

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

**Bianca Funk Weimer**

**ESTUDO SOBRE OS CRITÉRIOS PARA O PROJETO  
ESTRUTURAL DO SISTEMA DE ESCORAMENTOS DE  
LAJES DE CONCRETO ARMADO EM  
EDIFICAÇÕES COMERCIAIS**

Porto Alegre  
dezembro 2014

**BIANCA FUNK WEIMER**

**ESTUDO SOBRE OS CRITÉRIOS PARA O PROJETO  
ESTRUTURAL DO SISTEMA DE ESCORAMENTOS DE  
LAJES DE CONCRETO ARMADO EM  
EDIFICAÇÕES COMERCIAIS**

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

**Orientador: João Ricardo Masuero**  
**Coorientador: Paulo Fernando Salvador**

Porto Alegre  
dezembro 2014

**BIANCA FUNK WEIMER**

**ESTUDO SOBRE OS CRITÉRIOS PARA O PROJETO  
ESTRUTURAL DO SISTEMA DE ESCORAMENTOS DE  
LAJES DE CONCRETO ARMADO EM  
EDIFICAÇÕES COMERCIAIS**

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

Porto Alegre, dezembro de 2014

Prof. João Ricardo Masuero  
Dr. pelo PPGEC/UFRGS  
Orientador

Prof. Paulo Fernando Salvador  
Dr. pelo PPGEC/UFRGS  
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Dra. pelo PPGA/UFRGS  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

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

**Prof. Paulo Fernando Salvador**  
(Univates)  
Dr. pela UFRGS

**Prof. Américo Campos Filho**  
(UFRGS)  
Dr. pela USP

**Profa. Virgínia Maria Rosito D'Avila Bessa**  
(UFRGS)  
Dra. Pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Ivo e Bernadete, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. João Ricardo Masuero, orientador deste trabalho, por exercer de maneira impecável sua função, auxiliando-me, incondicionalmente, na elaboração desse trabalho.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt pelo constante acompanhamento e dedicação voltados à estruturação desse trabalho.

Agradeço aos amigos que estiveram presentes ao longo da minha graduação e, especialmente, durante a concepção desse trabalho, que me deram o apoio necessário e que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse concluí-lo com êxito.

Você nunca sabe a força que tem. Até que a sua única  
alternativa é ser forte.

*Johnny Depp*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre os parâmetros a serem considerados no projeto estrutural de escoramentos em lajes de concreto armado de edificações comerciais. O propósito do trabalho é obter subsídios para determinar a disposição do escoramento remanescente, de modo que as solicitações na fase construtiva possam ser suportadas pela estrutura de concreto, que é projetada para o uso final, sem que sejam causados danos à mesma. Para estimar as cargas existentes durante essa fase, buscou-se, na literatura, um modelo de cálculo simplificado que permitisse analisar a transferência de cargas entre escoras em função do tipo de cimento utilizado, do ciclo de execução e do número de pavimentos conectados pelo escoramento remanescente. O modelo utilizado foi o proposto por Grundy e Kabaila. Foram escolhidos vários tamanhos de lajes retangulares, com diferentes condições de vinculação nas suas bordas, as quais foram projetadas, primeiramente, para as cargas de projeto, através do uso de coeficientes de ponderação para carregamentos de longa duração. Foram estimadas, a partir das taxas de armadura obtidas, as solicitações correspondentes às cargas na fase construção, através do uso de coeficientes de ponderação para carregamentos de curta duração. A partir disso, foram realizados testes em que o número e a disposição das escoras variavam progressivamente, buscando-se encontrar momentos gerados pelas cargas construtivas menores ou iguais aos momentos máximos admissíveis de curta duração. Os resultados encontrados mostraram que somente lajes muito pequenas, nas quais a totalidade das armaduras foram armaduras mínimas, possuem resistência suficiente para suportar a carga gerada pelos escoramentos, durante a fase de construção, com os coeficientes de segurança indicados por norma. Para outros casos, não é possível estabelecer uma disposição de escoramento que atenda ao critério de segurança. Embora o sistema de escoramento gere solicitações maiores que as correspondentes às cargas de serviço, os momentos resistentes limites últimos das lajes não foram ultrapassados, exceto em poucos casos não usuais em que apenas uma escora central era utilizada. Como regra geral, os resultados obtidos no estudo apontam para que as lajes devam ser projetadas tanto para as cargas de serviço quanto para as cargas decorrentes da etapa de construção.

Palavras-chave: Escoramento de Estruturas de Concreto Armado.  
Sistema de Escoramento Remanescente. Transferência de Cargas entre Escoras.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa .....	20
Figura 2 – Plano de retirada do reescoramento .....	29
Figura 3 – Estudo de Grundy e Kabaila com três jogos de escoras e $E_c$ variável .....	34
Figura 4 – Estudo de França com três jogos de escoras e $E_c$ variável .....	35
Figura 5 – Fatores de carga médio do pavimento 3 em função da idade .....	36
Figura 6 – Cinco primeiros eventos de Grundy e Kabaila .....	38
Figura 7 – Fatores de carga construtiva nos pontaletes sob o 7º pavimento .....	42
Figura 8 – Fatores de carga construtiva nos pontaletes sob o 8º pavimento .....	43
Figura 9 – Fator de carga aplicada pelos pontaletes no 7º pavimento .....	44
Figura 10 – Eventos com os valores de $k$ correspondentes .....	49
Figura 11 – Malha de elementos de barra do modelo de grelha .....	55
Figura 12 – Laje 3x3 com três bordas engastadas .....	59
Figura 13 – Configuração de 25 escoras para laje 3x3 com três bordas engastadas .....	61
Figura 14 – Configuração de uma escora para laje 3x3 com três bordas engastadas .....	62
Figura 15 – Configuração de duas escoras para laje 3x3 com três bordas engastadas .....	63
Figura 16 – Configuração de quatro escoras para laje 3x3 com três bordas engastadas ..	64
Figura 17 – Condições de vinculação das lajes .....	65



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Análise das variáveis que possivelmente influenciam nos fatores de carga .	32
Quadro 2 – Fatores de carga ( $k$ ) aplicados pelas escoras nos pavimentos: envoltória de máximos e mínimos .....	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficientes de crescimento de $E$ .....	38
Tabela 2 – Coeficientes de crescimento de $E$ para $s = 20$ .....	48
Tabela 3 – Momentos para as lajes com relação entre lados igual 1,0 .....	67
Tabela 4 – Momentos para as lajes com relação entre lados igual 1,5 .....	68
Tabela 5 – Momentos para as lajes com relação entre lados igual 2,0 .....	69
Tabela 6 – Disposições de escoras para lajes com relação entre lados igual a 1,0 .....	72
Tabela 7 – Disposições de escoras para lajes com relação entre lados igual a 1,5 .....	73
Tabela 8 – Disposições de escoras para lajes com relação entre lados igual a 2,0 .....	74

## **LISTA DE SIGLAS**

ABECE – Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural

CEB – *Comité Euro-Internacional du Beton*

CP – cimento Portland

CREA-PI – Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura do Piauí

FIP – *Fédération Internationale de la Précontrainte*

NBR – Norma Brasileira

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

$f_{cm}(t)$  – resistência média à compressão do concreto para a idade  $t$  (MPa)

$f_{cm}$  – resistência média à compressão do concreto aos 28 dias (MPa)

$\beta_{cc}(t)$  – coeficiente que depende da idade do concreto  $t$  (adimensional)

$t$  – idade do concreto (dia)

$t_1$  – um (dia)

$s$  – coeficiente que depende do tipo de cimento (adimensional)

$\beta_1(t)$  – coeficiente que depende da idade do concreto (adimensional)

$f_{ckj}$  – resistência característica à compressão do concreto correspondente à idade fictícia  $j$  (MPa)

$f_{ck}$  – resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias (MPa)

$f_{cd}$  – resistência de cálculo à compressão do concreto aos 28 dias (MPa)

$E_{ci}(t)$  – módulo de elasticidade do concreto para a idade  $t$  (MPa)

$E_{ci}$  – módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias (MPa)

$\beta_E(t)$  – coeficiente que depende da idade do concreto  $t$  (adimensional)

$f_c(t)$  – resistência à compressão do concreto na idade em que se pretende estimar o módulo de elasticidade (MPa)

$f_c$  – resistência à compressão do concreto (MPa)

$k$  – fator de carga construtiva no pavimento ou na escora (adimensional)

$E_R$  – módulo de elasticidade resultante (MPa)

$\Delta P$  – acréscimo de carga (adimensional)

$\alpha_E$  – parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade (adimensional)

$I_x$  – inércia torcional ( $m^4$ )

$I_y$  – inércia de flexão ( $m^4$ )

$b$  – base da seção retangular (m)

$h$  – altura da seção retangular (m)

$\nu$  – coeficiente de Poisson (adimensional)

$\gamma_f$  – coeficiente de ponderação das ações (adimensional)

$\gamma_c$  – coeficiente de ponderação da resistência do concreto (adimensional)

$\gamma_s$  – coeficiente de ponderação da resistência do aço (adimensional)

$P$  – carga da escora (kN)

$A_{inf}$  – área de influência da escora ( $m^2$ )

$h_{laje}$  – espessura da laje (m)

$\gamma_{conc}$  – peso específico do concreto armado ( $kN/m^3$ )

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	18
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	18
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	18
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	18
2.3 PRESSUPOSTO .....	19
2.4 PREMISA .....	19
2.5 DELIMITAÇÕES .....	19
2.6 LIMITAÇÕES .....	19
2.7 DELINEAMENTO .....	19
<b>3 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS EXISTENTES</b> .....	22
3.1 PROJETO DE ESCORAMENTOS .....	22
3.2 CRESCIMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO .....	24
<b>3.2.1 Resistência à compressão</b> .....	24
<b>3.2.2 Módulo de elasticidade</b> .....	25
<b>4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCORAMENTO REMANESCENTE E REESCORAMENTO</b> .....	28
<b>5 MODELOS TEÓRICOS SIMPLIFICADOS PARA TRANSFERÊNCIA DE CARGAS ENTRE PAVIMENTOS</b> .....	31
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	31
5.2 MÉTODO SIMPLIFICADO DE GRUNDY E KABAILA .....	33
<b>5.2.1 Distribuição das ações construtivas</b> .....	33
<b>5.2.2 Estimativa teórica dos fatores de carga</b> .....	36
<b>6 CORREÇÕES BASEADAS EM RESULTADOS EXPERIMENTAIS</b> .....	42
<b>7 CONSIDERAÇÕES DO MODELO DE CÁLCULO</b> .....	46
7.1 CARGAS DE PROJETO .....	46
7.2 CARGAS CONSTRUTIVAS .....	46
<b>7.2.1 Cálculo do fator de carga</b> .....	48
<b>7.2.2 Disposição das escoras nas lajes</b> .....	53
7.3 ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES EM LAJES .....	54
7.4 PROJETO DA LAJE .....	56
7.5 EXEMPLO DE SIMULAÇÃO DAS SOLICITAÇÕES PARA UMA LAJE QUADRADA .....	59

<b>8 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
<b>9 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>77</b>
9.1 CONCLUSÕES .....	77
9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	77
REFERÊNCIAS .....	79





## 1 INTRODUÇÃO

Escoramentos são estruturas de suporte provisórias, metálicas ou de madeira, que têm a função de apoiar as fôrmas de vigas e de lajes e de suportar cargas provenientes do peso próprio do pavimento superior e cargas acidentais da etapa construtiva, quando o concreto deste pavimento ainda não alcançou resistência e rigidez suficiente para suportar essas cargas. Os escoramentos, conhecidos também como pontalotes, transmitem os esforços aos pavimentos inferiores e/ou ao contrapiso no nível da fundação.

A indústria da construção civil sofreu progressivos avanços em suas técnicas construtivas, bem como na gestão dos processos envolvidos na execução das edificações. As melhorias são evidenciadas, principalmente, no adiantamento do prazo de realização das obras, mais precisamente na redução de tempo entre a concretagem de pavimentos consecutivos, e do consequente retorno financeiro dos investimentos (SALVADOR, 2013, p. 20).

Segundo o mesmo autor, na medida em que a edificação vai se elevando, os escoramentos, podem ser distribuídos por vários pavimentos. Em geral, os pavimentos inferiores àquele imediatamente abaixo da laje que está sendo concretada permanecem com um número reduzido de escoras, sendo esse escoramento chamado de escoramento remanescente<sup>1</sup> ou reescoramento<sup>2</sup>. Quando o tempo entre concretagens de pavimentos sucessivos é pequeno, é necessário que sejam preservados escoramentos em mais de um pavimento inferior ao que está sendo concretado, pois o concreto dos pavimentos inferiores ainda não atingiu a sua resistência máxima. Tal sistema de escoramentos gera a transmissão de esforços entre pavimentos de diversas idades. O ideal seria existir um modelo estrutural para previsão de cargas que contemplasse essa transferência, adotando-se propriedades mecânicas diferentes a cada pavimento.

Salvador (2013, p. 20) ainda afirma que a retirada precoce de escoramentos faz com que o pavimento se deforme mais que o previsto em projeto, já que o mesmo ainda não possui

---

<sup>1</sup> Escoramento remanescente é a parcela do escoramento original que permanece instalada quando algumas escoras são retiradas (SALVADOR, 2013, p. 22).

<sup>2</sup> Reescoramento é aquele que substitui, total ou parcialmente, as escoras originais removidas (SALVADOR, 2013, p. 22).

rigidez suficiente. Isso possibilita o aparecimento de fissuras tanto na região tracionada quanto na comprimida. Esse fato torna imprescindível que verificações de projeto sejam previstas para o estágio de construção da edificação e não apenas para a situação após sua finalização.

A fissuração das estruturas de concreto é o principal problema de origem patológica que as edificações podem apresentar. Além de causarem desconforto psicológico aos usuários, as fissuras podem comprometer o desempenho e segurança final da obra, já que possibilitam a entrada da água na estrutura, bem como de outros agentes agressivos, diminuindo sua durabilidade, como também servem de advertência para um possível estado perigoso do elemento estrutural e da edificação como um todo (THOMAZ, 1989, p. 15).

Segundo a NBR 15696, sobre projeto de fôrmas e escoramentos, deve-se ter certeza de que, antes da remoção dos escoramentos, as ações a que os elementos estruturais estarão submetidos já possam ser suportadas com segurança pelos mesmos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 10). Contudo, a mesma norma não fornece nenhum subsídio para avaliar as cargas provenientes desse processo construtivo. Igualmente, a NBR 6120/1980, sobre cargas para o cálculo de edificações, não disponibiliza nenhum recurso para a avaliação das ações acidentais decorrentes do processo de construção ou decorrentes do escoramento. A NBR 6118/2014 também não oferece subsídios para a avaliação da estrutura enquanto escorada.

Cabe salientar que acidentes envolvendo o desabamento de estruturas de concreto, durante a fase construção, são bastante frequentes. Segundo Prado (1999, p. 5), “[...] nos últimos 25 anos ocorreram mais de 85 colapsos em estruturas durante a construção só nos Estados Unidos.”. Kaminetzy e Stivaros<sup>3</sup> (1994 apud PRADO, 1999, p. 5) afirmam que tais colapsos foram causados ou devido à sobrecarga proveniente do processo construtivo, ou devido à incapacidade mecânica do concreto, causando a ruptura de escoras e também a ruína das estruturas de concreto. No ano passado, na cidade de Teresina, parte da obra de construção de um *shopping* desabou. De acordo o laudo técnico apresentado pelo CREA-PI<sup>4</sup>, a queda da estrutura teve como causa a retirada precoce de escoras que sustentavam uma das lajes (CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PIAUÍ, 2013).

---

<sup>3</sup> KAMINETZY, D. V.; STIVAROS, P. C. Early-age concrete: construction loads, behaviour and failures. *ACI Concrete International*, Farmington Hills, USA, v. 16, n. 1, p. 58-63, Jan. 1994.

<sup>4</sup> CREA-PI – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Piauí.

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a transferência de cargas entre os pavimentos de uma edificação através da utilização de um modelo de cálculo em que seja possível estimar as cargas oriundas da etapa construtiva e minimizar os efeitos prejudiciais sobre os pavimentos de concreto armado gerados por carregamentos prematuros. Para isso foram definidos o número, a disposição e o tempo de permanência adequados dos escoramentos remanescentes, de modo que as solicitações sobre o pavimento geradas pelos mesmos não ultrapassem aquelas possíveis de serem suportadas pela estrutura de concreto a cada idade.

O trabalho foi estruturado em seis capítulos. O capítulo 2 contém a as diretrizes de pesquisa, apresentando a questão de pesquisa, seu objetivo, pressupostos, premissa, delimitações e limitações e, por fim, o delineamento. O capítulo 3 contextualiza o assunto de acordo com o que existe nas normas vigentes sobre escoramentos e sobre as propriedades mecânicas do concreto. O capítulo 4 traz considerações sobre a necessidade de existir um projeto de escoramentos bem estruturado, privilegiando o uso escoras remanescentes ao invés de reescoramento. No capítulo 5 é discutido o uso de modelos teóricos simplificados para prever a transferência de cargas entre pavimentos conectados por escoras, por meio do cálculo de fatores de carga. O capítulo 6 apresenta correções, obtidas através de análise experimental, para os valores de fator de carga estimados previamente. Por sua vez, o capítulo 7 descreve a metodologia utilizada para simular as solicitações nas lajes através do modelo de cálculo escolhido. O capítulo 8 apresenta os resultados obtidos através das simulações, discutindo-os. Por fim, o capítulo 9 traz as conclusões a respeito do trabalho realizado e inclui sugestões para possíveis futuros trabalhos com abordagem semelhante.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

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

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: as lajes de concreto armado projetadas para as cargas de serviço são capazes de suportar, com segurança, as cargas oriundas do processo construtivo decorrentes do sistema de escoramentos empregado?

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

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

#### **2.2.1 Objetivo principal**

O objetivo principal do trabalho é a identificação de uma metodologia, facilmente aplicável pelo projetista estrutural, para determinar se uma laje projetada para as cargas de serviço é capaz de suportar as cargas do processo construtivo, decorrentes do sistema de escoramento empregado, que conecta lajes de vários pavimentos com variadas idades e utiliza a estrutura de um pavimento inferior não somente para suportar as cargas daquele pavimento, mas também parte das cargas dos pavimentos superiores nele apoiados.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) estimativa das solicitações geradas no pavimento para um determinado número de tamanhos e de condições de vinculação de lajes em função das cargas transmitidas pelo escoramento e pela quantidade e espaçamento das escoras remanescentes;
- b) estabelecimento de critérios para a definição do espaçamento horizontal do escoramento remanescente de forma que as solicitações decorrentes das cargas

geradas na fase de construção possam ser suportadas com segurança pela estrutura de concreto.

