamassa para atingir o valor especificado em projeto.

Para lajes maciças, algumas medições mostraram-se com uma grande variabilidade, chegando ao valor mínimo de cobertura igual a 3,0 mm e o valor máximo igual a 22,0 mm, para um mesmo elemento estrutural. A partir do levantamento, notou-se que a tolerância de execução proposta em norma não é cumprida pelas empresas.

Através do acompanhamento, observou-se que nenhuma empresa apresenta qualquer metodologia referente à medição e garantia da obtenção do cobertura, seja pela distribuição e fixação dos espaçadores ou pelo cuidado dos operários durante a concretagem.

8.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

O método utilizado para analisar os efeitos de carga acidental sobre a armadura durante a execução mostrou-se capaz de auxiliar no estudo de cobrimento.

Entre as malhas testadas (\varnothing 4,2; 5,0; 6,0; 6,3; 8,0; 10,0 mm), independente da abertura da malha (10, 15 e 20 cm) ou da distribuição dos espaçadores, as malhas com menores diâmetros (4,2 mm e 5,0 mm) resultaram em uma maior incidência de plastificação total. Para carregamento acidental sobre uma superfície de apoio, o índice de plastificação indicaram aproximadamente 86% e 81% respectivamente.

Em comparação, para a malha composta por barras de 8,0 mm de diâmetro sob carregamento com uma superfície de apoio, o índice de plastificação total em todas as configurações atingiu aproximadamente 16%. Dentro deste grau de incidência, as porcentagens de plastificação parcial não ultrapassaram 16%, consideradas insignificantes sobre a deformação das malhas. Notou-se ainda que quando o operário está caminhando sobre a malha de armadura, a situação é mais crítica, onde mais combinações resultam na plastificação da armadura.

8.3 SIMULAÇÃO EXPERIMENTAL

O concreto fresco vertido sobre uma malha com diâmetro de 12,5 mm não resultou em uma carga significativa, comparando com a carga acidental referente ao operário testada.

Referente à simulação experimental da carga acidental, quando o operário com 100 kg de massa coloca somente uma superfície de apoio (um pé) sobre a barra central, ocasiona uma deformação maior que o limite de tolerância de execução proposto pela norma. Para malha com diâmetro 4,2 mm esta deformação permanente chegou a 17,31 mm, aproximadamente 13 mm acima do indicado na norma.

A partir dos testes realizados em laboratório, o uso de armaduras compostas com barras de diâmetro 4,2 mm e 5,0 mm, com livre tráfego de operários, não é recomendável por apresentar deformação considerável. Além disso, em armaduras negativas o uso de barras com os respectivos diâmetros podem vir a prejudicar a segurança e estabilidade estrutural, principalmente onde a função da armadura é mais exigida, como por exemplo em marquises. Sendo assim, para este tipo de armadura, é sugerido o uso de malhas formadas por barras que sofram deformações menores, como barras de diâmetro 8,0 mm.

Desta forma, a simulação computacional mostrou-se um método eficaz, pois os resultados encontrados na simulação experimental foram condizentes. Assim, é possível estender o estudo para outras condições de carregamento sobre a armadura.

Diante dos resultados, conclui-se que é necessário criar mecanismos para projetar o uso dos espaçadores não só para lajes, mas também para os demais elementos estruturais. Além disso, as referências normativas disponíveis apresentam meios insuficientes para garantir o cobrimento especificado em projeto durante a execução da obra.

Referente à execução, não há padrão normativo no que diz respeito à colocação, fixação e distribuição de espaçadores. Assim, deve-se promover mais estudos sobre este tema para, futuramente, complementar as diretrizes normativas.

8.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, com o progresso dos estudos e ensaios, novas ideias foram surgindo, e com às limitações de uma dissertação, não foram desenvolvidas, tornando-se então, sugestões para trabalhos futuros:

- a) Realizar o levantamento em campo dos cobrimentos, antes e após a concretagem, em obras de outras cidades, de modo a criar um acervo do assunto para discussão técnica;
- b) Efetuar estudos para outros elementos estruturais, utilizando os fatores influentes no cobrimento apresentados nesta pesquisa e adicionando outros observados em normas e execução;
- c) Desenvolver novas configurações de fatores que influenciem na obtenção do cobrimento;
- d) Realizar simulação computacional considerando questões como plasticidade e problema de contato;
- e) Testar outros conjuntos de dados apresentados nesta pesquisa em laboratório, aprimorando o controle do ensaio proposto;
- f) Expandir o estudo laboratorial para execução em obra, observando as melhorias geradas a partir dos cuidados tomados durante a concretagem;

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201** Guide to durable concrete: reported by ACI Committee 201. ACI Materials Journal, 2008.

ANDRADE, M. D. C. P. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. São Paulo: Pini, 1992.

ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão das armaduras: iniciação por cloretos**. 2001. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2001.

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. São Paulo: Pini, 2000. 667p.

AREL, H. Ş; YAZICI, Ş. Concrete-reinforcement bond in diferente concrete classes. In: **Construction and Building Materials**. Vol. 36, pag 78-83. Turkey, 2012

AWOYERA, P. O; ARUM, C; AKINWUMI, I. I. Significance concrete cover to reinforcement in structural elemento at varying temperatures. In: **International Journal of Scientific & Engineering Research**, Volume 5, Issue 6, June, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **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.

BALAFAS, I.; BURGOYNE, C. J. Modeling the structural effects of rust in concrete cover. **Journal of Engineering Mechanics**. vol 137, No 3. UK: 2011.