### 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que a disposição do escoramento inicial para a laje que está sendo concretada é adequada, isto é, a forma é suportada pelo escoramento sem apresentar deformações excessivas. Também é admitida como válida que a análise estrutural no regime elástico linear é representativa para simular e prever os esforços nas lajes.

### 2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa o fato de que não há informações normativas suficientes para um projeto adequado de escoramentos que evite o aparecimento de solicitações não previstas para a fase de construção que sejam prejudiciais à estrutura.

### 2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a analisar a disposição do escoramento remanescente de fôrmas de estruturas de concreto armado em edificações comerciais, caracterizadas por uma carga acidental de 2 kN/m<sup>2</sup>.

### 2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

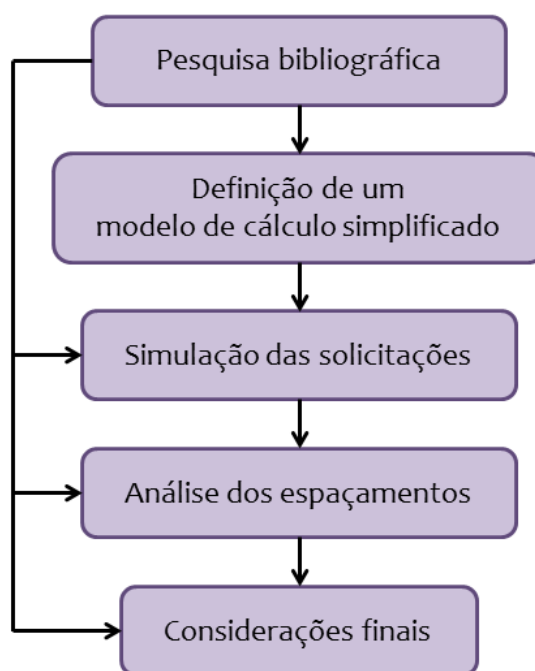
- a) os elementos estruturais avaliados se restringiram apenas às lajes;
- b) a análise do escoramento foi feita apenas para o escoamento remanescente;
- c) a resistência característica do concreto considerada é de 40 MPa.

### 2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição de um modelo de cálculo simplificado;
- c) simulação das solicitações;
- d) análise dos espaçamentos;
- e) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas de pesquisa



(fonte: elaborada pela autora)

A **pesquisa bibliográfica** foi essencial para o desenvolvimento de todo o trabalho, pois teve por objetivo conhecer aquilo que já se tem publicado sobre o assunto – como normas técnicas e trabalhos acadêmicos –, servindo de reforço e aprofundamento do conhecimento teórico acerca dos tópicos necessários para o desenvolvimento do trabalho.

Na etapa seguinte, foi escolhido, dentre aqueles existentes na bibliografia, um **modelo de cálculo simplificado** e de fácil aplicação que permitisse estimar as cargas transmitidas pelo sistema de escoramento em função do tipo de cimento empregado, do ciclo de execução e do número de pavimentos conectados pelo sistema de escoramento remanescente.

Posteriormente, foram **simuladas**, para um determinado número de configurações de lajes/pavimentos representativas das obras residenciais correntes, as **solicitações** decorrentes da estimativa de carga transmitida pelo escoramento e do número e afastamento das escoras remanescentes. Tais simulações empregaram modelos simplificados de grelhas, frequentemente utilizados nos programas de dimensionamento de estruturas de concreto, e modelos mais refinados, utilizando elementos finitos. Essas simulações permitiram a obtenção do afastamento entre escoras que não gera solicitações maiores que as suportadas pela estrutura em cada idade, considerando que a estrutura foi dimensionada para as cargas de serviço, sem levar em consideração a etapa construtiva.

Na etapa seguinte, foi feita a **análise dos espaçamentos** obtidos nas diversas configurações estudadas de modo a estabelecer uma sugestão de critério para a disposição do escoramento remanescente.

Por fim, foram realizadas as **considerações finais** sobre o trabalho realizado, de modo a avaliar o atendimento dos objetivos propostos.

### 3 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS EXISTENTES

As normas vigentes, tanto nacionais quanto internacionais, permitem que os modelos estruturais utilizados pelos responsáveis pelo projeto considerem a resistência na idade de 28 dias das estruturas de concreto como aquela a ser utilizada para suportar as solicitações decorrentes das cargas de serviço. Tal procedimento é amplamente utilizado. No entanto, em um grande número de situações, possíveis solicitações a que a estrutura possa ser submetida durante o processo construtivo não são consideradas, estando o concreto da estrutura com propriedades mecânicas inferiores às estimadas para a idade de 28 dias (SALVADOR, 2013, p. 30).

#### 3.1 PROJETO DE ESCORAMENTOS

De acordo com a NBR 15696, que trata sobre o projeto, dimensionamento e procedimentos executivos de fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto, as cargas a que estão submetidas os escoramentos, bem como o a localização exata das escoras, devem constar no projeto de escoramentos. Para que a execução seja realizada de maneira correta, plantas contendo cortes, com diferentes vistas, são essenciais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 3).

A respeito de reescoras e escoramento remanescente, a mesma norma salienta que é imprescindível que se saiba a resistência, de acordo com a idade, dos elementos estruturais anteriormente concretados, já que, em obras com vários pavimentos, eles são submetidos aos carregamentos provenientes das concretagens dos pavimentos superiores. Devem ser conhecidos o tempo entre concretagens sucessivas de pavimentos, a resistência e módulo de elasticidade do concreto de pavimentos inferiores no momento da colocação de escoras, bem como a resistência e módulo do concreto do pavimento superior no momento da retiradas das escoras remanescente e/ou reescoras. Para o projeto de escoramento remanescente, a norma estipula alguns parâmetros mínimos que devem ser respeitados, como a distância máxima entre escoras – que não deve ser maior que 2 m, salvo casos que estejam contemplados no projeto estrutural – e também de que a sobrecarga nos pavimentos durante a construção deve



ser considerada com valores não menores que 1 kN/m<sup>2</sup> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2009, p. 17-18).

A NBR 12655, que trata sobre o preparo, controle e recebimento do concreto, responsabiliza o profissional encarregado pelo projeto estrutural de estabelecer valores para a resistência característica do concreto inclusive para a etapa construtiva, a qual engloba o processo de retirada de escoramentos. O profissional responsável pela execução da obra deve atentar para as propriedades do cimento, estabelecendo cuidados no momento da remoção das escoras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006, p. 6).

A NBR 14931, que trata sobre a execução das estruturas de concreto, em vários trechos salienta o cuidado que se deve ter com relação à retirada de escoramentos sem comprometer a estrutura de concreto. O sistema de escoramentos deve ser projetado e construído de modo que, durante o processo de construção, ele resista às ações decorrentes da estrutura permanente durante o tempo em que o concreto ainda não tenha as características previamente estipuladas pelo projetista estrutural. Os escoramentos não podem permitir o aparecimento de esforços não previstos na estrutura de concreto, sob ações do peso do elemento estrutural e cargas acidentais, através de deformações prejudiciais da estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 5-6).

A norma ainda frisa a necessidade de um plano de retirada dos escoramentos que contenha uma sequência de operações visando respeitar os valores mínimos para a resistência à compressão e o módulo de elasticidade da estrutura de concreto para certa idade. Sob hipótese alguma os escoramentos e fôrmas devem ser retirados antes do momento em que o concreto seja capaz de suportar as cargas destinadas à estrutura no período considerado, de coibir deformações acima das toleráveis e de resistir aos danos superficiais no momento da remoção dessas estruturas provisórias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004, p. 24).

A NBR 6120, sobre cargas para o cálculo de estruturas de edificações, define que carga acidental “É toda aquela que pode atuar sobre a estrutura de edifícios em função do seu uso (pessoas, móveis, materiais diversos, veículos, etc.).” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 1), evidenciando-se a não abordagem das possíveis e prováveis cargas acidentais durante o processo de construção.

De acordo com a NBR 6118, o único trecho que faz menção a escoramentos explica que “O projeto estrutural deve proporcionar as informações necessárias para a execução da estrutura. São necessários projetos complementares de escoramentos e fôrmas, que não fazem parte do projeto estrutural.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 14).

## 3.2 CRESCIMENTO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO COM O TEMPO

### 3.2.1 Resistência à compressão

De acordo com o CEB-FIP Model Code 1990, “A resistência à compressão do concreto para a idade  $t$  depende do tipo de cimento, da temperatura e das condições de cura.” (COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON, 1993, p. 51, tradução nossa).

Ainda de acordo com o mesmo material, são apresentadas as fórmulas 1 e 2 que permitem estimar teoricamente a resistência média à compressão do concreto antes dos 28 dias:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \times f_{cm} \quad (\text{fórmula 1})$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t/t_1} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$f_{cm}(t)$  = resistência média à compressão do concreto para a idade  $t$ , em dias;

$f_{cm}$  = resistência média à compressão do concreto aos 28 dias;

$\beta_{cc}(t)$  = coeficiente que depende da idade do concreto  $t$ , em dias;

$t$  = idade do concreto (dias);

$t_1$  = um dia;

$s$  = coeficiente que depende do tipo de cimento:  $s = 0,20$  para cimentos de endurecimento rápido com alta resistência;  $0,25$  para cimentos de endurecimento normal e rápido e  $0,38$  para cimentos de lente endurecimento.

De acordo com a NBR 6118, o coeficiente  $\beta$ , que multiplica a resistência média à compressão, é dado por uma fórmula similar à fórmula 2 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 71):

$$\beta_1(t) = \frac{f_{ckj}}{f_{ck}} = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{1/2} \right] \right\} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

$\beta_1$  = coeficiente que depende da idade do concreto;

$f_{ckj}$  = resistência característica à compressão do concreto correspondente à idade fictícia  $j$ ;

$f_{ck}$  = resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias;

$s = 0,38$  para concreto de cimento CP III e CP IV;

$s = 0,25$  para concreto de cimento CP I e CP II;

$s = 0,20$  para concreto de cimento CP V-ARI;

$t$  = idade do concreto (dias).

### 3.2.2 Módulo de elasticidade

De acordo com o CEB-FIP Model Code 1990, o módulo de elasticidade do concreto, para idades diferentes de 28 dias, pode ser estimado teoricamente a partir das fórmulas 4 e 5 (COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON, 1993, p. 52, tradução nossa):

$$E_{ci}(t) = \beta_E(t) \times E_{ci} \quad (\text{fórmula 4})$$

$$\beta_E(t) = [\beta_{cc}(t)]^{0,5} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

$E_{ci}(t)$  = módulo de elasticidade para a idade  $t$ , em dias (MPa);

$E_{ci}$  = módulo de elasticidade aos 28 dias (MPa);

$\beta_E(t)$  = coeficiente que depende da idade do concreto  $t$ , em dias;

$\beta_{cc}(t)$  = coeficiente de acordo com a fórmula 2.

De acordo com a NBR 6118, o módulo de elasticidade do concreto para idades entre 7 e 28 dias podem ser estimadas teoricamente a partir das fórmulas 6 e 7 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 25).

Para os concretos com  $f_{ck}$  de 20 a 45 MPa:

$$E_{ci}(t) = \left[ \frac{f_c(t)}{f_c} \right]^{0,5} \times E_{ci} \quad (\text{fórmula 6})$$

Para os concretos com  $f_{ck}$  de 50 a 90 MPa:

$$E_{ci}(t) = \left[ \frac{f_c(t)}{f_c} \right]^{0,3} \times E_{ci} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

$E_{ci}(t)$  = estimativa do módulo de elasticidade do concreto em uma idade entre 7 e 28 dias (MPa);

$E_{ci}$  = módulo de elasticidade aos 28 dias (MPa);

$f_c(t)$  = resistência à compressão do concreto na idade em que se pretende estimar o módulo de elasticidade, em megapascal (MPa);

$f_c$  = resistência à compressão do concreto (MPa).

Cabe salientar que o módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias ( $E_{ci}$ ), quando não forem realizados ensaios, pode ser obtido através das fórmulas 8 e 9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 24).

Para  $f_{ck}$  de 20 a 50 MPa:

$$E_{ci} = \alpha_E \times 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{fórmula 8})$$

Para  $f_{ck}$  de 55 a 90 MPa:

$$E_{ci} = 21,5 \times 10^3 \times \alpha_E \times \left( \frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$E_{ci}$  = módulo de elasticidade aos 28 dias (MPa);

$f_{ck}$  = resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias (MPa);

$\alpha_E$  = parâmetro em função da natureza do agregado que influencia o módulo de elasticidade:

$\alpha_E = 1,2$  para basalto e diabásio;  $\alpha_E = 1,0$  para granito e gnaisse;  $\alpha_E = 0,9$  para calcário e

$\alpha_E = 0,7$  pra arenito.

## **4 CONSIDERAÇÕES SOBRE ESCORAMENTO REMANESCENTE E REESCORAMENTO**

O ritmo de execução de uma obra influencia diretamente no comportamento das estruturas. Frente à necessidade de redução de custos e de prazos, desenvolveram-se modelos de gestão voltados a atendê-la. Tais modelos visam utilizar, de maneira racional, fôrmas e escoramentos, para que seja acelerada a execução das etapas construtivas. Entretanto, deve-se atentar para as consequências, tanto a curto quanto a longo prazo, da utilização desses modelos, já que a segurança e eficiência podem ser comprometidas (SALVADOR, 2013, p. 24).

Durante a etapa de construção, as ações sobre os pavimentos, que são de difícil previsão, podem superar as ações em serviço estimadas no projeto. Por muitas vezes, a estrutura de concreto é solicitada antes mesmo de ter atingido as propriedades mecânicas previstas para os 28 dias (PRADO, 1999, p. 1).

Quando os escoramentos são retirados, a estrutura de concreto por ele apoiada precisa sustentar o seu próprio peso. Se a retirada das escoras for prematura e o concreto ainda não tiver resistência e rigidez suficientes para suportar a tensões que se sucederem, problemas indesejáveis podem surgir, possibilitando até mesmo ao aparecimento de manifestações patológicas (SALVADOR, 2013, p. 25).

A ABECE<sup>5</sup> (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), através da Folha Zero, faz algumas recomendações de projeto, para o caso de não haver um projeto específico para a obra, que têm como objetivo reduzir os possíveis danos causados à estrutura de concreto quando da movimentação sem critério dos escoramentos. A figura 2 apresenta o plano de retirada do reescoramento recomendado pela ABECE (ASSOCIAÇÃO

---

<sup>5</sup> A ABECE tem um serviço, chamado Folha Zero, que recomenda desenhos como sendo a página inicial de projetos que serão elaborados, objetivando fornecer recursos para que a obra seja executada com qualidade pelos contratantes. A Folha Zero também serve de instrumento de proteção ao projetista estrutural, limitando sua responsabilidade ao projeto propriamente dito, já que explicita as normas e os procedimentos apropriados às etapas de execução da estrutura. Esse serviço disponibilizado pela ABECE somente pode ser consultado por associados, portanto não se teve o acesso direto aos desenhos e explicações. As informações aqui apresentadas constam no site da instituição e podem ser visualizadas através do endereço eletrônico: <[http://www.abece.com.br/web/serv\\_folhazero.asp](http://www.abece.com.br/web/serv_folhazero.asp)>.

BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL<sup>6</sup>, [20--?] apud SALVADOR, 2013, p. 26).

Figura 2 – Plano de retirada do reescoramento

TEMPO DECORRIDO APÓS A CONCRETAGEM (DIAS):						% DE REESCORAMENTO A SER MANTIDO
0						
7						>= 100%
14						>= 100%
21						>= X%
28						>= Y%
						SEM REESCORAMENTO

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL<sup>7</sup>, [20--?] apud SALVADOR, 2013, p. 27)

De acordo com o plano ilustrado, fica definido que os dois pavimentos mais recentemente concretados permanecem com 100% do escoramento remanescente e os pavimentos abaixo permanecem com percentuais menores, não definidos nesse plano, que seriam de responsabilidade do projetista da obra. O plano não deixa claro o tempo de permanência das fôrmas e escoramentos (SALVADOR, 2013, p. 27).

Além disso, a indicação da ABECE em questão é ambígua, uma vez que não fica claro se o valor que é definido como 100%, na figura 3, representa o escoramento original, o reescoramento ou ainda o escoramento remanescente originalmente previsto (SALVADOR, 2013).

<sup>6</sup> A ABECE tem um serviço, chamado Folha Zero, que recomenda desenhos como sendo a página inicial de projetos que serão elaborados, objetivando fornecer recursos para que a obra seja executada com qualidade pelos contratantes. A Folha Zero também serve de instrumento de proteção ao projetista estrutural, limitando sua responsabilidade ao projeto propriamente dito, já que explicita as normas e os procedimentos apropriados às etapas de execução da estrutura. Esse serviço disponibilizado pela ABECE somente pode ser consultado por associados, portanto não se teve o acesso direto aos desenhos e explicações. As informações aqui apresentadas constam no site da instituição e podem ser visualizadas através do endereço eletrônico: <[http://www.abece.com.br/web/serv\\_folhazero.asp](http://www.abece.com.br/web/serv_folhazero.asp)>.

<sup>7</sup> idem

De acordo com observações feitas por Salvador (2013, p. 27-28), notou-se que o escoramento remanescente é cotidianamente substituído pelo reescoramento. A instalação das reescoras acontece de maneira nada criteriosa, pois as mesmas são ajustadas entre os pavimentos por meio de apertos descontrolados. Tais apertos agem similarmente a um carregamento externo que solicita a estrutura com intensidade totalmente imprevisível, o que pode ser muito perigoso, pois fenômenos indesejados como fissuração, flecha e contra-flecha excessiva e inversão de momentos podem surgir e danificar a estrutura prematuramente. As reescoras, além disso, são de difícil instalação em fôrmas de lajes ainda não concretadas, pois os apertos desregrados podem causar desnivelamentos ao sistema de suporte, comprometendo o contato entre a escora e a fôrma.

A necessidade de reaproveitamento das peças utilizadas para a concretagem dos pavimentos é que tem definido o tempo de permanência do sistema de fôrmas<sup>8</sup>. Observações em canteiros de obras têm demonstrado que o início da desmontagem e retirada dos materiais pode acontecer quando o último pavimento concretado tiver apenas um ou dois dias de idade. O plano de retirada dos escoramentos fornecido pela ABECE não define quando se dá a primeira movimentação de escoras e permite que se suponha que todos os escoramentos dos dois pavimentos superiores da figura 3 sejam escoramento remanescente, e não reescoras (SALVADOR, 2013, p. 27).