BAROGHEL-BOUNY, V; CAPRA, B; LAURENS, S. **Durabilidade do Concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente**. Ed. J.P. 615 p. Cap.9. tradução: O. Cascudo. São Paulo: IBRACON, 2014.

BENEDETTI, K. **Sensibilidade da segurança de vigas e lajes de concreto armado a erros de execução**. 2013. 198 f. (Trabalho de conclusão de curso - TCC) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 7973**: Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 1: Product performance requirements. UK, 2001.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (BSI). **BS 7973**: Spacers and chairs for steel reinforcement and their specification – Part 2: Fixing and application of spacers and chairs and tying of reinforcement. UK, 2001.

CAMPOS, D. de. **Cobrimento de armadura em estruturas de concreto armado: análise comparativa entre valores antes, durante e depois da concretagem**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

CAMPOS FILHO, A. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Notas de aula. Departamento de Engenharia Civil - DECIV. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

CASCUDO, O; HELENE, P.R.L. **Resistência à corrosão no concreto dos tipos de armaduras brasileiras para concreto armado**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo: EPUSP, 2001.

CENTAURUS. **Instruções sobre utilização do Sistema CENTAURUS Engesis**. Porto Alegre, 1993.

CLARK, L. A. SHAMMAS-TOMA, M. G. K.; SEYMOUR, D. E.; PALLETT, P. F.; MARSH, B. K. How can we get the cover we need? The Structure Engineer. **Journal of the Institution of Structural Engineers**. Volume 75, Nº 17. UK, 2007.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON (CEB). **Bulletin d'Information No. 201 — Spacers, chairs and tying of steel reinforcement**. Lausanne: Comité Euro-International du Béton, 1990

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.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings**. EN 1992-1.1. Brussels: CEN, 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **Betão: Parte 1 – Especificações, desempenho, produção e conformidade. EN 206-1**, Portugal, 2007.

GENTIL, V. **Corrosão**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996.

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

_____. **Corrosão de armaduras para concreto armado**. São Paulo: Ed. Pini, 1986. 47 p.

_____. **Manual Prático para Reparo e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Ed. Pini, 1992.

_____. **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, 4, CONGRESSO DE CONTROLE DA QUALIDADE, 6, 1997, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: COM PAT-97, 1997. v. 1, p. 1-30.

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

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

MEDEIROS, M. H. F. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos com proteção superficial frente à ação de íons cloretos**. 2008. 156 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

MEDEIROS, M. H. F; ANDRADE, J. J. O; HELENE, P. **Durabilidade e vida útil das estruturas de concreto**. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Ibracon, 2011.

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

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

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 – UFRGS. Porto Alegre, 2014.

MENEZES, L. F.; AZEVEDO, M. T. **Análise da influência do cobrimento das armaduras na durabilidade das estruturas de concreto armado**. Salvador: Universidade Católica de Salvador, 2009. Disponível em: <<http://info.ucsal.br/banmon/index.html>>. Acesso em: novembro 2013.

MERRETZ, W. Achieving concrete cover in construction. **Concrete in Australia**. Vol 36, nº 1. Australia, 2010.

MIGLIAVACCA, D. M; TEIXEIRA, E. C; GERVASONI, F; CONCEIÇÃO, R. V; RODRIGUEZ, M. T. R. Characterization of wet precipitation by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) in the metropolitan area of Porto Alegre, Brazil. **Journal of Hazardous Materials**. Vol 171. p 230-240. Brazil, 2009.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 18:** Condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. 2011.

MOTA, J. M. F.; BARBOSA, F. R.; COSTA E SILVA, A. J.; FRANCO, A. P. G; CARVALHO, J.R. **Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado devido ao Ataque de Íons Cloreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto, 54º, 2012, Maceió. Anais... Maceió: CBC, 2012.

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.

PEREIRA, E.; RESENDE, A.; MEDEIROS M. H. F. de; MENEGHETTI, L. C. Ensaio acelerado por cloretos: efeito da sílica ativa, relação água/aglomerante e espessura de cobrimento do concreto. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 6, n. 4, agosto 2013, p. 561-581, 2013.

POSSAN, E. **Contribuição ao estudo da carbonatação do concreto com adição de sílica ativa em ambiente natural e acelerado.** 2004. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** 2010. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), 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.

RIPPER, E. **Como evitar erros na construção.** 3. ed. São Paulo: Pini, 1996.

ROUGEAU, P; GUIRAUD, P. **Durabilidade do Concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente.** Ed. J.P. 615 p. Cap. 7. tradução: G. C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2014.

ROSTAM, S. **Service life design of concrete structures – A challenge to designers as well as to owners.** Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing). Vol 6, no 5. Denmark, 2005.

SHAW, C. B. **Durability of Reinforcement Concrete.** 2007. Disponível em: <http://www.localsurveyorsdirect.co.uk/sites/default/files/attachments/reinforced%20concrete.pdf>. Acesso em: novembro 2014.

SILVA, O. S. P. **Cobrimento de armadura 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. 86 f. Monografia – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SOLGAARD, A. O. S; MICHEL, A; GEIKER, M; STANG, H. Concrete cover cracking due to uniform reinforcement corrosion. **Material and Structures.** Vol 46. p 1781 – 1799. Denmark, 2013.

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.

TUUTTI, K. **Corrosion of Steel in Concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute.** Stockholm, Suecis, 1982. 30p.

VAQUERO, Julio. Separadores para hormigón estructural. **Zuncho** n13. Septiembre, 2007.

APÊNDICE A: Planilha de coleta de dados em obras

DADOS DA OBRA		VALORES DO COBRIMENTO APÓS A CONCRETAGEM												
Empresa:	Empreendimento:	#	Positivo	Lado A	Fundo	Lado B	Pilar: _____	Topo	Meio	Base	Lado A	Lado B	Lado X	Lado Y
Pavimento:	Data de medição:	1												
NÍVEL DE CONTROLE		2												
- Presença do engenheiro civil responsável?		3												
- Organização e limpeza do canteiro/pavimento medido?		4												
- Possui metodologia na disposição dos espaçadores?		5												
- O empreendimento/empresa possui certificação de qualidade?		6												
Se sim, quais?		7												
VALORES DOS COBRIMENTOS E BITOLAS NO PROJETO ESTRUTURAL		8												
Lajes:		9												
Vigas:		10												
Pilares:		11												
TIPO E DIMENSÃO DE ESPAÇADORES UTILIZADOS E FABRICANTE		12												
Lajes:		13												
Vigas:		14												
Pilares:		15												
OBSERVAÇÕES IMPORTANTES		16												
Informações sobre a empresa:		17												
Tipo de concretagem:		18												
Fck e slump do concreto:		19												
Espaçamento dos espaçadores:		20												
Problemas observados dos espaçadores:		21												
		22												
		23												
		24												
		25												
		26												
		27												
		28												
		29												
		30												

PILARES

VIGAS

LAJES

Obs: Espaçamento médio do escoramento: _____

Especificações dos elementos medidos: _____

APÊNDICE B: Momentos fletores resultantes da simulação computacional com aplicação de carga sobre uma superfície de apoio

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 4,2 mm sobre uma superfície de apoio

Abertura da malha = 20cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
1,0	58,24	121,82	Contato	55,10	93,6	Contato	45,70	95,10	Contato	44,90	95,60	Contato	46,20	95,50	Contato
1,5	76,12	147,17	Contato	73,70	114	Contato	61,60	117,00	Contato	59,40	117,00	Contato	59,70	118,00	Contato
2,0	96,38	192,09	Contato	92,51	140,37	Contato	78,24	144,81	Contato	73,65	141,55	Contato	72,20	138,00	Contato
2,5	115,7	236,09	S/ contato	96,45	160,1	Contato	88,42	148,20	Contato	83,39	148,20	Contato	82,70	151,00	Contato
3,0	115,7	236,09	S/ contato	108,07	169,67	Contato	107,19	184,99	Contato	94,55	161,40	Contato	93,70	167,00	Contato
3,5	115,7	236,09	S/ contato	119,69	180,01	Contato	115,79	183,97	Contato	107,41	183,97	Contato	103,39	180,20	Contato
4,0	115,7	236,09	S/ contato	126,79	191,71	Contato	124,39	192,02	Contato	114,80	186,39	Contato	113,56	192,37	Contato
4,5	115,7	236,09	S/ contato	141,43	220,23	Contato	132,99	198,89	Contato	124,98	198,89	Contato	121,07	200,03	Contato
Abertura da malha = 15cm															
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
1,0	71,63	98,39	Contato	59,45	91,85	Contato	52,4	93,87	Contato	52,09	94,25	Contato	55,38	93,71	Contato
1,5	93,43	114,78	Contato	79,85	114,26	Contato	70,66	115,64	Contato	69,23	116,22	Contato	85,56	115,19	Contato
2,0	116,15	138,39	Contato	100,14	140,90	Contato	82,68	142,26	Contato	85,01	137,37	Contato	84,91	135,84	Contato
2,5	139,80	170,62	Contato	114,72	151,34	Contato	93,39	149,16	Contato	97,74	149,07	Contato	96,92	149,3	Contato
3,0	159,36	192,57	Contato	112,51	162,32	Contato	106,43	165,33	Contato	111,43	165,49	Contato	110,73	170,55	Contato
3,5	177,73	212,24	Contato	126,11	181,28	Contato	119,1	181,87	Contato	122,58	175,55	Contato	119,18	174,95	Contato
4,0	181,55	216,58	S/ contato	138,60	196,89	Contato	128,17	187,54	Contato	133,71	185,75	Contato	129,68	186,78	Contato
4,5	181,55	216,58	S/ contato	148,13	203,41	Contato	138,38	197,20	Contato	144,23	195,22	Contato	139,23	196,24	Contato
Abertura da malha = 10cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
1,0	52,87	106,88	Contato	56,60	72,49	Contato	55,28	77,52	Contato	54,72	66,91	Contato	63,80	86,78	Contato
1,5	64,05	134,09	S/ contato	70,72	100,21	Contato	71,85	99,05	Contato	71,57	94,15	Contato	73,97	92,65	Contato
2,0	64,05	134,09	S/ contato	81,25	115,66	Contato	82,73	105,84	Contato	85,49	112,19	Contato	88,19	113,16	Contato
2,5	64,05	134,09	S/ contato	93,96	131,71	Contato	93,94	128,32	Contato	97,32	124,56	Contato	98,60	123,34	Contato
3,0	64,05	134,09	S/ contato	108,01	147,34	Contato	107,16	144,45	Contato	109,43	136,82	Contato	108,23	131,82	Contato
3,5	64,05	134,09	S/ contato	116,81	152,29	Contato	120,96	144,71	Contato	116,67	139,49	Contato	117,49	139,33	Contato
4,0	64,05	134,09	S/ contato	126,27	157,35	Contato	121,00	148,33	Contato	123,36	140,90	Contato	125,75	144,73	Contato
4,5	64,05	134,09	S/ contato	134,26	162,05	S/ contato	127,94	150,26	Contato	133,07	148,22	Contato	132,71	148,11	Contato
Momento (kN.cm)															