O autor ainda ressalva que, nessas condições de escassez de informação a respeito do projeto de escoramentos, uma laje que, a priori não fissuraria mesmo sob ação das cargas de serviço, apresentaria deformações e consequentes fissuras devidas às cargas prematuras da fase de construção (SALVADOR, 2013, p. 29).

Fica claro o quão necessário é que exista uma inter-relação e comunicação bastante clara entre as equipes responsáveis pelo projeto e pela construção da obra. Caso seja evidenciado algum imprevisto que possa vir a danificar a estrutura, as equipes devem, conjuntamente, definir meios de evitar que isso ocorra. Como alternativas, por exemplo, ter-se-ia a alteração do processo construtivo, a utilização de concreto com maiores resistências e também, se fosse o caso, a reformulação do projeto estrutural (PRADO, 1999, p. 1).

---

<sup>8</sup> Pode-se “[...] chamar de **sistema de fôrma** ao conjunto completo dos elementos que o compõe, incluindo-se: a própria fôrma, elementos de cimbramento [(escoras)], de escoramento remanescente, equipamentos de transporte, de apoio e de manutenção, etc.” (ASSAHI, 2005, p. [3], grifo do autor).



## 5 MODELOS TEÓRICOS SIMPLIFICADOS PARA TRANSFERÊNCIA DE CARGAS ENTRE PAVIMENTOS

### 5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os modelos teóricos simplificados permitem analisar numericamente a transferência de cargas entre diversos pavimentos conectados por escoras. Vários autores realizaram trabalhos usando esses modelos os quais, além de estimar a parcela de carga que é absorvida pelo pavimento de concreto, permitem prever a parcela de carga transmitida, através das escoras, aos pavimentos inferiores (SALVADOR, 2013, p. 29).

Salvador (2013, p. 30) afirma que quando há vários pavimentos recentemente concretados ligados por escoramentos, tem-se um sistema estrutural com ligações rotuladas entre os mesmos. A depender da idade de cada pavimento e sua respectiva resistência e rigidez, a parcela de carga por ele absorvida vai ser maior ou menor. Ou seja, o modelo de comportamento estrutural normalmente utilizado em projeto, que consiste na consideração de que a estrutura de cada pavimento (vigas e lajes) suporta apenas as cargas do respectivo pavimento, deixa de ser válido na etapa de execução.

Para o desenvolvimento de trabalhos nessa área, foi necessário definir os fatores de carga construtiva média que, segundo Freitas (2004, p. 8-9), expressam a relação entre ações construtivas que atuam no sistema temporário de apoio<sup>9</sup> e o peso próprio do pavimento apoiado por m<sup>2</sup>, de acordo com a fórmula 10:

$$k = \frac{\text{ação total suportada pelo pavimento (ou escora)}}{\text{ação decorrente do peso próprio do pavimento}} \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

$k$  = fator de carga construtiva no pavimento ou na escora.

<sup>9</sup> O sistema temporário de apoio é definido pelo grupo de pavimentos, cujo concreto está parcial ou inteiramente curado, que está conectado por escoras remanescentes ou reescoras (FREITAS, 2004, p. 8).

Salvador (2013, p. 29) explica que a ação que aparece no numerador da fórmula 8 corresponde à carga transmitida ao pavimento o qual serve de apoio à base das escoras.

Um bom conhecimento sobre as ações de construção que possam intervir no sistema temporário de apoio, bem como o modo como elas se distribuem sobre os elementos estruturais, é fundamental para a segurança da estrutura de concreto armado. A relação de algumas possíveis variáveis que influenciam os fatores de carga ( $k$ ) dos elementos estruturais e do sistema de fôrmas são analisadas no quadro 1 (FREITAS, 2004, p. 14).

Quadro 1 – Análise das variáveis que possivelmente influenciam nos fatores de carga

VARIÁVEL	COMENTÁRIOS
Espessura da laje	É evidente que a rigidez e o peso da laje mudam quando a sua espessura se altera. Este fenômeno faz com que a influência da espessura sobre os fatores de carga seja complexa e necessite de um maior estudo para um melhor entendimento da influência desta variável.
Número de níveis escorados e/ou reescorados	Apresenta influência na distribuição dos fatores de carga no sistema temporário de apoio. Porém existe um número de pavimentos interligados a partir do qual a influência se estabiliza.
Rigidez relativa Escoramento / Pavimento	Apresenta influência considerável na distribuição dos fatores de carga no sistema temporário de apoio. Para alterar a relação entre essas rigidezes pode-se utilizar escoramentos de diferentes materiais como: madeira, aço, alumínio, etc. Pode-se, também, adotar diferentes distribuições (densidades) de escoramentos para o sistema temporário de apoio, ou seja, aumentar ou diminuir a quantidade de escoras por metro quadrado na laje.
Ciclo de Construção	Pouco influente nos valores dos fatores de carga no sistema temporário de apoio. Ciclos maiores favorecem a segurança nas etapas construtivas pelo aumento da resistência do concreto.
Rigidez das fundações das escoras do 1º nível	Apresenta influência na distribuição dos fatores de carga no sistema temporário de apoio. Necessita de maiores estudos.

(fonte: FREITAS, 2004, p. 15)

## 5.2 MÉTODO SIMPLIFICADO DE GRUNDY E KABAILA

O método simplificado de Grundy e Kabaila é utilizado como critério para que a distribuição das ações construtivas seja estimada. Esse método foi o precursor dentre os métodos simplificados existentes e, apesar de ser bastante antigo, é amplamente utilizado nos trabalhos voltados para essa área (PRADO, 1999, p. 44).

De acordo com Grundy e Kabaila<sup>10</sup> (1963 apud PRADO, 1999, p. 45), como hipóteses para o método simplificado tem-se que:

- a) os pontaletes são considerados infinitamente rígidos em comparação com os pavimentos, no que se refere aos deslocamentos verticais;
- b) os pontaletes estão posicionados suficientemente próximos entre si, de maneira que suas ações nos pavimentos podem ser consideradas como uniformemente distribuídas;
- c) os valores das ações não dependem da velocidade de construção, uma vez que não são consideradas as diferentes idades do concreto;
- d) a fundação é considerada como um suporte totalmente rígido;
- e) após a remoção das escoras, as fôrmas são retiradas permitindo-se a deformação do pavimento antes que qualquer reescora seja instalada;
- f) os fatores de carga obtidos devem ser majorados (~ 10%) para levar em conta o peso próprio das fôrmas e pontaletes;
- g) deve-se somar à máxima ação de construção obtida para pavimentos (ou pontaletes) um valor correspondente às seguintes ações variáveis: peso dos trabalhadores, equipamentos, materiais, entulhos e impacto produzido pelo lançamento do concreto.

### 5.2.1 Distribuição das ações construtivas

No estudo de Grundy e Kabaila, foi considerado um ciclo de execução de sete dias, ou seja, um novo pavimento é concretado a cada sete dias. Após cinco dias da concretagem do pavimento, as escoras remanescentes são removidas do pavimento mais inferiormente escorado, que é o de maior idade (GRUNDY; KABAILA<sup>11</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 31).

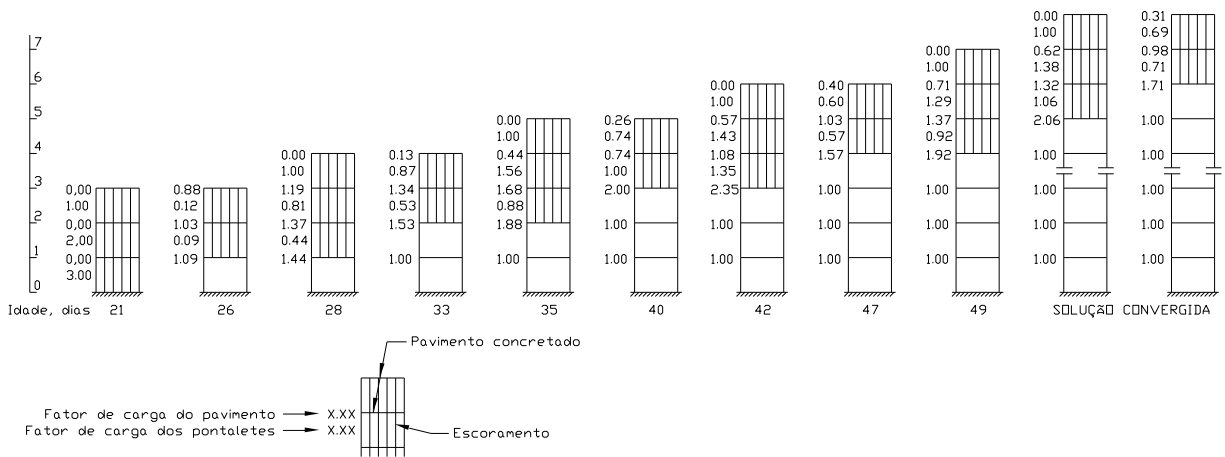
---

<sup>10</sup> GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Journal*, Farmington Hills, USA, v. 60, n. 12, p. 1729-1738, Dec. 1963.

<sup>11</sup> opus citatua

Para o estudo, foi considerado que haveria apenas três jogos de escoras, o que permite que quatro pavimentos sejam conectados/ligados pelos escoramentos por meio de vínculos rotulados, e também de que o módulo de elasticidade do concreto ( $E_c$ ) dos pavimentos iria variar de acordo com a idade do mesmo. A figura 3 mostra os valores obtidos para os fatores de carga ( $k$ ) para o método (GRUNDY; KABAILA<sup>12</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 31).

Figura 3 – Estudo de Grundy e Kabaila com três jogos de escoras e  $E_c$  variável



(fonte: GRUNDY; KABAILA<sup>13</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 31)

Grundy e Kabaila também realizaram outro estudo bastante parecido com esse, mas com a diferença de, ao invés de considerar variável o módulo de elasticidade do concreto, ele ser adotado como constante (GRUNDY; KABAILA<sup>14</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 31).

França<sup>15</sup> (2005 apud SALVADOR, 2013, p. 31-32) realizou um estudo similar voltado para o estado de São Paulo, que possui um ritmo mais acelerado de execução. Tal estudo também considerou que haveria apenas três jogos de escoras, mas com o detalhe que dois desses conjuntos seriam de reescoramento, não escoramento remanescente, como no estudo de Grundy e Kabaila. O módulo de elasticidade do concreto ( $E_c$ ) dos pavimentos também foi variável de acordo com a idade do mesmo.

<sup>12</sup> GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Journal*, Farmington Hills, USA, v. 60, n. 12, p. 1729-1738, Dec. 1963.

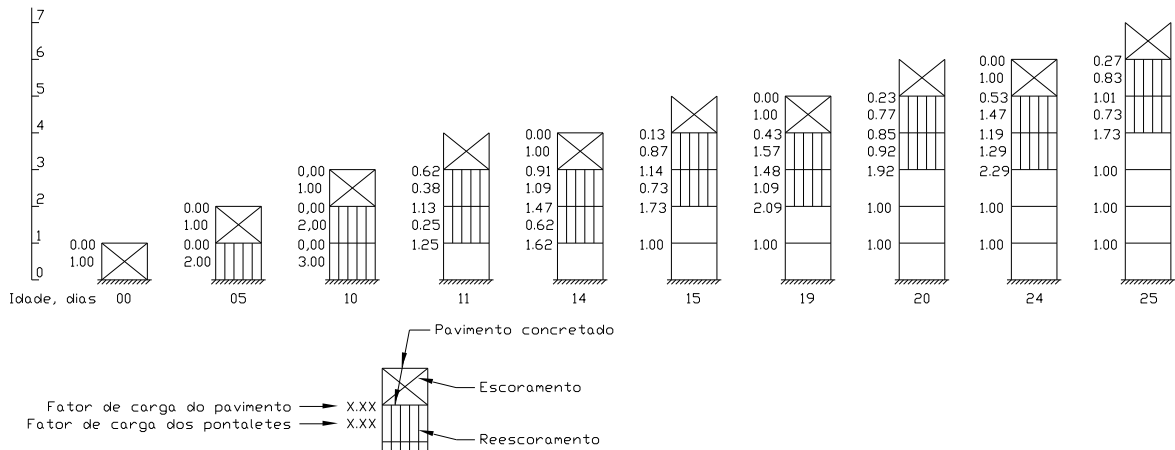
<sup>13</sup> opus citatua

<sup>14</sup> opus citatua

<sup>15</sup> FRANÇA, R. L. S. Fatores críticos de execução de obras e as consequências para as deformações de estruturas de concreto. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DE ESTRUTURAS, 7., 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo: [s. n.], 2005. Não paginado.

O mesmo autor considerou um ciclo de execução de apenas quatro dias úteis, considerando seis dias de trabalho por semana. A retirada do reescoramento do pavimento mais inferiormente escorado aconteceu um dia após a concretagem do último pavimento. A figura 4 explica o método e mostra os valores obtidos para os fatores de carga ( $k$ ).

Figura 4 – Estudo de França com três jogos de escoras e  $E_c$  variável

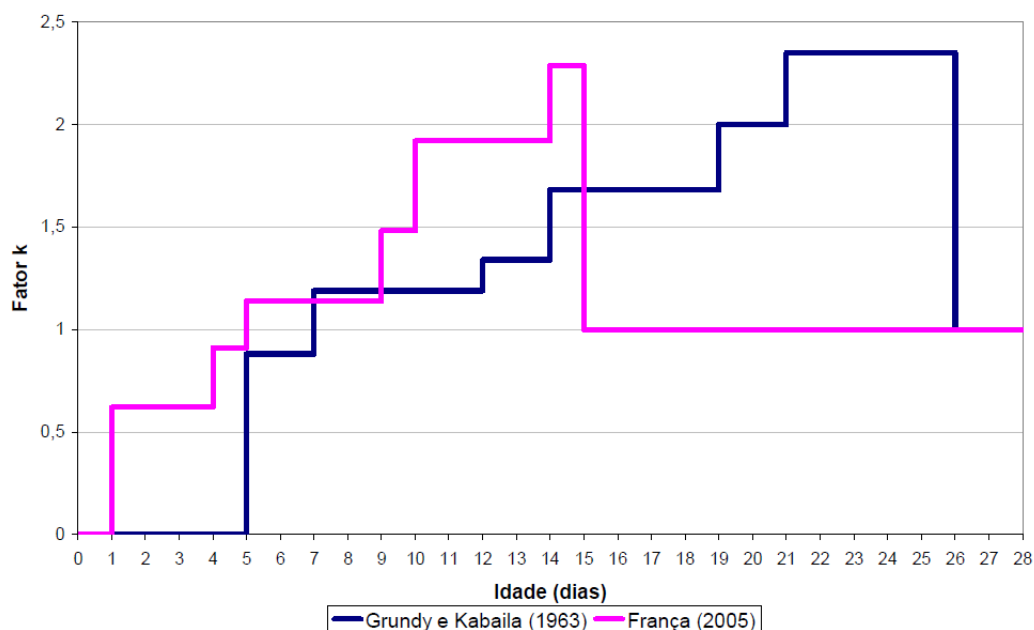


(fonte: FRANÇA<sup>16</sup>, 2005 apud SALVADOR, 2013, p. 32)

Tanto para o estudo de Grundy e Kabaila quanto para o estudo de França, o pavimento 3 foi o que apresentou os valores de fator de carga mais elevados, 2,35 e 2,29, respectivamente para cada estudo. A figura 5 apresenta o gráfico do fator de carga médio para o pavimento 3 ao longo do tempo, em dias (SALVADOR, 2013, p. 32).

<sup>16</sup> FRANÇA, R. L. S. Fatores críticos de execução de obras e as consequências para as deformações de estruturas de concreto. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA DE ESTRUTURAS, 7., 2005, São Paulo. **Anais...** São Paulo: [s. n.], 2005. Não paginado.

Figura 5 – Fatores de carga médio do pavimento 3 em função da idade



(fonte: SALVADOR, 2013, p. 32)

### 5.2.2 Estimativa teórica dos fatores de carga

Com o método de Grundy e Kabaila<sup>17</sup> (1963 apud SALVADOR, 2013, p. 38) é possível que sejam estimados os carregamentos nas estruturas ao longo de todo o processo construtivo de modo rápido e fácil. Entretanto, o método admite algumas simplificações que o tornam limitado. Como exemplo, tem-se a consideração de as fundações da edificação serem infinitamente rígidas, de que as escoras não deformam e de que, ao posicioná-las próximas umas as outras, a carga transmitida por elas ao pavimento em que estão apoiadas é uniformemente distribuída.

Através da metodologia de cálculo de Grundy e Kabaila, Salvador (2013, p. 38) realizou um estudo que compara as ações de construção para distintas situações. Foram variados o tempo entre concretagens sucessivas, o tipo de cimento, de acordo com seu tempo de pega e também a quantidade de conjuntos de escoras disponíveis. O método utiliza os coeficientes de segurança determinados pela NBR 6118/2014.

<sup>17</sup> GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Journal*, Farmington Hills, USA, v. 60, n. 12, p. 1729-1738, Dec. 1963.

Para se calcular os fatores de carga, é necessário que se conheça as curvas de crescimento da resistência do concreto, já que o módulo de elasticidade é considerado como sendo variável no método utilizado (GRUNDY; KABAILA<sup>18</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 42).

O cálculo do acréscimo do fator de carga no pavimento  $i$  é dado pela fórmula 11:

$$\Delta k_i = \frac{E_i}{E_R} \times \Delta P \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

$\Delta k_i$  = acréscimo do fator de carga no pavimento  $i$ ;

$\Delta P$  = acréscimo de carga decorrente de um novo pavimento que acabou de ser executado ( $\Delta P = 1$ ), ou o fator de carga no pontalete que foi recém retirado;

$E_i$  = módulo de elasticidade, ou coeficiente de crescimento, no pavimento  $i$ , na idade correspondente do pavimento quando, do evento considerado;

$E_R$  = módulo de elasticidade resultante da soma dos módulos, ou coeficientes de crescimento, de todos os pavimentos, com suas respectivas idades, quando do evento considerado.

De acordo com Salvador (2013, p. 43), “[...] o acréscimo de carga ( $\Delta P$ ) será distribuído entre os pavimentos considerados rígidos, ligados por meio dos pontaletes, proporcionalmente à rigidez de cada um, de acordo com a idade.”. Ainda conforme o mesmo autor, “O fator de carga no pavimento ( $k_{i,pavimento}$ ) será a soma do fator de carga do evento anterior com o acréscimo do fator de carga ( $\Delta k_i$ ).” e “O fator de carga no pontalete ( $k_{i,pontalete}$ ) será o número de pavimentos sobre o referido pontalete, descontados os fatores de carga dos pavimentos acima do mesmo.”.

Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade ( $E$ ) para um concreto feito com cimento de lento endurecimento, calculados de acordo com o CEB-FIP Model Code 1990, são apresentados na tabela 1 (SALVADOR, 2013, p. 43).

---

<sup>18</sup> GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Journal*, Farmington Hills, USA, v. 60, n. 12, p. 1729-1738, Dec. 1963.

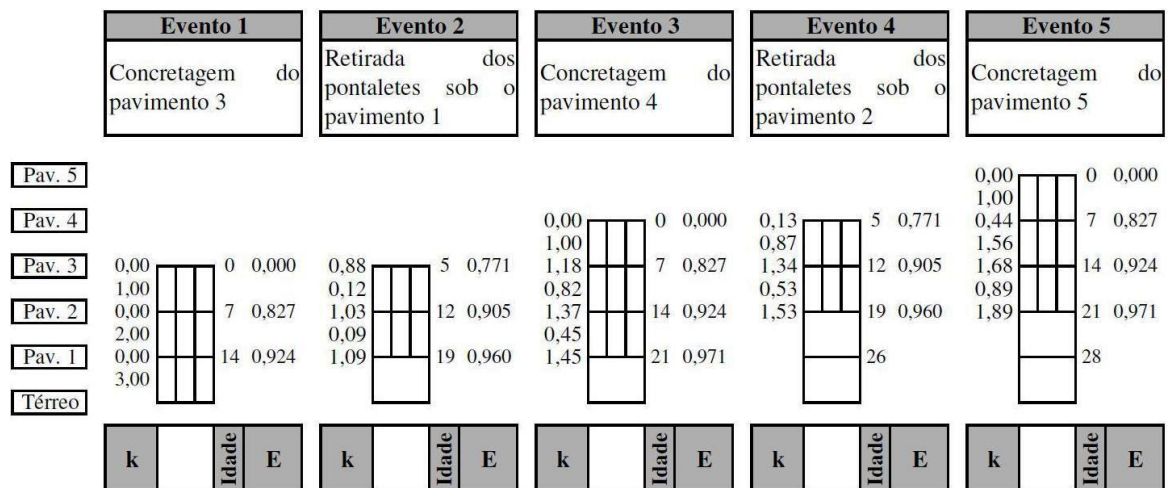
Tabela 1 – Coeficientes de crescimento de E

Idade	$\beta_E(t)$	Idade	$\beta_E(t)$
0	0,000	15	0,933
1	0,442	16	0,940
2	0,594	17	0,948
3	0,677	18	0,954
4	0,731	19	0,960
5	0,771	20	0,966
6	0,802	21	0,971
7	0,827	22	0,976
8	0,848	23	0,981
9	0,865	24	0,985
10	0,880	25	0,989
11	0,893	26	0,993
12	0,905	27	0,997
13	0,915	28	1,000
14	0,924		

(fonte: SALVADOR, 2013, p. 44)

Na figura 6, é possível visualizar os cinco primeiros eventos de acordo com o método de Grundy e Kabaila. São indicados os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade ( $E$ ) referentes às idades do pavimento (GRUNDY; KABAILA<sup>19</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 44).

Figura 6 – Cinco primeiros eventos de Grundy e Kabaila

(fonte: GRUNDY; KABAILA<sup>20</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 44)

<sup>19</sup> GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Journal*, Farmington Hills, USA, v. 60, n. 12, p. 1729-1738, Dec. 1963.

<sup>20</sup> opus citatua



No primeiro evento, pode-se inferir que os fatores de carga para todos os três pavimentos é zero, já que as cargas existentes na edificação são totalmente transmitidas e suportadas pela base da mesma, a qual é considerada rígida de acordo com o método. Por causa disso, as escoras suportam toda a carga proveniente do peso dos pavimentos concretados e o fator de cargas delas aumenta em uma unidade a cada pavimento sobreposto (GRUNDY; KABAILA<sup>21</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 44).

Já no segundo evento, que é quando ocorre a retirada das escoras que apoiam o pavimento 1, o peso que era suportado pelas escoras retiradas precisa ser redistribuído pela estrutura existente. Para isso, os fatores de carga são recalculados para os pavimentos e para os escoramentos (GRUNDY; KABAILA<sup>22</sup>, 1963 apud SALVADOR, 2013, p. 45).

O fator de carga nas escoras recém retiradas era de:

$$\Delta P = 3$$

Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade para os pavimentos 1, 2 e 3 para as idades de 19, 12 e 5 dias respectivamente são, de acordo com a tabela 1:

$$E_1 = 0,960; E_2 = 0,905; E_3 = 0,771$$

A soma dos coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade de todos os pavimentos é:

$$E_R = 0,960 + 0,905 + 0,771 = 2,636$$

Finalmente, o acréscimo nos fatores de carga e o novo fator de carga, que é a soma do antigo valor e o acréscimo, em cada um dos pavimentos são calculados de acordo com a fórmula 11:

$$\Delta k_1 = \frac{0,960}{2,636} \times 3 = 1,09; k_{1,pavimento} = 0,00 + 1,09 = 1,09$$

$$\Delta k_2 = \frac{0,905}{2,636} \times 3 = 1,03; k_{2,pavimento} = 0,00 + 1,03 = 1,03$$

$$\Delta k_3 = \frac{0,771}{2,636} \times 3 = 0,88; k_{3,pavimento} = 0,00 + 0,88 = 0,88$$

<sup>21</sup> GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory buildings. *ACI Journal*, Farmington Hills, USA, v. 60, n. 12, p. 1729-1738, Dec. 1963.

<sup>22</sup> opus citatua

Então, os fatores de carga nas escoras são o valor antigo diminuído dos valores dos fatores de carga dos pavimentos acima das mesmas:

$$k_{2,pontaleta} = 2 - 0,88 - 1,03 = 0,09$$

$$k_{3,pontaleta} = 1 - 0,88 = 0,12$$

No terceiro evento, tem-se a concretagem do pavimento 4 e o acréscimo de carga decorrente desse novo pavimento que acabou de ser executado:

$$\Delta P = 1$$

Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade para os pavimentos 1, 2, 3 e 4 para as idades de 21, 14, 7 e 0 dias respectivamente são, de acordo com a tabela 1:

$$E_1 = 0,971; E_2 = 0,924; E_3 = 0,827; E_4 = 0,000$$

A soma dos coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade de todos os pavimentos é:

$$E_R = 0,971 + 0,924 + 0,827 + 0,000 = 2,722$$

Finalmente, o acréscimo nos fatores de carga e o novo fator de carga em cada um dos pavimentos são:

$$\Delta k_1 = \frac{0,971}{2,722} \times 1 = 0,36; k_{1,pavimento} = 1,09 + 0,36 = 1,45$$

$$\Delta k_2 = \frac{0,924}{2,722} \times 1 = 0,34; k_{2,pavimento} = 1,03 + 0,34 = 1,37$$

$$\Delta k_3 = \frac{0,827}{2,722} \times 1 = 0,30; k_{3,pavimento} = 0,88 + 0,30 = 1,18$$

$$\Delta k_4 = \frac{0,000}{2,722} \times 1 = 0,00; k_{4,pavimento} = 0,00$$

Então, os fatores de carga nas escoras são o valor antigo diminuído dos valores dos fatores de carga dos pavimentos acima das mesmas:

$$k_{2,pontaleta} = 3 - 0,00 - 1,18 - 1,37 = 0,45$$

$$k_{3,pontaleta} = 2 - 0,00 - 1,18 = 0,82$$

$$k_{4,pontaleta} = 1 - 0,00 = 1,00$$

De acordo com Salvador (2013, p. 47), “O cálculo dos fatores de carga nos demais eventos, para os pavimentos subsequentes, segue o mesmo procedimento até que os valores convirjam.”.

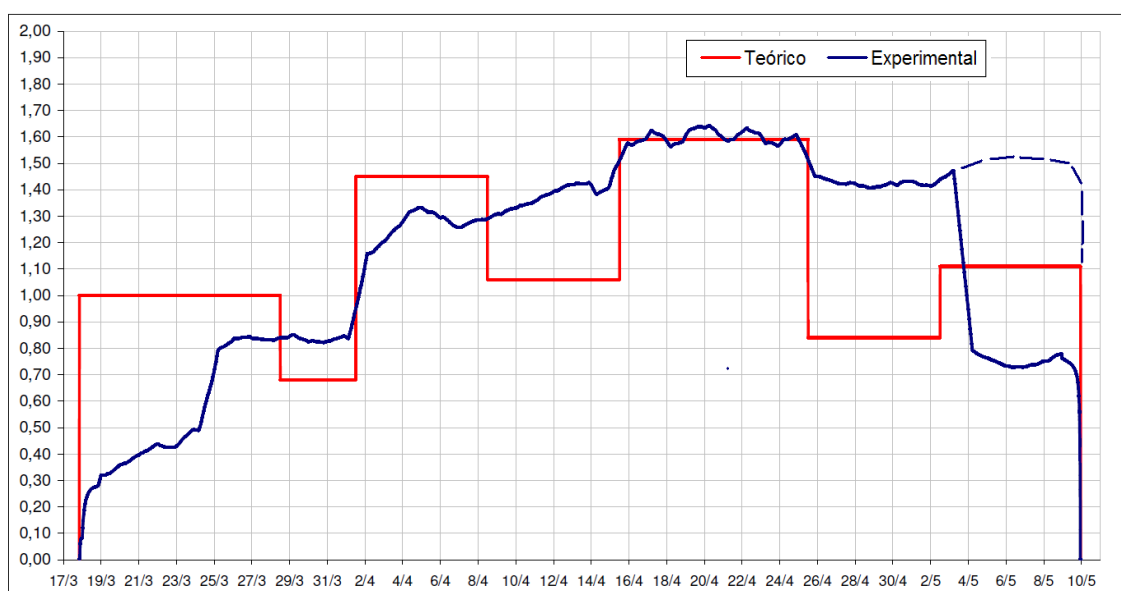
## 6 CORREÇÕES BASEADAS EM RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Salvador (2013, p. 115) realizou uma análise experimental em um edifício em construção localizado em Porto Alegre no qual o sistema de escoramento remanescente foi avaliado. Para isso, foi necessária a instrumentação de pontaletes através da instalação de células de carga na extremidade superior dos mesmos (SALVADOR, 2013, p. 69).

Por meio dos resultados obtidos com as análises experimentais obtidas, juntamente com os resultados das prévias análises teóricas, tópicos importantes a respeito do comportamento estrutural foram apontados, salientando que tais considerações devem existir em projetos e procedimentos executivos (SALVADOR, 2013, p. 202).

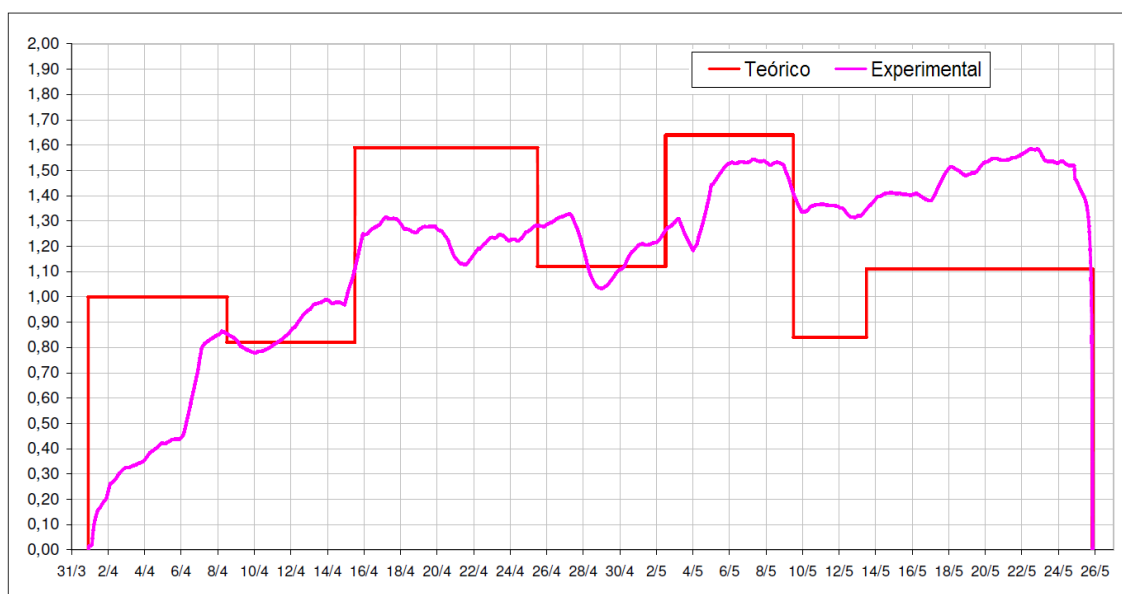
Nas figuras 7 e 8, os gráficos comparam os fatores de carga construtiva ( $k$ ) nas escoras sob o 7º e o 8º pavimento, obtidos experimentalmente através dos ensaios feitos por Salvador, com os fatores de carga estimados teoricamente através do método de Grundy e Kabaila (SALVADOR, 2013, p 158).

Figura 7 – Fatores de carga construtiva nos pontaletes sob o 7º pavimento



(fonte: SALVADOR, 2013, p. 160)

Figura 8 – Fatores de carga construtiva nos pontaletes sob o 8º pavimento



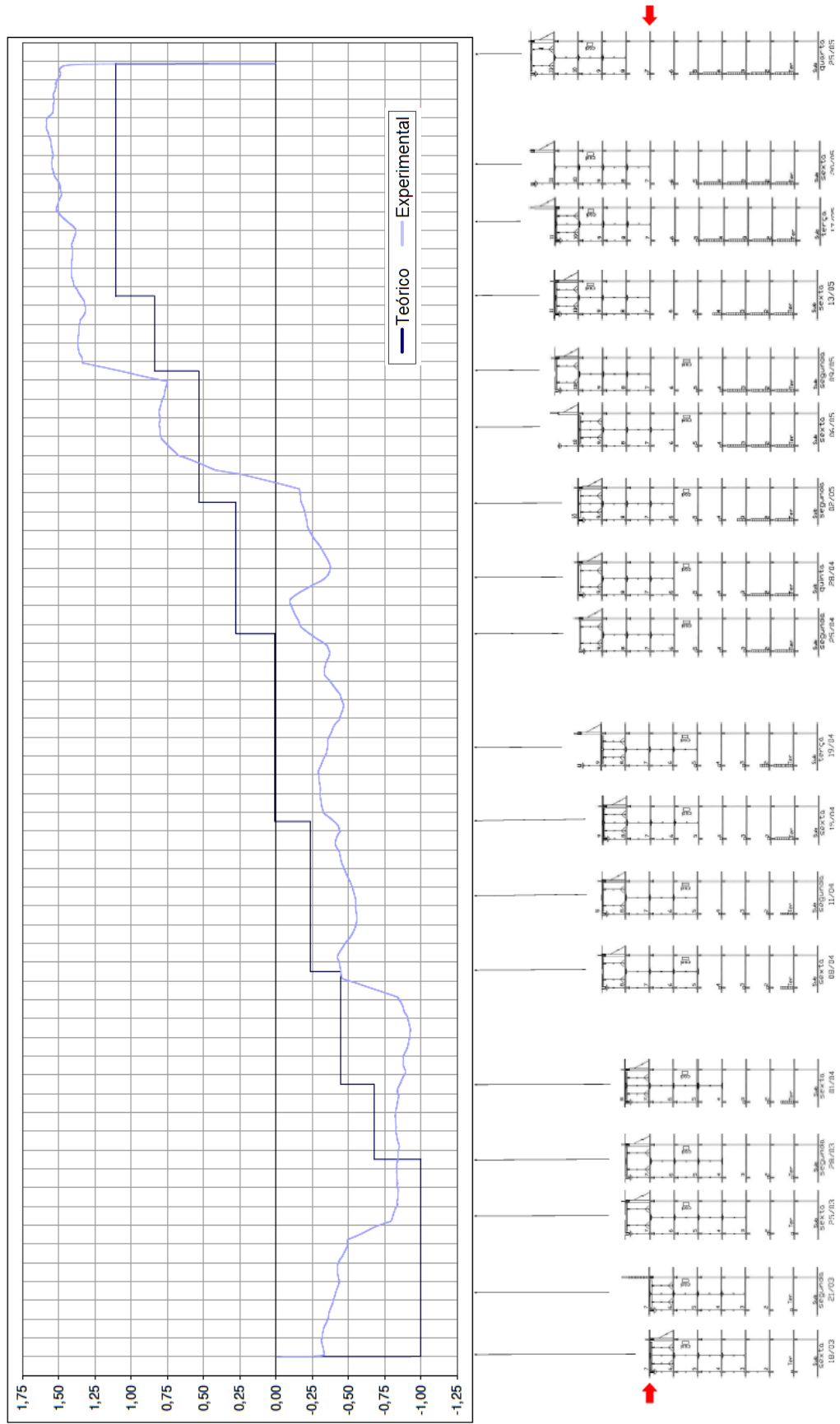
(fonte: SALVADOR, 2013, p. 160)

Nesses gráficos, o evento inicial correspondente à concretagem de um novo pavimento apresenta uma grande divergência entre o fator de carga teórico e o medido. Tal divergência pode ser explicada pelo fato de que, no estudo experimental realizado por Salvador, apenas as escoras correspondentes ao escoramento remanescente estavam instrumentadas. Nesse evento inicial, estavam sustentando a laje a ser concretada tanto as escoras remanescentes como as escoras do escoramento inicial. Assim, as escoras instrumentadas registravam apenas uma parcela da carga aplicada, e não a carga total. Dessa forma, o resultado experimental somente pode ser comparado com o resultado teórico a partir do evento da retirada do escoramento inicial, permanecendo no sistema apenas o escoramento remanescente. Esse evento corresponde ao dia 29 de março na figura 7 e ao dia 8 de abril na figura 8. Mais detalhes podem ser encontrados no trabalho de Salvador de 2013.

O fator de carga construtiva resultante no 7º pavimento, apresentado na figura 9, é resultado das cargas aplicadas pelos pontaletes, tanto embaixo quanto em cima do pavimento, cujos valores são apresentados nas figuras 7 e 8, respectivamente (SALVADOR, 2013, p. 161).

Salvador (2013, p. 161) explica que “[...] o espaçamento entre as linhas verticais da grade representam um período de um dia e as linhas horizontais os fatores de carga em intervalos de 0,25.” e que abaixo do gráfico da figura 9 está esquematizado o andamento da obra.