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 5,0 mm sobre uma superfície de apoio

Ø 5,0 mm															
Abertura da malha = 20cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	97,14	192,65	Contato	95,10	149,00	Contato	77,50	142,00	Contato	74,70	141,00	Contato	74,80	137,00	Contato
Cobrimento (cm)	1,0	235,94	S/ contato	122,00	167,00	Contato	101,00	166,00	Contato	97,10	167,00	Contato	96,70	168,00	Contato
	1,5	235,94	S/ contato	132,06	191,38	Contato	132,84	214,35	Contato	115,96	185,68	Contato	115,00	189,00	Contato
	2,0	235,94	S/ contato	157,13	228,50	Contato	147,72	219,42	Contato	137,03	213,50	Contato	132,00	209,00	Contato
	2,5	235,94	S/ contato	177,31	247,91	Contato	162,60	224,98	Contato	155,78	232,87	Contato	147,00	223,00	Contato
	3,0	235,94	S/ contato	198,69	270,43	S/ contato	177,48	231,06	Contato	166,80	234,71	Contato	160,60	233,11	Contato
	3,5	235,94	S/ contato	198,69	270,43	S/ contato	192,36	237,66	Contato	181,96	246,56	Contato	173,58	243,15	Contato
	4,0	235,94	S/ contato	198,69	270,43	S/ contato	207,37	249,81	Contato	191,63	247,48	Contato	186,01	251,66	Contato
4,5	235,94	S/ contato	198,69	270,43	S/ contato	207,37	249,81	Contato	191,63	247,48	Contato	186,01	251,66	Contato	
Abertura da malha = 15cm															
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	115,65	135,00	Contato	93,94	145,66	Contato	88,57	141,10	Contato	85,83	136,90	Contato	98,39	163,52	Contato
Cobrimento (cm)	1,0	159,87	Contato	113,72	162,55	Contato	107,41	165,68	Contato	112,54	165,90	Contato	114,34	169,25	Contato
	1,5	181,62	S/ contato	140,06	196,78	Contato	129,18	187,89	Contato	134,97	186,63	Contato	133,37	186,13	Contato
	2,0	181,62	S/ contato	159,53	211,64	Contato	147,54	202,00	Contato	154,40	201,28	Contato	150,72	200,53	Contato
	2,5	181,62	S/ contato	177,78	225,28	Contato	165,16	216,28	Contato	170,78	210,40	Contato	167,56	214,52	Contato
	3,0	181,62	S/ contato	187,90	231,53	S/ contato	178,36	221,04	Contato	184,83	215,62	Contato	179,43	218,43	Contato
	3,5	181,62	S/ contato	187,90	231,53	S/ contato	191,19	225,77	Contato	186,01	218,30	Contato	188,50	219,11	Contato
	4,0	181,62	S/ contato	187,90	231,53	S/ contato	201,98	227,18	Contato	194,38	218,00	Contato	198,12	219,95	Contato
4,5	181,62	S/ contato	187,90	231,53	S/ contato	201,98	227,18	Contato	194,38	218,00	Contato	198,12	219,95	Contato	
Abertura da malha = 10cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	64,24	133,94	S/ contato	89,90	136,80	Contato	83,55	109,46	Contato	90,21	120,13	Contato	93,02	113,34	Contato
Cobrimento (cm)	1,0	133,94	S/ contato	106,33	140,45	Contato	108,45	143,57	Contato	110,91	136,37	Contato	112,34	132,36	Contato
	1,5	64,24	S/ contato	127,60	157,72	Contato	125,72	152,42	Contato	124,63	140,19	Contato	127,58	141,54	Contato
	2,0	64,24	S/ contato	134,62	161,68	S/ contato	138,04	154,91	Contato	141,24	149,31	Contato	142,14	148,95	Contato
	2,5	64,24	S/ contato	134,62	161,68	S/ contato	150,40	157,37	Contato	154,11	151,58	Contato	154,39	151,58	Contato
	3,0	64,24	S/ contato	134,62	161,68	S/ contato	162,73	159,86	Contato	160,55	155,76	Contato	166,35	154,23	Contato
	3,5	64,24	S/ contato	134,62	161,68	S/ contato	167,57	160,83	S/ contato	170,73	157,98	Contato	173,12	153,71	Contato
	4,0	64,24	S/ contato	134,62	161,68	S/ contato	167,57	160,83	S/ contato	170,73	157,98	Contato	173,12	153,71	Contato
4,5	64,24	S/ contato	134,62	161,68	S/ contato	167,57	160,83	S/ contato	170,73	157,98	Contato	173,12	153,71	Contato	
													Momento (kN.cm)		

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobertura especificada em lajes de concreto armado.

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 6,0 mm sobre uma superfície de apoio

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 20cm														
		20			40			60			80			100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Cobrimto (cm)	1,0	116,15	235,70	S/ contato	155,00	206,00	Contato	127,00	194,00	Contato	121,00	191,00	Contato	122,00	192,00	Contato
	1,5	116,15	235,70	S/ contato	206,00	253,00	Contato	166,00	227,00	Contato	156,00	224,00	Contato	154,00	225,00	Contato
	2,0	116,15	235,70	S/ contato	215,65	260,03	S/ contato	196,56	240,01	Contato	185,00	245,00	Contato	179,00	241,00	Contato
	2,5	116,15	235,70	S/ contato	215,65	260,03	S/ contato	225,08	258,00	Contato	208,23	253,27	Contato	202,00	255,00	Contato
	3,0	116,15	235,70	S/ contato	215,65	260,03	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	226,82	256,20	Contato	219,00	258,00	Contato
	3,5	116,15	235,70	S/ contato	215,65	260,03	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	232,85	257,57	Contato
	4,0	116,15	235,70	S/ contato	215,65	260,03	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	243,34	254,74	Contato
4,5	116,15	235,70	S/ contato	215,65	260,03	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	236,57	260,86	S/ contato	254,06	252,80	Contato	
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 15cm														
		30			45			60			75			105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Cobrimto (cm)	1,0	181,73	216,64	S/ contato	144,58	198,22	Contato	134,75	195,24	Contato	138,99	188,68	Contato	140,78	186,06	Contato
	1,5	181,73	216,64	S/ contato	183,44	228,06	Contato	169,71	218,78	Contato	175,32	211,96	Contato	174,69	213,30	Contato
	2,0	181,73	216,64	S/ contato	187,22	230,35	S/ contato	195,25	225,97	Contato	192,31	221,75	Contato	197,03	218,63	Contato
	2,5	181,73	216,64	S/ contato	187,22	230,35	S/ contato	203,92	227,11	S/ contato	209,78	222,31	Contato	211,72	216,53	Contato
	3,0	181,73	216,64	S/ contato	187,22	230,35	S/ contato	203,92	227,11	S/ contato	220,74	221,53	S/ contato	224,49	213,87	Contato
	3,5	181,73	216,64	S/ contato	187,22	230,35	S/ contato	203,92	227,11	S/ contato	220,74	221,53	S/ contato	235,73	210,67	Contato
	4,0	181,73	216,64	S/ contato	187,22	230,35	S/ contato	203,92	227,11	S/ contato	220,74	221,53	S/ contato	248,51	208,05	Contato
4,5	181,73	216,64	S/ contato	187,22	230,35	S/ contato	203,92	227,11	S/ contato	220,74	221,53	S/ contato	250,47	206,54	S/ contato	
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 10cm														
		20			40			60			80			100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Cobrimto (cm)	1,0	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	129,05	152,52	Contato	132,17	147,03	Contato	135,72	144,25	Contato
	1,5	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	154,60	157,68	Contato	159,15	151,96	Contato	162,00	151,34	Contato
	2,0	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	168,90	160,57	S/ contato	182,08	154,61	Contato	179,13	152,51	Contato
	2,5	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	168,90	160,57	S/ contato	191,18	155,95	Contato	193,38	151,49	Contato
	3,0	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	168,90	160,57	S/ contato	193,83	155,89	S/ contato	205,30	149,48	Contato
	3,5	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	168,90	160,57	S/ contato	193,83	155,89	S/ contato	215,16	148,32	S/ contato
	4,0	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	168,90	160,57	S/ contato	193,83	155,89	S/ contato	215,16	148,32	S/ contato
4,5	64,69	133,64	S/ contato	135,16	161,14	S/ contato	168,90	160,57	S/ contato	193,83	155,89	S/ contato	215,16	148,32	S/ contato	

Momento (KN.cm)

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 6,3 mm sobre uma superfície de apoio

Ø 6,3 mm																
Abertura da malha = 20cm																
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100			
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fletor - carga	1,0	116,24	235,62	S/ contato	177,00	225,00	Contato	145,00	210,00	Contato	139,00	212,00	Contato	138,00	208,00	Contato
Cobrimento (cm)	1,5	116,24	235,62	S/ contato	234,00	274,00	Contato	188,00	244,00	Contato	176,00	237,00	Contato	173,00	237,00	Contato
	2,0	116,24	235,62	S/ contato	215,74	260,03	S/ contato	221,20	255,07	Contato	206,22	253,00	Contato	201,00	253,00	Contato
	2,5	116,24	235,62	S/ contato	215,74	260,03	S/ contato	236,45	260,92	S/ contato	228,50	255,82	Contato	222,10	258,02	Contato
	3,0	116,24	235,62	S/ contato	215,74	260,03	S/ contato	236,45	260,92	S/ contato	247,87	255,05	Contato	238,22	257,00	Contato
	3,5	116,24	235,62	S/ contato	215,74	260,03	S/ contato	236,45	260,92	S/ contato	254,07	254,81	S/ contato	250,03	253,40	Contato
	4,0	116,24	235,62	S/ contato	215,74	260,03	S/ contato	236,45	260,92	S/ contato	254,07	254,81	S/ contato	261,84	249,87	Contato
	4,5	116,24	235,62	S/ contato	215,74	260,03	S/ contato	236,45	260,92	S/ contato	254,07	254,81	S/ contato	268,47	247,89	Contato
Abertura da malha = 15cm																
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105			
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fletor - carga	1,0	181,77	216,65	S/ contato	163,21	213,63	Contato	150,89	206,47	Contato	156,61	201,57	Contato	160,30	204,84	Contato
Cobrimento (cm)	1,5	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	187,23	224,12	Contato	186,16	219,43	Contato	191,12	216,76	Contato
	2,0	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	204,01	227,01	S/ contato	208,89	221,87	Contato	211,40	216,33	Contato
	2,5	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	204,01	227,01	S/ contato	221,82	220,99	S/ contato	226,98	213,06	Contato
	3,0	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	204,01	227,01	S/ contato	221,82	220,99	S/ contato	240,39	209,10	Contato
	3,5	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	204,01	227,01	S/ contato	221,82	220,99	S/ contato	251,57	206,11	S/ contato
	4,0	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	204,01	227,01	S/ contato	221,82	220,99	S/ contato	252,51	205,73	S/ contato
	4,5	181,77	216,65	S/ contato	187,66	230,14	S/ contato	204,01	227,01	S/ contato	221,82	220,99	S/ contato	252,51	205,73	S/ contato
Abertura da malha = 10cm																
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100			
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fletor - carga	1,0	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	140,63	154,59	Contato	143,51	147,93	Contato	148,60	Contato	
Cobrimento (cm)	1,5	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	177,18	154,96	Contato	175,97	152,70	Contato
	2,0	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	198,75	153,22	S/ contato	191,77	150,87	Contato
	2,5	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	198,75	153,22	S/ contato	208,12	149,78	Contato
	3,0	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	198,75	153,22	S/ contato	217,30	147,91	S/ contato
	3,5	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	198,75	153,22	S/ contato	217,30	147,91	S/ contato
	4,0	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	198,75	153,22	S/ contato	217,30	147,91	S/ contato
	4,5	64,77	133,57	S/ contato	133,99	160,14	S/ contato	169,28	160,46	S/ contato	198,75	153,22	S/ contato	217,30	147,91	S/ contato