Figura 9 – Fator de carga aplicada pelos pontaletes no 7º pavimento (teórico e experimental)



(fonte: SALVADOR, 2013, p. 163)

Como conclusões, Salvador (2013, p. 202) destaca que o fator de carga das escoras deve ser de 1,4 vezes maior que os valores teóricos previstos na metodologia de Grundy e Kabaila. A forma como as cargas devem ser aplicadas nas lajes (se cargas distribuídas ou concentradas em poucos pontos) deve ser considerada em cada caso. Quando o escoramento é considerado como carga uniformemente distribuída, mas a aplicação real é através de pontaletes aplicando cargas concentradas em poucos pontos, os fatores de carga calculados através do método de Grundy e Kabaila, devem ter um fator de correção de 2 para contemplar também o efeito da forma de aplicação real das cargas sobre as solicitações.

## 7 CONSIDERAÇÕES DO MODELO DE CÁLCULO

Para que o estudo pudesse ser realizado, alguns parâmetros relacionados à edificação como um todo e às lajes tiveram de ser definidos previamente. O tipo de edifício escolhido foi o comercial. O concreto utilizado foi o de resistência característica de 40 MPa e o aço CA-50. De acordo com a NBR 6118, a classe de agressividade ambiental escolhida foi a II, de intensidade moderada, típica de regiões urbanas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 17).

### 7.1 CARGAS DE PROJETO

Para edifícios comerciais, a carga acidental nas lajes vale 2 kN/m<sup>2</sup>, conforme a NBR 6120 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1980, p. 3). Sobre o carregamento permanente, além do peso próprio da laje de concreto armado, foi utilizada uma única configuração de revestimento, que previa o uso de material cerâmico (0,85 kN/m<sup>2</sup>) e reboco (0,20 kN/m<sup>2</sup>).

### 7.2 CARGAS CONSTRUTIVAS

O carregamento permanente, nessa etapa, foi constituído apenas pelo peso próprio da laje de concreto armado, sem o revestimento. Para o carregamento acidental foi estipulada uma carga de 1 kN/m<sup>2</sup> que, de acordo com a NBR 15696/2009, é o valor mínimo que deve ser utilizado e que não inclui as cargas decorrentes do escoramento. Diferentemente das cargas de projeto, as cargas na fase de construção também possuem uma parcela que corresponde aos esforços aplicados pontualmente nas lajes, devido às escoras.

Para que fosse possível estimar o valor da carga que cada escora exerce sobre a laje, utilizou-se do estudo feito por Paulo Fernando Salvador. No quadro 2, pode-se verificar os valores máximos e mínimos do fator de carga das escoras ( $k$ ) para cada situação estudada nas idades em que os eventos críticos aconteceram. A primeira coluna do quadro apresenta os códigos que representam a combinação de três fatores controláveis, que foram variados: o número de



jogos de escoras, o tipo de cimento utilizado conforme o seu tempo de cura e o ciclo de execução (SALVADOR, 2013, p. 47-48).

Quadro 2 – Fatores de carga ( $k$ ) aplicados pelas escoras nos pavimentos: envoltória de máximos e mínimos

		Idade																				
		1	5	6	7	9	10	11	12	14	15	16	18	19	20	21	23	26	27	28	32	36
M02 S38 C51	Máx.	-0,71	0,18	0,71			1,24															
	Mín.		-0,24																			
M02 S38 C75	Máx.		-0,72		0,39				0,72	1,25												
	Mín.				-0,25																	
M02 S38 C95	Máx.		-0,72			0,39			0,72				1,24									
	Mín.					-0,24																
M02 S25 C51	Máx.	-0,71	0,29	0,71			1,23															
	Mín.		-0,23																			
M02 S25 C75	Máx.		-0,73		0,43				0,73	1,25												
	Mín.				-0,25																	
M02 S25 C95	Máx.		-0,73			0,42			0,73				1,25									
	Mín.					-0,25																
M02 S20 C51	Máx.	-0,72	0,33	0,72			1,23															
	Mín.		-0,23																			
M02 S20 C75	Máx.		-0,73		0,44				0,73	1,25												
	Mín.				-0,25																	
M02 S20 C95	Máx.		-0,73			0,44			0,73				1,25									
	Mín.					-0,25																
M03 S38 C51	Máx.	-0,87	-0,76	0,15			0,49	0,94				1,30										
	Mín.			-0,39			-0,03															
M03 S38 C75	Máx.		-0,87		0,18				0,34	0,68				1,00		1,36						
	Mín.				-0,69				-0,35	-0,02												
M03 S38 C95	Máx.		-0,87			0,17			0,33				0,67				1,00		1,35			
	Mín.					-0,69			-0,35				-0,02									
M03 S25 C51	Máx.	-0,87	0,05	0,24			0,58	0,96				1,31										
	Mín.		-0,73	-0,37			-0,02															
M03 S25 C75	Máx.		-0,87		0,23				0,37	0,71				1,01		1,36						
	Mín.				-0,68				-0,34													
M03 S25 C95	Máx.		-0,87			0,23			0,37				0,70				1,01		1,35			
	Mín.					-0,68			-0,34				-0,01									
M03 S20 C51	Máx.	-0,87	0,10	0,28			0,61	0,97				1,32										
	Mín.		-0,72	-0,36			-0,02															
M03 S20 C75	Máx.		-0,88		0,25				0,39	0,72				1,02		1,36						
	Mín.				-0,68				-0,34													
M03 S20 C95	Máx.		-0,88			0,25			0,38				0,72				1,01		1,36			
	Mín.					-0,68			-0,34													
M04 S38 C51	Máx.	-0,93	-0,83	0,04			0,29	0,43				0,70	1,05			1,32						
	Mín.			-0,57			-0,57	-0,28				-0,02										
M04 S38 C75	Máx.		-0,92		0,07				0,16	0,41				0,59		0,85		1,14		1,41		
	Mín.				-0,77				-0,53	-0,52				-0,26								
M04 S38 C95	Máx.		-0,92			0,06			0,15				0,40			0,58		0,84		1,14	1,40	
	Mín.					-0,78			-0,53				-0,52			-0,26						
M04 S25 C51	Máx.	-0,93	-0,81	0,04			0,29	0,50				0,75	1,08			1,35						
	Mín.			-0,54			-0,54	-0,27														
M04 S25 C75	Máx.		-0,93		0,13				0,21	0,46				0,63		0,89		1,16		1,42		
	Mín.				-0,76				-0,53	-0,51				-0,25								
M04 S25 C95	Máx.		-0,93			0,12			0,21				0,45			0,62		0,88		1,15	1,41	
	Mín.					-0,77			-0,53				-0,51			-0,26						
M04 S20 C51	Máx.	-0,93	-0,80	0,09			0,33	0,53				0,79	1,10			1,36						
	Mín.			-0,54			-0,54	-0,27														
M04 S20 C75	Máx.		-0,93		0,15				0,23	0,48				0,64		0,90		1,16		1,42		
	Mín.				-0,76				-0,54	-0,51				-0,25								
M04 S20 C95	Máx.		-0,93			0,15			0,23				0,48			0,64		0,89		1,16	1,42	
	Mín.					-0,76			-0,53				-0,51			-0,25						

(fonte: SALVADOR, 2013, p. 54)

Optou-se por utilizar o maior valor encontrado para o fator de carga, 1,42, que apareceu na última linha do quadro 2. O código M04 S20 C95 significa que foram utilizados quatro jogos de escoras, cimento de cura rápida ( $s = 20$ ) e ciclos de execução de nove dias, com a retirada do primeiro jogo de escoras (situadas no pavimento mais inferiormente escorado) cinco dias após a concretagem do novo pavimento.

### 7.2.1 Cálculo do fator de carga

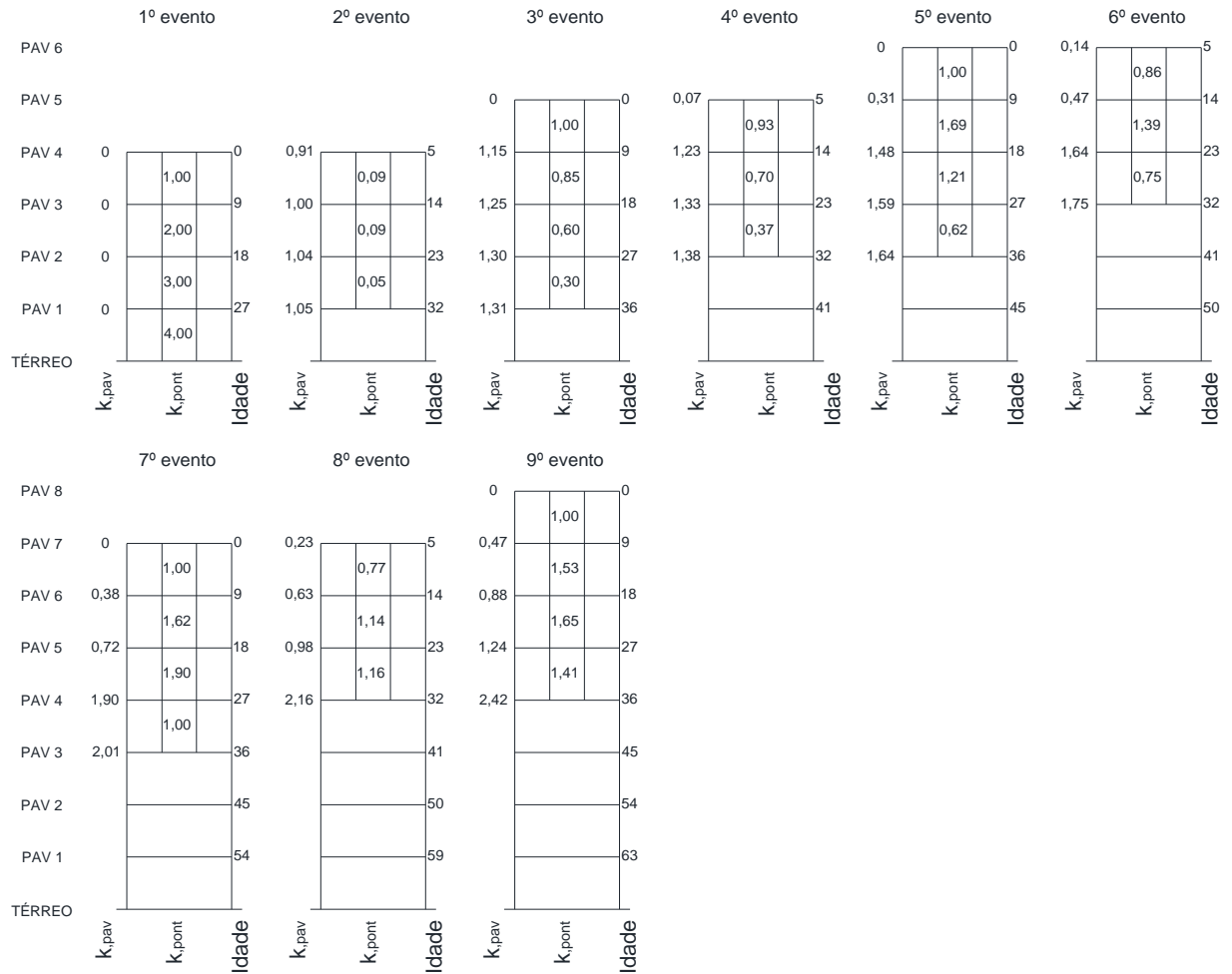
Apresenta-se a seguir os cálculos que mostram como o valor do fator de carga ( $k$ ) de 1,42 foi encontrado. A metodologia de cálculo, descrita anteriormente no item 5.2.2 deste trabalho, foi aplicada para a configuração que resulta em  $k = 1,42$ . Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade ( $\beta_E$ ) são visualizados na tabela 2 através da utilização das fórmulas 2 e 5.

Tabela 2 – Coeficiente de crescimento de  $E$  para  $s = 20$

Idade	$\beta_E$ (t)	Idade	$\beta_E$ (t)
0	0,000	15	0,964
1	0,651	16	0,968
2	0,760	17	0,972
3	0,814	18	0,976
4	0,848	19	0,979
5	0,872	20	0,982
6	0,890	21	0,985
7	0,905	22	0,987
8	0,917	23	0,990
9	0,926	24	0,992
10	0,935	25	0,994
11	0,942	26	0,996
12	0,949	27	0,998
13	0,954	28	1,000
14	0,959		

(fonte: elaborada pela autora)

Na figura 10, visualizam-se os eventos com os resultados correspondentes a cada etapa do cálculo.

Figura 10 – Eventos com valores de  $k$  correspondentes

(fonte: elaborada pela autora)

No **primeiro evento**, os fatores de carga para os quatro pavimentos é zero. Todas as cargas são transmitidas até a base da edificação e por isso as escoras suportam toda a carga proveniente do peso próprio dos pavimentos e o fator de carga delas tem o acréscimo em uma unidade ( $k = 1$ ) a cada pavimento sobreposto.

No **segundo evento**, ocorre a retirada das escoras que apoiam o primeiro pavimento e os fatores de carga foram recalculados.

O fator de carga nas escoras recém retiradas era de:

$$\Delta P = 4$$

Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade para os pavimentos 1, 2, 3 e 4 para as idades de 32, 23, 14 e 5 dias respectivamente são, de acordo com a tabela 2:

$$E_1 = 1,0; E_2 = 0,990; E_3 = 0,959; E_4 = 0,872$$

A soma dos coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade de todos os pavimentos é:

$$E_R = 1,0 + 0,990 + 0,959 + 0,872 = 3,821$$

O acréscimo nos fatores de carga e o novo fator de carga, que é a soma do antigo valor e o acréscimo, em cada um dos pavimentos são calculados de acordo com a fórmula 11:

$$\Delta k_1 = \frac{1,0}{3,821} \times 4 = 1,05; k_{1,pavimento} = 0,00 + 1,05 = 1,05$$

$$\Delta k_2 = \frac{0,990}{3,821} \times 4 = 1,04; k_{2,pavimento} = 0,00 + 1,04 = 1,04$$

$$\Delta k_3 = \frac{0,959}{3,821} \times 4 = 1,00; k_{3,pavimento} = 0,00 + 1,00 = 1,00$$

$$\Delta k_4 = \frac{0,872}{3,821} \times 4 = 0,91; k_{4,pavimento} = 0,00 + 0,91 = 0,91$$

Então, os fatores de carga nas escoras são o valor antigo diminuído dos valores dos fatores de carga dos pavimentos acima das mesmas:

$$k_{2,pontalete} = 3 - (1,04 + 1,00 + 0,91) = 0,05$$

$$k_{3,pontalete} = 2 - (1,00 + 0,91) = 0,09$$

$$k_{4,pontalete} = 1 - (0,91) = 0,09$$

No **terceiro evento**, tem-se a concretagem do pavimento 5 e o acréscimo de carga decorrente desse novo pavimento que acabou de ser executado:

$$\Delta P = 1$$

Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade para os pavimentos 1, 2, 3, 4 e 5 para as idades de 36, 27, 18, 9 e 0 dias respectivamente são, de acordo com a tabela 2:

$$E_1 = 1,0; E_2 = 0,998; E_3 = 0,976; E_4 = 0,926; E_5 = 0$$

A soma dos coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade de todos os pavimentos é:

$$E_R = 1,0 + 0,998 + 0,976 + 0,926 + 0 = 3,900$$

O acréscimo nos fatores de carga e o novo fator de carga dos pavimentos são:

$$\Delta k_1 = \frac{1,0}{3,900} \times 1 = 0,26; k_{1,pavimento} = 1,05 + 0,26 = 1,31$$

$$\Delta k_2 = \frac{0,998}{3,900} \times 1 = 0,26; k_{2,pavimento} = 1,04 + 0,26 = 1,30$$

$$\Delta k_3 = \frac{0,976}{3,900} \times 1 = 0,25; k_{3,pavimento} = 1,00 + 0,25 = 1,25$$

$$\Delta k_4 = \frac{0,926}{3,900} \times 1 = 0,24; k_{4,pavimento} = 0,91 + 0,24 = 1,15$$

$$\Delta k_5 = \frac{0}{3,900} \times 1 = 0,00; k_{5,pavimento} = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Os fatores de carga nas escoras são:

$$k_{2,pontalete} = 4 - (1,30 + 1,25 + 1,15 + 0) = 0,30$$

$$k_{3,pontalete} = 3 - (1,25 + 1,15 + 0) = 0,60$$

$$k_{4,pontalete} = 2 - (1,15 + 0) = 0,85$$

$$k_{5,pontalete} = 1 - (0) = 1,00$$

Os cálculos dos fatores seguem o mesmo procedimento nos demais eventos, para os pavimentos subsequentes, portanto se passa para a demonstração do último evento.

No **nono evento**, tem-se a concretagem do pavimento 8 e o acréscimo de carga decorrente desse novo pavimento que acabou de ser executado:

$$\Delta P = 1$$

Os coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade para os pavimentos 4, 5, 6, 7 e 8 para as idades de 36, 27, 18, 9 e 0 dias respectivamente são, de acordo com a tabela 2:

$$E_1 = 1,0; E_2 = 0,998; E_3 = 0,976; E_4 = 0,926; E_5 = 0$$

A soma dos coeficientes de crescimento do módulo de elasticidade de todos os pavimentos é:

$$E_R = 1,0 + 0,998 + 0,976 + 0,926 + 0 = 3,900$$

O acréscimo nos fatores de carga e o novo fator de carga dos pavimentos são:

$$\Delta k_4 = \frac{1,0}{3,900} \times 1 = 0,26; k_{4,pavimento} = 2,16 + 0,26 = 2,42$$

$$\Delta k_5 = \frac{0,998}{3,900} \times 1 = 0,26; k_{5,pavimento} = 0,98 + 0,26 = 1,24$$

$$\Delta k_6 = \frac{0,976}{3,900} \times 1 = 0,25; k_{6,pavimento} = 0,63 + 0,25 = 0,88$$

$$\Delta k_7 = \frac{0,926}{3,900} \times 1 = 0,24; k_{7,pavimento} = 0,23 + 0,24 = 0,47$$

$$\Delta k_8 = \frac{0}{3,900} \times 1 = 0,00; k_{8,pavimento} = 0,00 + 0,00 = 0,00$$

Os fatores de carga nas escoras são:

$$k_{5,pontalete} = 4 - (1,24 + 0,88 + 0,47 + 0) = \mathbf{1,41}$$

$$k_{6,pontalete} = 3 - (0,88 + 0,47 + 0) = 1,65$$

$$k_{7,pontalete} = 2 - (0,47 + 0) = 1,53$$

$$k_{8,pontalete} = 1 - (0) = 1,00$$

O valor de  $k \approx 1,42$  é então finalmente encontrado nas escoras que unem os pavimentos 4 e 5, aos 36 dias de idade do pavimento 4, como mostrado na figura 10.