Momento (KN.cm)

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 8,0 mm sobre uma superfície de apoio
Ø 8,0 mm

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 20cm														
		20			40			60			80			100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Cobrimto (cm)	1,0	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	256,00	233,00	254,00	Contato	
	1,5	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	267,00	248,00	Contato	
	2,0	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	279,00	243,00	S/ contato	
	2,5	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	279,00	243,00	S/ contato	
	3,0	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	279,00	243,00	S/ contato	
	3,5	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	279,00	243,00	S/ contato	
	4,0	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	279,00	243,00	S/ contato	
4,5	116,84	235,09	S/ contato	216,00	260,00	S/ contato	236,00	261,00	S/ contato	236,00	253,00	279,00	243,00	S/ contato		
Abertura da malha = 15cm																
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 15cm														
		30			45			60			75			105		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Cobrimto (cm)	1,0	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	238,48	208,08	Contato	
	1,5	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato	
	2,0	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato	
	2,5	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato	
	3,0	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato	
	3,5	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato	
	4,0	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato	
4,5	182,00	216,73	S/ contato	190,56	228,76	S/ contato	204,54	226,37	S/ contato	232,35	215,03	266,00	200,47	S/ contato		
Abertura da malha = 10cm																
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 10cm														
		20			40			60			80			100		
Mom. fletor - carga	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Cobrimto (cm)	1,0	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	220,54	146,47	Contato	
	1,5	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato	
	2,0	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato	
	2,5	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato	
	3,0	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato	
	3,5	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato	
	4,0	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato	
4,5	65,31	132,96	S/ contato	136,39	159,67	S/ contato	171,77	159,69	S/ contato	205,45	152,64	231,37	145,19	S/ contato		

Momento (KN.cm)

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 10,0 mm sobre uma superfície de apoio

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 20cm														
		20			40			60			80			100		
		Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	1,0	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
	2,0	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
	2,5	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
	3,0	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
	3,5	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
Mom. fletor - carga	4,0	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
4,5	117,72	234,32	S/ contato	217,00	260,00	S/ contato	235,00	262,00	262,00	S/ contato	265,00	251,00	S/ contato	294,00	237,00	S/ contato
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 15cm														
		30			45			60			75			105		
		Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	1,0	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
	2,0	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
	2,5	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
	3,0	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
	3,5	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
Mom. fletor - carga	4,0	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
4,5	182,36	216,85	S/ contato	194,64	226,75	S/ contato	205,34	225,39	262,00	S/ contato	236,94	213,95	S/ contato	285,97	192,81	S/ contato
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 10cm														
		20			40			60			80			100		
		Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	1,0	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
	2,0	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
	2,5	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
	3,0	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
	3,5	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
Mom. fletor - carga	4,0	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato
4,5	66,21	132,29	S/ contato	139,74	158,91	S/ contato	174,94	157,62	157,62	S/ contato	214,93	151,76	S/ contato	252,78	141,13	S/ contato

Momento (KN.cm)

APÊNDICE C: Momentos fletores resultantes da simulação computacional com aplicação de carga sobre duas superfícies de apoio