### 7.2.2 Disposição das escoras nas lajes

As disposições de escoras foram sendo testadas, progressivamente, até que se obtivessem os momentos máximos aceitáveis para que a laje suportasse as cargas com a segurança exigida pelas normas para ações de construção, respeitando os espaçamentos máximos e mínimos entre escoras, estipulados em dois metros e em 50 centímetros, respectivamente.

Partindo-se do pressuposto de que quanto maior a quantidade de escoras, mais o carregamento se assemelharia a um carregamento distribuído, portanto geraria solicitações menores do que cargas pontuais, iniciou-se a colocação do número máximo possível de escoras, no qual o espaçamento entre elas é de 50 centímetros. Caso as solicitações geradas fossem superiores às máximas admissíveis para as armaduras definidas pelas cargas de projeto, eram testadas mais algumas disposições de escoras em quantidades inferiores de modo a averiguar a existência de alguma configuração que não ultrapassasse tal valor máximo admissíveis das solicitações resistentes. Não sendo encontrado nenhum arranjo de escoras que gerasse momentos atuantes aceitáveis para a laje, inferiu-se que essa laje deve ser projetada não para as cargas de projeto (ações de uso da estrutura), mas sim para as cargas de construção.

Caso as solicitações geradas pelo número máximo de escoras fossem inferiores às máximas admissíveis, colocava-se, então, o número mínimo de escoras possível para que o espaçamento entre elas ou entre elas e a borda da laje não fosse maior que dois metros. Se as solicitações geradas continuassem sendo inferiores às máximas admissíveis, terminavam-se os testes para aquela laje. No entanto, se as solicitações geradas por tal disposição fossem superiores às máximas admissíveis, o número de escoras era aumentado em uma unidade até que fosse encontrada uma disposição de escoras que não ultrapassasse os tais valores admissíveis.

A configuração escolhida como de escoramento mínimo para cada laje é aquela que, com o menor número de escoras possível, não supera as solicitações máximas admissíveis. Nessa situação, considera-se que um número maior de escoras que o mínimo produzirá solicitações inferiores às que podem ser suportadas pela laje com segurança.

Cabe salientar que foram também testadas diferentes disposições para um mesmo número de escoras. Por exemplo, quatro escoras podem ser colocadas em apenas uma linha de quatro escoras ou em duas linhas de duas escoras. Caso uma ou mais dessas disposições resultassem

em solicitações admissíveis, elas foram consideradas como disposições adequadas. Havendo mais de uma disposição admissível para o mesmo número de escoras, a disposição considerada mais adequada foi aquela que correspondia à maior área de influência para cada escora.

Ao longo da realização dos testes nas lajes, constatou-se que escoras colocadas ao longo de eixos localizados no centro de cada um dos vãos das lajes geravam solicitações exageradamente grandes, portanto optou-se por evitar os testes com disposições de escoras nesses pontos.

### 7.3 ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES EM LAJES

As lajes foram analisadas através da analogia de grelhas, com a seguinte configuração:

- a) as barras de contorno têm propriedades de rigidez diferentes das barras centrais, o que permite um efeito similar ao de molas angulares no contorno, reduzindo, parcialmente, os momentos negativos e ajustando os positivos;
- b) todas as barras são consideradas como tendo seção retangular com a base igual à metade do afastamento entre eixos.

Escolheu-se realizar o trabalho adotando um modelo simplificado de grelhas, pois ele se assemelha ao modelo utilizado por programas usuais de projeto, como o TQS<sup>23</sup>. Tal opção visa uma comparação mais direta com trabalhos futuros realizados com tais programas e com a determinação de solicitações em estruturas desse tipo usualmente utilizadas em escritórios de projeto.

Foram simuladas algumas configurações de lajes utilizando elementos finitos e um modelo de grelha equivalente com o espaçamento entre barras de 25 centímetros. A diferença existente entre os valores de rigidez das barras de grelha no contorno da placa e no centro, bem como a relação entre as inércias torcional e de flexão das barras, foram determinadas de maneira a se obter a equivalência entre os dois modelos em deslocamentos e solicitações, dentro de uma margem de erro aceitável, menor que 10%.

A figura 11 esquematiza a malha de elementos de barra do modelo de grelha, sendo a aplicação da carga das escoras sempre feita nos nós dessa malha. Quando o espaçamento entre

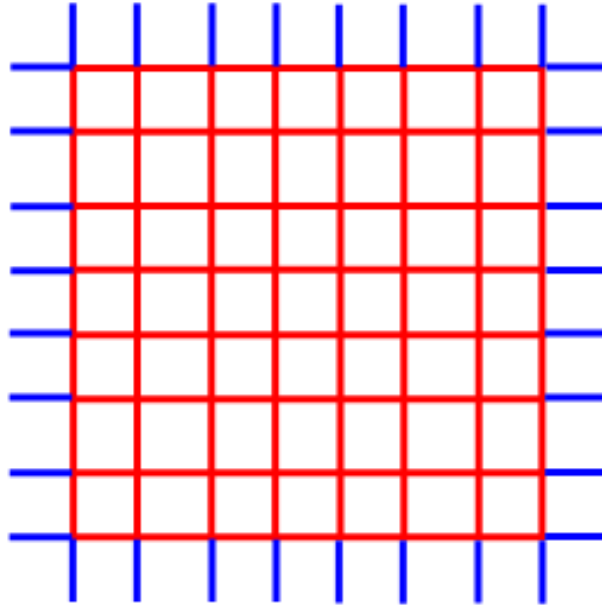
---

<sup>23</sup> CAD/TQS, versão 18.9. [S.l.]: TQS Informática Ltda., 2014. Conjunto de Programas. 1 CD-ROM.



as escoras não coincidia exatamente com algum nó, aproximava-se a aplicação da carga para o nó mais próximo.

Figura 11 – Malha de elementos de barra do modelo de grelha



(fonte: elaborada pela autora)

Considerando  $I_x$  a inércia torcional e  $I_y$  a inércia de flexão, as fórmulas 12 a 15 estimam esses valores.

Para as barras centrais (em vermelho):

$$I_x = 1,2 \times \frac{bh^3}{3(1-\nu)} \quad (\text{fórmula 12})$$

$$I_y = 1,25 \times \frac{bh^3}{6} \quad (\text{fórmula 13})$$

Para as barras de contorno (em azul):

$$I_x \approx 0 \quad (\text{fórmula 14})$$

$$I_y = 0,875 \times \frac{bh^3}{6} \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

$I_x$  = inércia torcional;

$I_y$  = inércia de flexão;

$b$  = base da seção retangular;

$h$  = altura da seção retangular;

$\nu$  = coeficiente de Poisson.

## 7.4 PROJETO DA LAJE

Optou-se por realizar o estudo em lajes isoladas, e não em um pavimento como um todo, pois desse modo foi possível analisar lajes de diferentes tipos, com dimensões e condições de vinculação variadas. Analisando-se pavimentos inteiros, obter-se-iam momentos negativos menores nas bordas, pois o fato de as lajes estarem dispostas de forma adjacente em um pavimento gera um engastamento mútuo entre as lajes. Tal condição tende a resultar em um momento negativo inferior ao de engastamento perfeito para as lajes de maiores dimensões, o que não acontece no estudo de uma laje isolada. Apesar de haver diferenças entre a distribuição de momentos em lajes isoladas e em um pavimento como um todo, a presença de cargas concentradas em determinados pontos – as escoras – provocam alterações semelhantes sobre as duas distribuições, permitindo que o efeito seja avaliado em lajes isoladas.

Foram estudadas lajes retangulares de nove tamanhos diferentes com todas as possíveis condições de vinculação para cada um dos tamanhos. O dimensionamento foi feito para a carga de projeto, composta pelo peso próprio da estrutura e pelo carregamento acidental.

A espessura das lajes de concreto armado foi obtida em função da deformação das mesmas. Para o dimensionamento das armaduras, utilizou-se uma distribuição elástica de momentos, obtida a partir do modelo aproximado de grelha. A distribuição elástica resulta em maiores

momentos negativos nos bordos engastados e menores nos vãos em comparação a soluções plásticas comumente utilizadas no projeto de lajes. Entretanto, optou-se por uma solução elástica pela necessidade de se comparar as solicitações decorrentes das cargas de projeto, tipicamente distribuídas por toda superfície, com as decorrentes da etapa construtiva, com parte considerável da carga aplicada representada por cargas concentradas – a carga do escoramento – aplicadas num número variável de pontos. Tal carregamento não é facilmente analisado pelas soluções plásticas.

As cargas de projeto são calculadas utilizando coeficientes de ponderação para combinações de ações normais, de longa duração. Contudo, o foco do estudo está nas cargas geradas pelo escoramento, que se dá durante a fase de construção, ou seja, de curta duração, e por isso os coeficientes de ponderação têm valores diferentes. De acordo com a NBR 6118, o coeficiente de ponderação das ações ( $\gamma_f$ ) vale 1,4 para as normais e 1,3 para as de construção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 65). Ainda conforme a mesma norma, o coeficiente de ponderação da resistência do concreto ( $\gamma_c$ ) vale 1,4 para as ações normais e 1,2 para as ações de construção; o coeficiente de ponderação da resistência do aço ( $\gamma_s$ ) vale 1,15 tanto para as ações normais quanto para as de construção (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 71).

Cabe salientar também que, ao se tratar de cargas de curta duração, o fator que minora o valor da resistência do concreto devido ao efeito Rüsç deve ser desconsiderado.

A partir da taxa de armadura encontrada para os momentos gerados por cargas de longa duração, trocou-se o valor dos coeficientes para os de carga de curta duração e recalcularam-se os momentos máximos que as lajes podiam suportar. Esses momentos foram ligeiramente maiores que os calculados inicialmente, pois o coeficiente que majora o valor das cargas diminuiu e o coeficiente que minora a resistência do concreto também diminuiu.

Como o programa utilizado para a verificação não permitia a definição do coeficiente utilizado para o efeito Rüsç, considerou-se um coeficiente de ponderação do concreto equivalente ( $\gamma_{c, eq}$ ), obtido através da igualdade entre as resistências de cálculo do concreto. A resistência de cálculo do concreto, conforme a NBR 6118, é dada pela fórmula 16 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 70):

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde:

$f_{cd}$  = resistência de cálculo à compressão do concreto aos 28 dias (MPa);

$f_{ck}$  = resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias (MPa);

$\gamma_c$  = coeficiente de ponderação da resistência do concreto.

Igualando-se duas fórmulas, uma considerando o efeito Rüsç através da multiplicação da resistência de cálculo por 0,85, e a outra desconsiderando o efeito Rüsç (valor igual a um) e considerando o coeficiente de ponderação do concreto para cargas de construção, obtém-se o coeficiente de ponderação da resistência do concreto equivalente, conforme demonstrado a seguir:

$$0,85 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_{ceq}} = 1,0 \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c = 1,2}$$

$$\gamma_{ceq} = 1,02$$

A análise das lajes foi feita considerando uma carga distribuída equivalente ao peso próprio e a uma carga acidental de 1 kN/m<sup>2</sup>, mais as cargas concentradas correspondentes às escoras, como visto no item 7.2. O valor da carga de cada escora sobre a laje é dada pela fórmula 17:

$$P = k \times A_{inf} \times (h_{laje} \times \gamma_{conc}) \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde:

$P$  = carga da escora (kN);

$k$  = fator de carga nas escoras;

$A_{inf}$  = área de influência da escora (m<sup>2</sup>);

$h_{laje}$  = espessura da laje (m);

$\gamma_{conc}$  = peso específico do concreto armado (kN/m<sup>3</sup>).

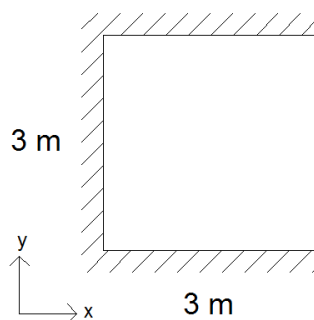
A forma de aplicação das cargas devidas ao escoramento seguiu a metodologia descrita no item 7.2.2.

A ferramenta computacional utilizada para obter a espessura das lajes foi desenvolvida pelo professor Américo Campos Filho. A mesma não foi utilizada para a determinação dos momentos de projeto para cargas de longa duração porque utiliza uma solução plástica, na qual é difícil incluir o efeito de inúmeras cargas pontuais. Optou-se, então, por se utilizar soluções elásticas. Já a ferramenta utilizada para obter a taxa de armadura e os momentos corrigidos de projeto foi o *software* Cérberus. A análise das solicitações e os momentos gerados para cada configuração de cargas foram obtidos através do *software* Centaurus. As duas últimas ferramentas foram desenvolvidas por professores da UFRGS.

## 7.5 EXEMPLO DE SIMULAÇÃO DAS SOLICITAÇÕES PARA UMA LAJE QUADRADA

A laje exemplificada é engastada em três bordas e simplesmente apoiada em uma e tem três metros de largura e três de comprimento, conforme a figura 12.

Figura 12 – Laje 3x3 com três bordas engastadas



(fonte: elaborada pela autora)

Inicialmente a laje foi projetada para as cargas de projeto, compostas pelo peso próprio da laje, pelo revestimento e pela carga accidental, totalizando um carregamento de 5,05 kN/m<sup>2</sup>. A espessura encontrada para a laje foi de oito centímetros. De acordo com a NBR 6118, o peso específico do concreto armado é 25 kN/m<sup>3</sup> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 22).

$$\text{Peso próprio} = 0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{2 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Reboco} + \text{piso cerâmico} = 0,20 \text{ kN/m}^2 + 0,85 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1,05 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Carga acidental} = \mathbf{2 \text{ kN/m}^2}$$

Os momentos máximos de projeto encontrados, utilizando-se os coeficientes de ponderação para **cargas de longa duração**, bem como as taxas de armadura encontradas, e os novos momentos calculados utilizando a taxa mínima de armadura, foram:

$$M_{x,proj} = 1,21 \text{ kNm}; A_{s,mín} = 1,23 \text{ cm}^2; M'_{x,proj} = 1,68 \text{ kNm}$$

$$M'_{x,proj} = 2,44 \text{ kNm}; A_{s,mín} = 1,84 \text{ cm}^2; M'_{x,proj} = 3,33 \text{ kNm}$$

$$M_{y,proj} = 1,10 \text{ kNm}; A_{s,mín} = 1,23 \text{ cm}^2; M'_{y,proj} = 1,87 \text{ kNm}$$

$$M'_{y,proj} = 2,72 \text{ kNm}; A_{s,mín} = 1,84 \text{ cm}^2; M'_{y,proj} = 3,33 \text{ kNm}$$

Os momentos foram então recalculados utilizando-se os coeficientes de ponderação para **cargas de curta duração**, sendo ligeiramente maiores que os valores anteriormente encontrados:

$$\mathbf{M_{x,cd} = 1,82 \text{ kNm}}$$

$$\mathbf{M'_{x,cd} = 3,62 \text{ kNm}}$$

$$\mathbf{M_{y,cd} = 2,02 \text{ kNm}}$$

$$\mathbf{M'_{y,cd} = 3,62 \text{ kNm}}$$

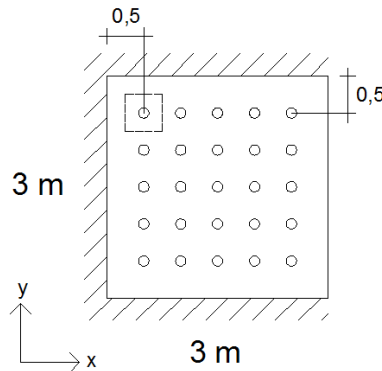
O passo seguinte foi obter as cargas de construção, que têm uma parcela distribuída e outra parcela concentrada (escoras). O carregamento distribuído foi composto pelo peso próprio da laje e por uma carga acidental estimada em  $1 \text{ kN/m}^2$ , de modo a prever possíveis materiais colocados sobre a laje na fase de construção.

$$\text{Peso próprio} = 0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = \mathbf{2 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Carga acidental} = \mathbf{1 \text{ kN/m}^2}$$

A primeira configuração foi a de **25 escoras**, número máximo com espaçamento mínimo de 50 centímetros entre cada uma das escoras e entre as escoras e a borda, colocadas em cinco linhas (direção do eixo  $x$ ) com cinco escoras cada, conforme a figura 13. A linha pontilhada representa a área de influência por escora.

Figura 13 – Configuração de 25 escoras para laje 3x3 com três bordas engastadas



(fonte: elaborada pela autora)

A carga por escora, de acordo com a fórmula 17, foi:

$$P_{25} = 1,42 \times 0,25 \text{ m}^2 \times (0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) = 0,71 \text{ kN}$$

Os momentos gerados pelo carregamento distribuído e pelo concentrado da fase de construção foram menores os máximos admissíveis para as cargas de curta duração ( $M_{cd}$ ):

$$M_x = 1,43 \text{ kNm} < M_{x,cd}$$

$$M'_x = 2,76 \text{ kNm} < M'_{x,cd}$$

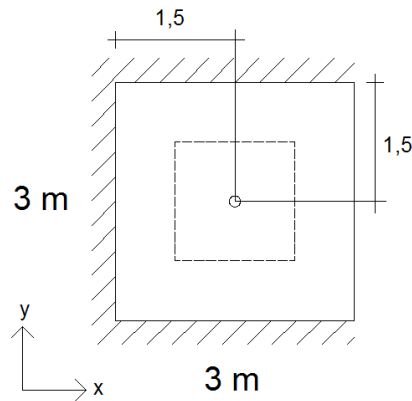
$$M_y = 1,31 \text{ kNm} < M_{y,cd}$$

$$M'_y = 3,08 \text{ kNm} < M'_{y,cd}$$

De modo a buscar a configuração com o menor número de escoras possível que não gere solicitações superiores às máximas admissíveis para cargas de curta duração, prosseguiu-se com os testes.

A segunda configuração foi a de **uma escora**, número mínimo, colocada no centro da laje e, portanto, distanciada 1,5 metros de cada borda, conforme a figura 14.

Figura 14 – Configuração de uma escora para laje 3x3 com três bordas engastadas



(fonte: elaborada pela autora)

A carga por escora foi de:

$$P_1 = 1,42 \times 2,25 \text{ m}^2 \times (0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) = 6,39 \text{ kN}$$

Os momentos negativos gerados foram menores que os admissíveis, entretanto os positivos foram maiores, portanto aumentou-se o número de escoras:

$$M_x = 2,30 \text{ kNm} > M_{x,cd}$$

$$M'_x = 2,28 \text{ kNm} < M'_{x,cd}$$

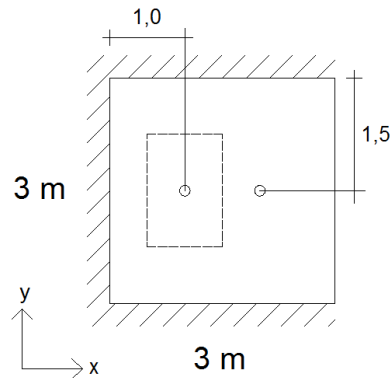
$$M_y = 2,56 \text{ kNm} > M_{y,cd}$$

$$M'_y = 2,51 \text{ kNm} < M'_{y,cd}$$

A terceira configuração foi a de **duas escoras**, dispostas em uma linha paralela ao eixo  $x$ , centralizada no vão da laje, conforme a figura 15.



Figura 15 – Configuração de duas escoras para laje 3x3 com três bordas engastadas



(fonte: elaborada pela autora)

A carga por escora de:

$$P_2 = 1,42 \times 1,5 \text{ m}^2 \times (0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) = 4,26 \text{ kN}$$

Novamente, apenas os momentos positivos gerados foram maiores que os máximos admissíveis, portanto continuou-se a aumentar o número de escoras, já que é necessário que todos os momentos fiquem abaixo dos valores de momento de curta duração para que a configuração de escoras seja aceitável:

$$M_x = 1,84 \text{ kNm} > M_{x,cd}$$

$$M'_x = 2,60 \text{ kNm} < M'_{x,cd}$$

$$M_y = 2,16 \text{ kNm} > M_{y,cd}$$

$$M'_y = 2,59 \text{ kNm} < M'_{y,cd}$$

A quarta configuração foi a de **quatro escoras**, mas agora dispostas em duas linhas, ao invés de uma linha só, já que as áreas de influência por escoras são maiores na primeira opção. A carga por escora foi de:

$$P_4 = 1,42 \times 1 \text{ m}^2 \times (0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3) = 2,84 \text{ kN}$$

Finalmente, todos os momentos gerados foram menores que os momentos de curta duração:

$$M_x = 1,40 \text{ kNm} < M_{x,cd}$$

$$M'_x = 2,56 \text{ kNm} < M'_{x,cd}$$

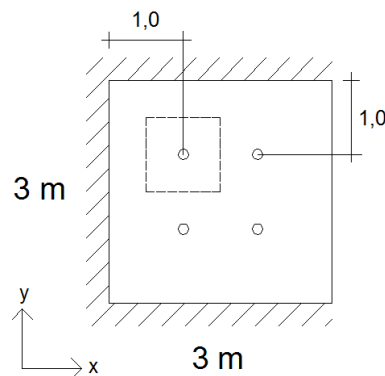
$$M_y = 1,56 \text{ kNm} < M_{y,cd}$$

$$M'_y = 2,85 \text{ kNm} < M'_{y,cd}$$

Cabe salientar que a configuração de quatro escoras dispostas em somente uma linha foi igualmente testada e todos os momentos foram menores que os de projeto, mas pelo fato de a área de influência por escora ser menor nesse caso, a configuração escolhida foi a apresentada anteriormente.

Portanto, para uma laje quadrada com três metros comprimento, a configuração de escoras durante a fase de construção, que não gera momentos maiores que os máximos admissíveis para as cargas de curta duração, é a de quatro escoras dispostas em duas linhas com duas escoras cada, conforme a figura 16.

Figura 16 – Configuração de quatro escoras para laje 3x3 com três bordas engastadas



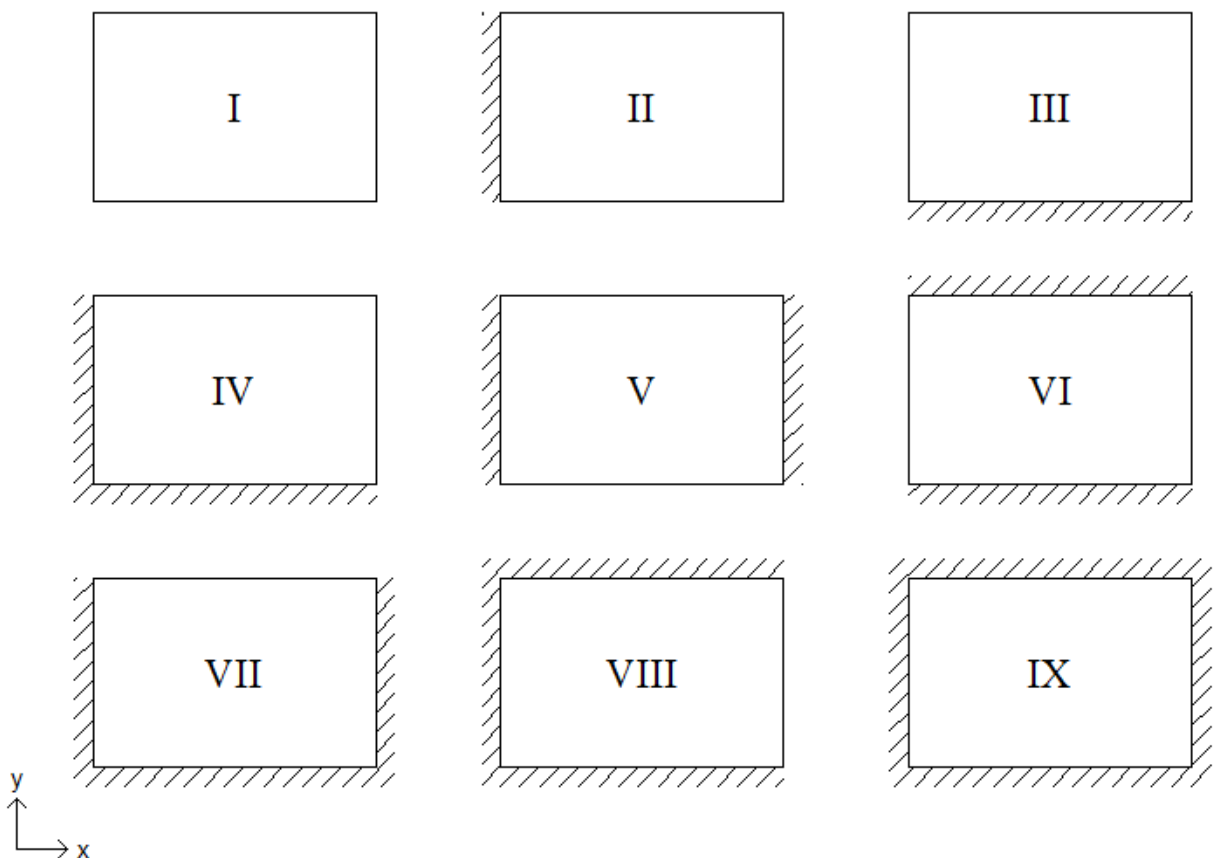
(fonte: elaborada pela autora)

## 8 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O estudo foi realizado em nove tamanhos diferentes de lajes retangulares com nove condições de vinculação para cada um dos tamanhos, totalizando 81 lajes. As dimensões foram escolhidas de forma que, ao se fixar o tamanho de um dos lados, o outro lado seria do mesmo tamanho, uma vez e meia maior e duas vezes maior. Neste último caso, a laje continuou a ser considerada como armada em duas direções, ou seja, as armaduras na direção do vão maior são as correspondentes aos respectivos momentos nessa direção, e não armaduras de distribuição.

A figura 17 apresenta as nove condições de vinculação utilizadas para cada um dos tamanhos de laje, desde todas as bordas simplesmente apoiadas até todas as bordas engastadas.

Figura 17 – Condições de vinculação das lajes



(fonte: elaborada pela autora)

As nove dimensões de lajes estudadas foram:

- a) para o vão de dois metros: 2x2, 2x3 e 2x4;
- b) para o vão de três metros: 3x3, 3x4,5 e 3x6;
- c) para o vão de quatro metros: 4x4, 4x6 e 4x8.

As tabelas 3, 4 e 5 apresentam os valores de momento obtidos através da metodologia descrita no item 7.4 e exemplificada no item 7.5 desse trabalho. Com exceção de apenas uma laje, a 4x8 com condição de vinculação I, que tem espessura de nove centímetros, para todas as outras lajes a espessura encontrada foi oito centímetros. Segundo a NBR 6118, oito centímetros é a espessura mínima para lajes de piso que não estão em balanço (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 74). Sendo assim, as cargas de projeto, compostas pelo peso próprio, pelo revestimento e pela carga acidental para as lajes de espessura de oito centímetros foram:

$$\text{Peso próprio} = 0,08 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Reboco} + \text{piso cerâmico} = 0,20 \text{ kN/m}^2 + 0,85 \text{ kN/m}^2 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carga acidental} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carregamento de projeto} = 5,05 \text{ kN/m}^2$$

As cargas de projeto para a laje de espessura de nove centímetros foram:

$$\text{Peso próprio} = 0,09 \text{ m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Reboco} + \text{piso cerâmico} = 0,20 \text{ kN/m}^2 + 0,85 \text{ kN/m}^2 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carga acidental} = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Carregamento de projeto} = 5,30 \text{ kN/m}^2$$

Primeiramente, foram encontrados os valores de momentos de projeto e as taxas de armadura correspondentes, usando os coeficientes de ponderação para cargas de longa duração. Os momentos para cargas de curta duração foram calculados a partir das taxas de armadura, utilizando-se os coeficientes de ponderação para esta situação.

Tabela 3 – Momentos para as lajes com relação entre lados igual 1,0

Condição de vinculação das lajes	Dimensões das lajes (m x m) - Relação entre lados = 1,0								
	2 x 2			3 x 3			4 x 4		
	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)
I	M <sub>x</sub> 1,10	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,14	1,58	M <sub>x</sub> <b>2,33</b>	M <sub>x</sub> 3,55	2,69	M <sub>x</sub> <b>3,87</b>
	M <sub>y</sub> 1,10	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,14	1,42	M <sub>y</sub> <b>2,33</b>	M <sub>y</sub> 3,55	2,39	M <sub>y</sub> <b>3,87</b>
II	M <sub>x</sub> 0,99	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,97	1,3	M <sub>x</sub> <b>2,14</b>	M <sub>x</sub> 3,28	2,2	M <sub>x</sub> <b>3,57</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,84	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,90	2,16	M <sub>x</sub> ' <b>4,23</b>	M <sub>x</sub> ' 6,76	3,85	M <sub>x</sub> ' <b>7,40</b>
	M <sub>y</sub> 0,79	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,48	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,43	1,57	M <sub>y</sub> <b>2,57</b>
III	M <sub>x</sub> 0,79	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>	M <sub>x</sub> 1,48	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>	M <sub>x</sub> 2,43	1,57	M <sub>x</sub> <b>2,57</b>
	M <sub>y</sub> 0,99	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>1,82</b>	M <sub>y</sub> 1,97	1,3	M <sub>y</sub> <b>2,14</b>	M <sub>y</sub> 3,28	2,2	M <sub>y</sub> <b>3,57</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,84	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,90	2,16	M <sub>y</sub> ' <b>4,23</b>	M <sub>y</sub> ' 6,76	3,85	M <sub>y</sub> ' <b>7,40</b>
IV	M <sub>x</sub> 0,74	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,48	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,46	1,63	M <sub>x</sub> <b>2,67</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,45	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,15	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 5,52	3,11	M <sub>x</sub> ' <b>6,03</b>
	M <sub>y</sub> 0,74	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,48	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,46	1,63	M <sub>y</sub> <b>2,67</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,45	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,15	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 5,52	3,11	M <sub>y</sub> ' <b>6,03</b>
V	M <sub>x</sub> 0,74	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,52	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>	M <sub>x</sub> 2,58	1,71	M <sub>x</sub> <b>2,80</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,46	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,15	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 5,52	3,11	M <sub>x</sub> ' <b>6,03</b>
	M <sub>y</sub> 0,60	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,08	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>1,82</b>	M <sub>y</sub> 1,72	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>
VI	M <sub>x</sub> 0,60	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>	M <sub>x</sub> 1,08	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,72	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>
	M <sub>y</sub> 0,74	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>1,82</b>	M <sub>y</sub> 1,52	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,58	1,71	M <sub>y</sub> <b>2,80</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,46	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,15	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 5,52	3,11	M <sub>y</sub> ' <b>6,03</b>
VII	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,21	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,78	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,12	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,44	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,28	2,38	M <sub>x</sub> ' <b>4,65</b>
	M <sub>y</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,10	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,07	1,37	M <sub>y</sub> <b>2,25</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,25	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 2,72	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 4,80	2,68	M <sub>y</sub> ' <b>5,22</b>
VIII	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>	M <sub>x</sub> 1,10	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>2,02</b>	M <sub>x</sub> 2,07	1,37	M <sub>x</sub> <b>2,25</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,25	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,72	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,80	2,68	M <sub>x</sub> ' <b>5,22</b>
	M <sub>y</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>1,82</b>	M <sub>y</sub> 1,21	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>1,82</b>	M <sub>y</sub> 1,78	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,12	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 2,44	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 4,28	2,38	M <sub>y</sub> ' <b>4,65</b>
IX	M <sub>x</sub> 0,42	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 0,90	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,55	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,02	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,24	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,96	2,2	M <sub>x</sub> ' <b>4,31</b>
	M <sub>y</sub> 0,42	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 0,90	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,55	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,02	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 2,24	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,96	2,2	M <sub>y</sub> ' <b>4,31</b>

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 4 – Momentos para as lajes com relação entre lados igual 1,5

Condição de vinculação das lajes	Dimensões das lajes (m x m) - Relação entre lados = 1,5								
	2 x 3			3 x 4,5			4 x 6		
	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)
I	M <sub>x</sub> 1,15	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,99	1,47	M <sub>x</sub> <b>2,17</b>	M <sub>x</sub> 3,11	2,33	M <sub>x</sub> <b>3,39</b>
	M <sub>y</sub> 1,71	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 3,91	2,64	M <sub>y</sub> <b>4,26</b>	M <sub>y</sub> 6,64	4,67	M <sub>y</sub> <b>7,33</b>
II	M <sub>x</sub> 1,12	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,99	1,47	M <sub>x</sub> <b>2,17</b>	M <sub>x</sub> 3,20	2,40	M <sub>x</sub> <b>3,49</b>
	M <sub>x</sub> ' 2,34	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 5,04	2,82	M <sub>x</sub> ' <b>5,49</b>	M <sub>x</sub> ' 8,80	5,11	M <sub>x</sub> ' <b>9,68</b>
	M <sub>y</sub> 1,54	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 3,22	2,16	M <sub>y</sub> <b>3,51</b>	M <sub>y</sub> 5,44	3,76	M <sub>y</sub> <b>5,98</b>
III	M <sub>x</sub> 0,78	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,40	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,16	1,60	M <sub>x</sub> <b>2,35</b>
	M <sub>y</sub> 1,38	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,88	1,92	M <sub>y</sub> <b>3,13</b>	M <sub>y</sub> 4,96	3,40	M <sub>y</sub> <b>5,43</b>
	M <sub>y</sub> ' 2,24	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 4,92	2,75	M <sub>y</sub> ' <b>5,35</b>	M <sub>y</sub> ' 8,72	5,06	M <sub>y</sub> ' <b>9,60</b>
IV	M <sub>x</sub> 0,78	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,41	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,20	1,63	M <sub>x</sub> <b>2,38</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,59	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,54	1,95	M <sub>x</sub> ' <b>3,83</b>	M <sub>x</sub> ' 6,24	4,65	M <sub>x</sub> ' <b>6,82</b>
	M <sub>y</sub> 1,23	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,59	1,72	M <sub>y</sub> <b>2,81</b>	M <sub>y</sub> 4,44	3,41	M <sub>y</sub> <b>4,83</b>
	M <sub>y</sub> ' 2,08	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 4,60	2,57	M <sub>y</sub> ' <b>5,01</b>	M <sub>y</sub> ' 8,12	6,70	M <sub>y</sub> ' <b>8,93</b>
V	M <sub>x</sub> 0,80	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,64	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,78	2,07	M <sub>x</sub> <b>3,02</b>
	M <sub>x</sub> ' 2,17	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,68	2,61	M <sub>x</sub> ' <b>5,09</b>	M <sub>x</sub> ' 8,20	4,74	M <sub>x</sub> ' <b>9,02</b>
	M <sub>y</sub> 1,20	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,53	1,68	M <sub>y</sub> <b>2,75</b>	M <sub>y</sub> 4,36	2,97	M <sub>y</sub> <b>4,77</b>
VI	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,04	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,60	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>y</sub> 0,93	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,99	1,31	M <sub>y</sub> <b>2,15</b>	M <sub>y</sub> 3,44	2,31	M <sub>y</sub> <b>3,75</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,60	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,58	1,98	M <sub>y</sub> ' <b>3,89</b>	M <sub>y</sub> ' 6,40	3,63	M <sub>y</sub> ' <b>7,00</b>
VII	M <sub>x</sub> 0,49	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,01	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,71	1,26	M <sub>x</sub> <b>1,86</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,56	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,45	1,9	M <sub>x</sub> ' <b>3,73</b>	M <sub>x</sub> ' 6,08	3,44	M <sub>x</sub> ' <b>6,64</b>
	M <sub>y</sub> 1,04	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,23	1,47	M <sub>y</sub> <b>2,41</b>	M <sub>y</sub> 3,84	2,59	M <sub>y</sub> <b>4,18</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,86	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 4,12	2,29	M <sub>y</sub> ' <b>4,48</b>	M <sub>y</sub> ' 7,32	4,19	M <sub>y</sub> ' <b>8,03</b>
VIII	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,04	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,61	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,14	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,52	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,44	2,47	M <sub>x</sub> ' <b>4,82</b>
	M <sub>y</sub> 0,87	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,86	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 3,22	2,16	M <sub>y</sub> <b>3,51</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,55	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,46	1,91	M <sub>y</sub> ' <b>3,75</b>	M <sub>y</sub> ' 6,12	3,49	M <sub>y</sub> ' <b>6,74</b>
IX	M <sub>x</sub> 0,32	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 0,65	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,08	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,14	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,51	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,44	2,46	M <sub>x</sub> ' <b>4,80</b>
	M <sub>y</sub> 0,78	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 1,69	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,94	1,94	M <sub>y</sub> <b>3,16</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,45	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,25	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 5,80	3,27	M <sub>y</sub> ' <b>6,33</b>

(fonte: elaborada pela autora)