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 4,2 mm sobre duas superfícies de apoio															
Ø 4,2 mm															
Abertura da malha = 20cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	152,14	73,90	S/ contato	171,50	60,21	Contato	173,59	61,35	Contato	170,95	59,12	Contato	171,35	65,27	Contato
Cobrimto (cm)	152,14	73,90	S/ contato	208,54	69,79	Contato	202,70	63,98	Contato	199,27	61,43	Contato	201,86	63,04	Contato
	152,14	73,90	S/ contato	215,18	71,05	S/ contato	224,33	63,79	Contato	220,20	61,16	Contato	219,16	60,53	Contato
	152,14	73,90	S/ contato	215,18	71,05	S/ contato	237,13	62,46	S/ contato	236,39	60,04	Contato	236,15	59,99	Contato
	152,14	73,90	S/ contato	215,18	71,05	S/ contato	237,13	62,46	S/ contato	247,74	57,30	Contato	245,11	57,12	Contato
	152,14	73,90	S/ contato	215,18	71,05	S/ contato	237,13	62,46	S/ contato	250,08	56,43	S/ contato	253,07	54,31	Contato
	152,14	73,90	S/ contato	215,18	71,05	S/ contato	237,13	62,46	S/ contato	250,08	56,43	S/ contato	259,07	51,63	S/ contato
	152,14	73,90	S/ contato	215,18	71,05	S/ contato	237,13	62,46	S/ contato	250,08	56,43	S/ contato	259,07	51,63	S/ contato
Abertura da malha = 15cm															
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	176,65	70,28	S/ contato	170,93	59,45	Contato	171,05	59,21	Contato	175,18	61,33	Contato	179,04	62,62	Contato
Cobrimto (cm)	176,65	70,28	S/ contato	201,79	63,10	Contato	197,90	60,23	Contato	197,75	60,13	Contato	198,27	60,27	Contato
	176,65	70,28	S/ contato	203,41	63,25	S/ contato	216,34	58,90	S/ contato	214,83	57,72	Contato	213,82	57,58	Contato
	176,65	70,28	S/ contato	203,41	63,25	S/ contato	216,44	58,87	S/ contato	226,43	55,23	S/ contato	225,14	54,51	Contato
	176,65	70,28	S/ contato	203,41	63,25	S/ contato	216,45	58,86	S/ contato	226,43	55,23	S/ contato	234,11	51,51	Contato
	176,65	70,28	S/ contato	203,41	63,25	S/ contato	216,45	58,86	S/ contato	226,43	55,23	S/ contato	240,28	49,10	S/ contato
	176,65	70,28	S/ contato	203,41	63,25	S/ contato	216,45	58,86	S/ contato	226,43	55,23	S/ contato	240,28	49,10	S/ contato
	176,65	70,28	S/ contato	203,41	63,25	S/ contato	216,45	58,86	S/ contato	226,43	55,23	S/ contato	240,28	49,10	S/ contato
Abertura da malha = 10cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	78,49	57,53	S/ contato	123,23	62,22	Contato	124,64	60,21	Contato	120,99	57,98	Contato	119,61	56,92	Contato
Cobrimto (cm)	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	147,18	61,14	Contato	142,89	58,55	Contato	143,05	58,63	Contato
	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	168,48	60,89	Contato	170,14	59,50	Contato	165,03	58,46	Contato
	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	176,20	60,37	S/ contato	182,21	58,18	Contato	177,74	57,13	Contato
	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	176,20	60,37	S/ contato	192,96	56,07	S/ contato	188,69	55,47	Contato
	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	176,20	60,37	S/ contato	192,96	56,07	S/ contato	199,08	53,77	Contato
	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	176,20	60,37	S/ contato	192,96	56,07	S/ contato	204,37	52,18	S/ contato
	78,49	57,53	S/ contato	144,94	64,16	S/ contato	176,20	60,37	S/ contato	192,96	56,07	S/ contato	204,37	52,18	S/ contato

Momento (KN.cm)

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 5,0 mm sobre duas superfícies de apoio
Ø 5,0 mm

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 20cm																			
		20				40				60				80				100			
		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fleitor - carga	1,0	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	224,79	63,85	Contato	221,30	62,83	Contato	222,45	64,09	Contato					
Cobrimento (cm)	1,5	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	248,07	57,28	Contato	245,97	57,50	Contato					
	2,0	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	251,41	56,05	S/ contato	259,72	51,49	Contato					
	2,5	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	251,41	56,05	S/ contato	262,21	50,41	S/ contato					
	3,0	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	251,41	56,05	S/ contato	262,21	50,41	S/ contato					
	3,5	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	251,41	56,05	S/ contato	262,21	50,41	S/ contato					
	4,0	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	251,41	56,05	S/ contato	262,21	50,41	S/ contato					
	4,5	152,14	73,90	S/ contato	215,37	71,06	S/ contato	236,91	62,58	S/ contato	251,41	56,05	S/ contato	262,21	50,41	S/ contato					
Abertura da malha = 15cm																					
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 15cm																			
		30				45				60				75				105			
		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fleitor - carga	1,0	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	215,73	56,55	Contato	214,90	57,09	Contato	216,24	57,66	Contato					
Cobrimento (cm)	1,5	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	215,93	53,09	Contato	227,37	55,09	S/ contato	235,48	51,55	Contato					
	2,0	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	216,00	59,02	S/ contato	227,37	55,09	S/ contato	245,29	47,39	Contato					
	2,5	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	216,00	59,02	S/ contato	227,37	55,09	S/ contato	244,36	47,77	S/ contato					
	3,0	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	216,00	59,02	S/ contato	227,37	55,09	S/ contato	244,36	47,77	S/ contato					
	3,5	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	216,00	59,02	S/ contato	227,37	55,09	S/ contato	244,36	47,77	S/ contato					
	4,0	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	216,00	59,02	S/ contato	227,37	55,09	S/ contato	244,36	47,77	S/ contato					
	4,5	176,73	70,31	S/ contato	203,69	63,27	S/ contato	216,00	59,02	S/ contato	227,37	55,09	S/ contato	244,36	47,77	S/ contato					
Abertura da malha = 10cm																					
Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 10cm																			
		20				40				60				80				100			
		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma		Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fleitor - carga	1,0	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,90	60,49	Contato	170,35	59,52	Contato	165,75	58,38	Contato					
Cobrimento (cm)	1,5	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	193,32	56,25	Contato	191,51	55,30	Contato					
	2,0	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	194,96	55,89	S/ contato	208,63	51,36	S/ contato					
	2,5	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	194,96	55,89	S/ contato	208,63	51,36	S/ contato					
	3,0	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	194,96	55,89	S/ contato	208,63	51,36	S/ contato					
	3,5	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	194,96	55,89	S/ contato	208,63	51,36	S/ contato					
	4,0	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	194,96	55,89	S/ contato	208,63	51,36	S/ contato					
	4,5	78,46	57,52	S/ contato	145,24	64,23	S/ contato	175,75	60,38	S/ contato	194,96	55,89	S/ contato	208,63	51,36	S/ contato					

Momento (KN.cm)

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 6,0 mm sobre duas superfícies de apoio