Tabela 5 – Momentos para as lajes com relação entre lados igual 2,0

Condição de vinculação das lajes	Dimensões das lajes (m x m) - Relação entre lados = 2,0								
	2 x 4			3 x 6			4 x 8		
	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)	Momentos longa duração (kNm/m)	Taxa armadura (cm <sup>2</sup> /m)	Momentos curta duração (kNm/m)
I	M <sub>x</sub> 1,15	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,96	1,44	M <sub>x</sub> <b>2,12</b>	M <sub>x</sub> 2,99	2,24	M <sub>x</sub> <b>3,26</b>
	M <sub>y</sub> 2,30	1,52	M <sub>y</sub> <b>2,49</b>	M <sub>y</sub> 4,88	3,34	M <sub>y</sub> <b>5,34</b>	M <sub>y</sub> 8,88	6,47	M <sub>y</sub> <b>9,91</b>
II	M <sub>x</sub> 1,15	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,96	1,45	M <sub>x</sub> <b>2,14</b>	M <sub>x</sub> 3,01	2,26	M <sub>x</sub> <b>3,29</b>
	M <sub>x</sub> ' 2,41	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 5,28	2,96	M <sub>x</sub> ' <b>5,75</b>	M <sub>x</sub> ' 9,32	5,44	M <sub>x</sub> ' <b>10,27</b>
	M <sub>y</sub> 2,10	1,39	M <sub>y</sub> <b>2,28</b>	M <sub>y</sub> 4,48	3,05	M <sub>y</sub> <b>4,90</b>	M <sub>y</sub> 7,76	5,55	M <sub>y</sub> <b>8,61</b>
III	M <sub>x</sub> 0,78	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,39	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,11	1,56	M <sub>x</sub> <b>2,29</b>
	M <sub>y</sub> 1,51	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 3,23	2,16	M <sub>y</sub> <b>3,51</b>	M <sub>y</sub> 5,64	3,91	M <sub>y</sub> <b>6,21</b>
	M <sub>y</sub> ' 2,31	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 5,24	2,94	M <sub>y</sub> ' <b>5,71</b>	M <sub>y</sub> ' 9,36	5,47	M <sub>y</sub> ' <b>10,32</b>
IV	M <sub>x</sub> 0,78	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,39	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,12	1,57	M <sub>x</sub> <b>2,31</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,59	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,55	1,96	M <sub>x</sub> ' <b>3,85</b>	M <sub>x</sub> ' 6,28	3,56	M <sub>x</sub> ' <b>6,87</b>
	M <sub>y</sub> 1,45	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 3,10	2,07	M <sub>y</sub> <b>3,37</b>	M <sub>y</sub> 5,44	3,76	M <sub>y</sub> <b>5,98</b>
	M <sub>y</sub> ' 2,27	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 5,12	2,87	M <sub>y</sub> ' <b>5,58</b>	M <sub>y</sub> ' 9,12	5,32	M <sub>y</sub> ' <b>10,06</b>
V	M <sub>x</sub> 0,65	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,30	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 2,19	1,62	M <sub>x</sub> <b>2,38</b>
	M <sub>x</sub> ' 2,38	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 5,20	2,92	M <sub>x</sub> ' <b>5,67</b>	M <sub>x</sub> ' 9,16	5,34	M <sub>x</sub> ' <b>10,09</b>
	M <sub>y</sub> 1,85	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 3,98	2,69	M <sub>y</sub> <b>4,34</b>	M <sub>y</sub> 6,92	4,88	M <sub>y</sub> <b>7,64</b>
VI	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,03	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,59	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>y</sub> 0,97	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,11	1,39	M <sub>y</sub> <b>2,28</b>	M <sub>y</sub> 3,66	2,47	M <sub>y</sub> <b>4,00</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,60	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,64	2,01	M <sub>y</sub> ' <b>3,95</b>	M <sub>y</sub> ' 6,52	3,7	M <sub>y</sub> ' <b>7,13</b>
VII	M <sub>x</sub> 0,41	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 0,82	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,36	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,59	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 3,54	1,96	M <sub>x</sub> ' <b>3,85</b>	M <sub>x</sub> ' 6,24	3,54	M <sub>x</sub> ' <b>6,83</b>
	M <sub>y</sub> 1,36	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,92	1,95	M <sub>y</sub> <b>3,18</b>	M <sub>y</sub> 5,12	3,52	M <sub>y</sub> <b>5,62</b>
	M <sub>y</sub> ' 2,18	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 4,92	2,75	M <sub>y</sub> ' <b>5,35</b>	M <sub>y</sub> ' 8,80	5,11	M <sub>y</sub> ' <b>9,68</b>
VIII	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,03	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 1,59	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,14	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,51	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,44	2,47	M <sub>x</sub> ' <b>4,82</b>
	M <sub>y</sub> 0,96	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,07	1,37	M <sub>y</sub> <b>2,25</b>	M <sub>y</sub> 3,60	2,42	M <sub>y</sub> <b>3,92</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,59	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,61	2	M <sub>y</sub> ' <b>3,93</b>	M <sub>y</sub> ' 6,48	3,68	M <sub>y</sub> ' <b>7,09</b>
IX	M <sub>x</sub> 0,30	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 0,58	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>	M <sub>x</sub> 0,96	1,23 mín	M <sub>x</sub> <b>1,82</b>
	M <sub>x</sub> ' 1,14	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 2,51	1,84 mín	M <sub>x</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>x</sub> ' 4,44	2,47	M <sub>x</sub> ' <b>4,82</b>
	M <sub>y</sub> 0,93	1,23 mín	M <sub>y</sub> <b>2,02</b>	M <sub>y</sub> 2,01	1,32	M <sub>y</sub> <b>2,17</b>	M <sub>y</sub> 3,50	2,35	M <sub>y</sub> <b>3,81</b>
	M <sub>y</sub> ' 1,57	1,84 mín	M <sub>y</sub> ' <b>3,62</b>	M <sub>y</sub> ' 3,56	1,97	M <sub>y</sub> ' <b>3,87</b>	M <sub>y</sub> ' 6,40	3,63	M <sub>y</sub> ' <b>7,00</b>

(fonte: elaborada pela autora)

Ao se analisar as tabelas 3, 4 e 5, percebe-se que as lajes de vão igual a dois metros foram dimensionadas, quase que exclusivamente, com taxas de armadura mínima, o que resultou na maior diferença entre os momentos de curta duração e os momentos de projeto (longa duração). Para os vãos de três e quatro metros, a situação mais comum foi utilizar-se taxas de armadura superiores à mínima para o dimensionamento das lajes, fazendo com que os momentos de curta duração fossem apenas ligeiramente maiores que os de projeto.

As tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados obtidos através da análise das solicitações geradas pelas cargas de construção, compostas por uma parcela distribuída, referente ao peso próprio da laje e à carga accidental, e por uma parcela concentrada, referente às escoras, conforme descrito no item 7.4 e exemplificado no item 7.5 desse trabalho.

A cor **verde** indica que, para a respectiva laje, existe uma configuração de escoramento que faz com que os momentos atuantes possam ser suportados pelas armaduras decorrentes dos momentos de projeto, atendendo aos requisitos de segurança para cargas de curta duração. Ou seja, o carregamento referente à fase de construção não superou as solicitações máximas admissíveis de projeto, e é indicado o número mínimo de escoras que a laje pode suportar. Por exemplo, a laje 2x2 metros, para todas as condições de vinculação, teve a configuração de escoramento mínimo composta por apenas uma escora (1x1), disposta em uma única linha (direção do eixo  $x$ , sempre paralela ao maior vão) e uma única coluna (direção do eixo  $y$ , sempre paralela ao menor vão). Já a laje 3x3 metros, para a condição de vinculação IV, teve a configuração de escoramento mínimo composta por quatro escoras, dispostas uniformemente espaçadas ao longo de duas linhas e duas colunas (2x2). Tais lajes podem, com segurança, ser projetadas para as cargas de projeto, sem levar em consideração as cargas de construção.

A cor **amarela** indica que apenas uma ou duas disposições de escoras testadas resultaram em solicitações menores que as máximas admissíveis. Nessa situação, o fato de se encontrar certa disposição de escoras que atenda aos momentos máximos, não necessariamente garante que todas as disposições seguintes, que utilizam um número maior de escoras, atenderão a esse critério. Para esses casos, são apresentadas três disposições de escoras, sendo as duas primeiras escolhidas de forma arbitrária, e a última composta pela quantidade máxima de escoras para aquele tamanho de laje, na qual o espaçamento entre escoras é o mínimo. Para cada uma dessas três disposições, é indicado, em valores percentuais, o quanto os momentos máximos admissíveis de curta duração foram superados. Por exemplo, para a laje 3x3 metros e condição de vinculação II, a disposição com o número máximo de escoras (5x5) gerou um momento positivo, na direção  $x$ , 8% maior que o de curta duração e um momento negativo, na direção  $x$ , 5% maior. Entretanto, na direção  $y$ , o momento positivo gerado foi igual ou menor que o máximo admissível de curta duração, por isso nenhum valor é exibido. Nessa situação, a linha correspondente ao momento negativo na direção  $y$  está vazia porque tal laje não apresenta momentos negativos nessa direção, já que é engastada apenas na borda paralela ao



eixo  $y$ . Uma disposição de escoras só é considerada válida quando todos os momentos (positivos e negativos, nas direções  $x$  e  $y$ ), forem menores que os de curta duração.

Por fim, a cor **vermelha** indica que nenhuma das disposições de escoras testadas resultou em solicitações menores que as máximas admissíveis. Da mesma forma, são apresentadas três disposições de escoras, sendo a última sempre correspondente à quantidade máxima de escoras para a laje, respeitando o espaçamento mínimo. Infere-se, assim, que tais lajes devam ser projetadas não para as cargas de projeto, mas sim para as cargas de construção.

Tabela 6 – Disposições de escoras para lajes com relação entre lados igual a 1,0

Dimen. laje (m x m)	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX																	
	Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )		Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )																	
2 x 2	1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1		1x1															
																					1x2		2x2		2x2		2x2		2x2		2x2		2x2	
																					1x2		2x2		2x2		2x2		2x2		2x2		2x2	
3 x 3	1x2		1x2		1x2		1x2		1x2		1x2		1x2		1x2		1x2		1x2															
	4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4															
	5x5		5x5		5x5		5x5		5x5		5x5		5x5		5x5		5x5		5x5															
4 x 4	2x4		2x4		2x4		2x4		2x4		2x4		2x4		2x4		2x4		2x4															
	4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4		4x4															
	7x7		7x7		7x7		7x7		7x7		7x7		7x7		7x7		7x7		7x7															
	M <sub>x</sub>	25%	M <sub>x</sub>	28%	M <sub>x</sub>	13%	M <sub>x</sub>	13%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	5%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	22%	M <sub>y</sub>	13%	M <sub>y</sub>	28%	M <sub>y</sub>	28%	M <sub>y</sub>	8%	M <sub>y</sub>	8%	M <sub>y</sub>	20%	M <sub>y</sub>	20%	M <sub>y</sub>	20%	M <sub>y</sub>	6%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	24%	M <sub>x</sub>	24%	M <sub>x</sub>	7%	M <sub>x</sub>	7%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	10%	M <sub>y</sub>	-	M <sub>y</sub>	-	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	10%	M <sub>y</sub>	10%	M <sub>y</sub>	10%	M <sub>y</sub>	6%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	10%	M <sub>x</sub>	10%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	6%	M <sub>x</sub>	6%	M <sub>x</sub>	6%	M <sub>x</sub>	7%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	5%	M <sub>y</sub>	5%	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	2%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	7%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	10%	M <sub>x</sub>	10%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	5%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	6%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	7%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	1%	M <sub>x</sub>	7%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	2%	M <sub>y</sub>	5%														
	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	-	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	9%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	4%	M <sub>x</sub>	6%														
	M <sub>y</sub>	6%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	4%	M <sub>y</sub>	9%	M <sub>y</sub>																							



Tabela 8 – Disposições de escoras para lajes com relação entre lados igual a 2,0

Dimen. laje (m x m)	I			II			III			IV			V			VI			VII			VIII			IX																							
	Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )			Disposição escoras (n <sub>1</sub> x n <sub>2</sub> )																							
<b>2 x 4</b>	M <sub>x</sub>	1x1	1x2	3x7	M <sub>x</sub>	1x1	1x2	3x7	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	1x1	1x2	3x7	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11																
		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
	M <sub>y</sub>	1x1	1x2	3x7	M <sub>y</sub>	1x1	1x2	3x7	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	1x1	1x2	3x7	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11												
		34%	9%	7%		38%	15%	6%		10%	11%	7%		7%	13%	7%		7%	1%	7%		7%	20%	11%		8%	5%	2%		10%	5%	2%		9%	5%	2%	2%	5%	2%	6%	3%	10%						
	<b>3 x 6</b>	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>x</sub>	2x4	2x6	5x11											
			-	-	8%		2%	-	7%		-	4%	-		2%	-	5%		-	3%	-		4%	-	5%		-	3%	-		4%	-	3%		-	4%	-	3%	-	4%	-	3%	-	4%	-			
M <sub>y</sub>		2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11	M <sub>y</sub>	2x4	2x6	5x11				
		3%	-	6%		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-	6%	-	6%	-
<b>4 x 8</b>		M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>x</sub>	4x6	4x8	7x15							
			9%	7%	10%		6%	4%	7%		10%	7%	10%		10%	7%	10%		10%	10%	7%		10%	10%	10%		7%	10%	10%		10%	10%	10%		10%	10%	10%		10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15	M <sub>y</sub>	4x6	4x8	7x15
		-	-	3%		1%	-	5%		-	1%	-		4%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%		-	6%	-		6%	-	6%

(fonte: elaborada pela autora)

Existe uma coincidência quase perfeita entre a laje ter a totalidade de suas armaduras dimensionadas através do critério de taxa de armadura mínima e a existência de uma distribuição de escoras que gere momentos que não superem os máximos admissíveis de curta duração correspondentes a essas armaduras. Ou seja, quando uma laje é dimensionada usando-se o critério de armadura mínima, existe uma folga entre os momentos máximos admissíveis de curta duração e os momentos de projeto capaz de resistir aos efeitos decorrentes dos carregamentos da fase de construção, onde uma grande parcela das cargas é aplicada de forma pontual ou concentrada. As condições acima correspondem, de modo geral, às configurações em verde nas tabelas 6, 7 e 8.

Nos tamanhos de lajes e condições de vinculação em que a maioria das armaduras foram dimensionadas pela armadura mínima (não a sua totalidade), houve grande probabilidade de se encontrar disposições de escoramentos admissíveis. As configurações em amarelo correspondem, de uma maneira geral, a esses casos.

Na situação em que a maioria das armaduras das lajes foram dimensionadas em função dos momentos de projeto, e não pelo critério de armadura mínima, houve baixa probabilidade de se encontrar configurações de escoramento admissíveis. As configurações em vermelho correspondem, de modo geral, a esses casos.

Para as lajes com as armaduras dimensionadas integralmente pelo critério de armadura mínima, o uso de escoras espaçadas a, no máximo, um metro, atendem a configurações em que os momentos máximos admissíveis de curta duração não são superados. Para as demais lajes, foi impossível estabelecer um critério de espaçamento máximo de escoramentos a ser utilizados.

Em todas as configurações estudadas, os momentos gerados pelo carregamento durante a etapa de construção nunca ultrapassaram os momentos resistentes limites últimos das lajes, exceto nos casos em que apenas uma única escora central era empregada.

No estudo efetuado, utilizaram-se os fatores de carga para os escoramentos previstos pela metodologia de Grundy e Kabaila. No entanto, o trabalho experimental realizado por Salvador (2013) indica que as cargas efetivamente atuantes nas escoras podem ser até 50% superiores aos valores previstos pelo modelo teórico empregado, tornando bastante mais crítica a definição do escoramento apropriado a ser utilizado em cada laje.

Os resultados obtidos nesse estudo, em conjunto com os resultados experimentais de Salvador (2013), apontam para a necessidade de se projetar as lajes tanto para as cargas de serviço quanto para as cargas decorrentes do processo construtivo. Nesse caso, a disposição das escoras passa a ser definida pelo projetista estrutural, em função das considerações utilizadas no dimensionamento.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seguir são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

### 9.1 CONCLUSÕES

O método de Grundy e Kabaila mostrou-se de fácil aplicação, não havendo dificuldades no seu emprego na atividade de projeto estrutural. Contudo, resultados experimentais como o de Salvador (2013) apontam para que as cargas efetivamente aplicadas pelo sistema de escoramento sobre a estrutura de concreto podem ser consideravelmente maiores que as previstas pelo método.

Não foi possível estabelecer um critério para a disposição do escoramento remanescente que atenda a todas as configurações de laje.

Para lajes integralmente dimensionadas pelo critério de armadura mínima, o emprego de escoramento com espaçamento máximo de um metro parece atender às exigências de segurança durante a fase de construção.

Os resultados obtidos nesse estudo apontam para a necessidade de se projetar as lajes tanto para as cargas de serviço quanto para as cargas decorrentes do processo construtivo. Nesse caso, a disposição das escoras passa a ser definida pelo projetista estrutural, em função das considerações utilizadas no dimensionamento.

### 9.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os seguintes tópicos podem ser abordados e aprofundados em trabalhos futuros:

- a) aperfeiçoamento do modelo de transmissão de carga através do escoramento pela utilização de uma relação constitutiva viscoelástica com envelhecimento para as peças de concreto armado;
- b) ampliação do estudo para outras dimensões de lajes, para outras vinculações e para outros usos que não somente o comercial;

- c) consideração de que os apoios das lajes não são infinitamente rígidos na determinação dos momentos atuantes, levando em consideração a flexibilidade das vigas existentes no contorno das lajes;
- d) utilização de modelos de placa com o método dos elementos finitos para a determinação dos esforços atuantes na etapa de construção;
- e) utilização de métodos plásticos para a determinação dos esforços atuantes na etapa de construção.



## REFERÊNCIAS

- ASSAHI, P. N. Sistema de fôrma para estrutura de concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. Não paginado. Versão digital.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14931**: execução de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- \_\_\_\_\_. **NBR 12655**: concreto de cimento Portland – preparo, controle e recebimento - procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15696**: fôrmas e escoramentos para estruturas de concreto – projeto, dimensionamento e procedimentos executivos. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.
- COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON. **CEB-FIP Model Code 1990**: design code. Lausanne, 1993.
- CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PIAUÍ. **Relatório técnico sobre o desabamento da obra do Shopping Rio Poty**. Teresina, 2013.
- FREITAS, A. A. de. **Situações críticas no projeto de edifícios de concreto armado submetidos a ações de construção**. 2004. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- PRADO, J. F. M. de. A. **Estruturas de edifícios em concreto armado submetida a ações de construção**. 1999. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- SALVADOR, P. F. **Investigação teórica e experimental da transferência de cargas entre pavimentos de concreto escorado**. 2013. 207 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1989.