Ø 6,0 mm

Abertura da malha = 20cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	152,14	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	262,29	50,47	Contato
Cobrimento (cm)	1,0	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato
	1,5	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato
	2,0	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato
	2,5	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato
	3,0	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato
3,5	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato	
4,0	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato	
4,5	73,90	S/ contato	215,65	71,09	S/ contato	236,57	62,76	S/ contato	253,40	55,47	S/ contato	266,89	48,62	S/ contato	
Abertura da malha = 15cm															
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	176,84	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,25	59,27	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	249,46	46,38	Contato
Cobrimento (cm)	1,0	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato
	1,5	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato
	2,0	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato
	2,5	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato
	3,0	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato
3,5	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato	
4,0	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato	
4,5	70,37	S/ contato	204,12	63,29	S/ contato	215,34	59,25	S/ contato	228,77	54,87	S/ contato	250,47	45,85	S/ contato	
Abertura da malha = 10cm															
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100		
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	78,41	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,0	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato
	1,5	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato
	2,0	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato
	2,5	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato
	3,0	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato
3,5	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato	
4,0	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato	
4,5	57,59	S/ contato	145,69	64,34	S/ contato	176,33	60,65	S/ contato	197,88	55,62	S/ contato	214,99	50,12	S/ contato	

Momento (kN.cm)

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 6,3 mm sobre duas superfícies de apoio
Ø 6,3 mm

Abertura da malha = 20cm																
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100			
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fletor - carga	1,0	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
	2,0	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
	2,5	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
	3,0	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
	3,5	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
	4,0	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato
4,5	152,13	73,90	S/ contato	215,74	71,09	S/ contato	236,45	62,82	S/ contato	254,07	55,30	S/ contato	268,47	48,02	S/ contato	
Abertura da malha = 15cm																
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105			
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fletor - carga	1,0	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
	2,0	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
	2,5	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
	3,0	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
	3,5	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
	4,0	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato
4,5	176,87	70,37	S/ contato	204,26	63,30	S/ contato	215,11	59,33	S/ contato	229,24	54,79	S/ contato	252,51	45,20	S/ contato	
Abertura da malha = 10cm																
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100			
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	
Mom. fletor - carga	1,0	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
	2,0	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
	2,5	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
	3,0	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
	3,5	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
	4,0	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato
4,5	78,40	57,48	S/ contato	145,84	64,38	S/ contato	175,59	60,55	S/ contato	198,91	55,54	S/ contato	217,13	49,71	S/ contato	
																Momento (KN.cm)

Análise da influência da distribuição de espaçadores na garantia da espessura de cobrimento especificada em lajes de concreto armado.

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 8,0 mm sobre duas superfícies de apoio

Ø 8,0 mm																		
Abertura da malha = 20cm																		
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100					
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma			
Mom. fletor - carga	1,0	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	1,5	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	2,0	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	2,5	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	3,0	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	3,5	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	4,0	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
	4,5	152,12	73,90	S/ contato	71,17	S/ contato	216,35	71,17	S/ contato	235,70	63,21	S/ contato	258,47	54,04	S/ contato	278,83	44,09	S/ contato
Abertura da malha = 15cm																		
Distrib. Espaçadores	30			45			60			75			105					
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma			
Mom. fletor - carga	1,0	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	1,5	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	2,0	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	2,5	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	3,0	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	3,5	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	4,0	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
	4,5	177,11	70,48	S/ contato	63,36	S/ contato	205,19	63,36	S/ contato	213,64	59,83	S/ contato	232,35	54,33	S/ contato	266,00	41,07	S/ contato
Abertura da malha = 10cm																		
Distrib. Espaçadores	20			40			60			80			100					
	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma			
Mom. fletor - carga	1,0	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	1,5	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	2,0	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	2,5	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	3,0	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	3,5	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	4,0	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
	4,5	78,29	57,43	S/ contato	64,63	S/ contato	146,84	64,63	S/ contato	176,54	61,08	S/ contato	205,40	54,95	S/ contato	231,72	46,96	S/ contato
Momento (kN.cm)																		

Momento positivo resultante do carregamento e contato com a fôrma para malha com barras diâmetro 10,0 mm sobre duas superfícies de apoio

Ø 10,0 mm

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 20cm														
		20			40			60			80			100		
		Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	1,0	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato
	2,0	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato
	2,5	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato
	3,0	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato
	3,5	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato
4,0	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato	
4,5	152,10	73,89	S/ contato	217,26	71,25	S/ contato	234,59	63,77	S/ contato	264,98	52,23	S/ contato	294,17	38,38	S/ contato	

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 15cm														
		30			45			60			75			105		
		Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	1,0	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato
	2,0	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato
	2,5	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato
	3,0	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato
	3,5	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato
4,0	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato	
4,5	177,46	70,64	S/ contato	206,58	63,43	S/ contato	211,46	60,59	S/ contato	236,94	53,65	S/ contato	285,98	35,18	S/ contato	

Distrib. Espaçadores		Abertura da malha = 10cm														
		20			40			60			80			100		
		Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma	Negativo	Positivo	Fôrma
Mom. fletor - carga	1,0	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato
Cobrimento (cm)	1,5	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato
	2,0	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato
	2,5	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato
	3,0	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato
	3,5	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato
4,0	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato	
4,5	78,14	57,35	S/ contato	148,32	64,95	S/ contato	174,94	61,27	S/ contato	215,13	54,08	S/ contato	252,03	42,94	S/ contato	

Momento (KN.cm)