



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNÂNCIA DE CARGAS EM LAJES
MACIÇAS ARMADAS EM DUAS DIREÇÕES

BRUNO COUTO DA ROCHA

João Pessoa - PB
Novembro de 2016

BRUNO COUTO DA ROCHA

**ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNÂNCIA DE CARGAS EM LAJES
MACIÇAS ARMADAS EM DUAS DIREÇÕES**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como pré-requisito para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade
Federal da Paraíba.

Orientador: Prof^o Dr. Enildo Tales Ferreira.

João Pessoa – PB

Novembro de 2016

R672e Rocha, Bruno Couto da
Estudo comparativo de alternância de cargas em
lajes maciças armadas em duas direções./ Bruno Couto
da Rocha. - João Pessoa, 2016

53.il.:

Orientador: Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia
Civil) CGEC./ Centro de Tecnologia / Campus I /
Universidade Federal da Paraíba.

1. Eberick 2. Método de Marcus 3. Momentos
Fletores. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed 624 (043)

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNO COUTO DA ROCHA

ESTUDO COMPARATIVO DE ALTERNÂNCIA DE CARGAS EM LAJES MACIÇAS ARMADAS EM DUAS DIREÇÕES

Trabalho de Conclusão de Curso em 28/11/2016 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Enildo Tales Ferreira

Prof. Dr. Enildo Tales Ferreira
Orientador

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel

Prof. Dr. Ubiratan Henrique Oliveira Pimentel
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO

Carlos A. Taurino de Lucena

Prof. Me. Carlos Antônio Taurino de Lucena
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Aprovado

Profa. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades ao longo de todos esses anos.

A minha família, que muito me incentivou em toda minha jornada acadêmica, não me deixando desanimar em momento algum.

Ao professor Dr. Enildo Tales Ferreira, por me orientar e auxiliar durante a elaboração deste trabalho.

Aos demais professores e colegas de curso que estiveram comigo ao longo de minha graduação.

E a todos que de alguma forma direta ou indireta contribuíram em minha formação.

"Numa sociedade com base no conhecimento, por definição é necessário que você seja estudante a vida toda".

(Tom Peters)

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de alternância de cargas variáveis para o cálculo de lajes maciças armadas em duas direções, baseando-se em normas e literatura nacionais e internacionais. A priori são apresentadas as recomendações normativas acerca do tema, e a seguir algumas recomendações de autores. Foram então utilizadas as recomendações de Rocha (1993), que utilizam o método de Marcus, e o *software* estrutural Eberick V8, que utiliza o processo de analogia de grelha, para mensurar a diferença da consideração ou não de alternância de cargas para lajes maciças armadas em duas direções. Para tanto, foi considerado um pavimento hipotético simétrico com lajes quadradas. Utilizando o Eberick V8 foi calculado o pavimento para seis diferentes disposições de cargas variáveis que potencialmente possam ser críticas para momentos fletores específicos no conjunto de lajes desenhado, resultando na confirmação do pressuposto de que os maiores momentos não são obtidos com todos os painéis plenamente carregados, e sim com certos painéis apenas com carga permanente e outros com carga total. Dos resultados obtidos, dentre os dois procedimentos utilizados para consideração de alternância de cargas, a utilização do Eberick V8 foi o que apresentou maiores aumentos percentuais nos momentos fletores calculados.

Palavras-chave: Eberick. Método de Marcus. Momentos Fletores.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Padrões de cargas variáveis segundo as normas BS 8110 e EC2.	16
Figura 2: Linha de Influência de momento fletor no apoio S.....	17
Figura 3: Arranjo de cargas que geram momentos críticos em lajes.	18
Figura 4: Rearranjo de cargas para cálculo de momentos críticos pelo método de Marcus.....	18
Figura 5: Representação da divisão em faixas de laje biapoiada armada em duas direções. ...	21
Figura 6: Casos de vinculação lateral das lajes para o método de Marcus.....	22
Figura 7: Pavimento hipotético para cálculo de lajes armadas em duas direções.	28
Figura 8: Condições de contorno para as lajes do pavimento hipotético.	33
Figura 9: Casos de disposição de cargas variáveis analisados através do <i>software</i> Eberick V8.	36
Figura 10: Momentos para as lajes do pavimento com as disposições a) e b) e situação de carga i.	37
Figura 11: Momentos para as lajes do pavimento com as disposições c) e d) e situação de carga i.	38
Figura 12: Momentos para as lajes do pavimento com as disposições e) e f) e situação de carga i.	39
Figura 13: Momentos para as lajes do pavimento com a disposição g) e situação de carga i..	40
Figura 14: Tópico do guia de ajuda do Eberick V8 sobre classificação das ações.	53
Figura 15: Tópico do guia de ajuda do Eberick V8 sobre modelo de cálculo.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Coeficientes de ponderação das ações no estado-limite último (ELU).....	26
Tabela 2: Fatores de redução de combinações para o ELS e ELU.....	26
Tabela 3: Coeficientes e fatores para combinações de cargas utilizadas para o cálculo.	30
Tabela 4: Necessidade de ser considerada alternância de cargas de acordo com cada norma. 31	
Tabela 5: Momentos fletores de projeto para lajes armadas em duas direções de acordo com o respectivo caso relativo ao método de Marcus.	32
Tabela 6: Momentos fletores de projeto calculados para a situação ii. ($q = 3,75 \text{ kN/m}^2$).....	34
Tabela 7: Momentos fletores de projeto calculados para a situação iii. ($q = 1,25 \text{ kN/m}^2$).....	34
Tabela 8: Momentos fletores de projeto calculados para a situação iv. ($q = 8,0 \text{ kN/m}^2$).....	34
Tabela 9: Momentos fletores calculados para a laje L6 através do <i>software</i> Eberick V8.	40
Tabela 10: Momentos fletores para a laje L6 nas condições limite da NBR 6118 (ABNT, 2014).....	41
Tabela 11: Momentos fletores para a laje L6 nas condições limite da ACI 318-14.....	41
Tabela 12: Momentos fletores para a laje L6 nas condições limite da NBR 6118 (ABNT, 2007).....	41
Tabela 13: Momentos fletores para a laje L6 na situação iv. ($q = 8,0 \text{ kN/m}^2$).....	42
Tabela 14: Momentos fletores obtidos pelos dois métodos na situação de carregamento iv. ($q = 8,0 \text{ kN/m}^2$).	42
Tabela 15: Tabela de Marcus - Caso 1.	47
Tabela 16: Tabela de Marcus - Caso 2.	48
Tabela 17: Tabela de Marcus - Caso 3.	49
Tabela 18: Tabela de Marcus - Caso 4.	50
Tabela 19: Tabela de Marcus - Caso 5.	51
Tabela 20: Tabela de Marcus - Caso 6.	52

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
BS	<i>British Standard</i>
EC2	<i>Eurocode 2</i>
EN	<i>European Standard</i>
ACI	<i>American Concrete Institute</i>
ELU	Estados Limites Últimos
ELS	Estados Limites de Serviço
g	Cargas permanentes
q	Cargas variáveis
p	Carga total atuante
Md_x	Momento fletor de projeto central do vão na direção x
Md_y	Momento fletor de projeto central do vão na direção y
Xd_x	Momento fletor de projeto no apoio da laje na direção x
Xd_y	Momento fletor de projeto no apoio da laje na direção y
l_x	Comprimento da laje na direção x
l_y	Comprimento da laje na direção y
m_x	Coefficiente do método de Marcus para cálculo de M_x
m_y	Coefficiente do método de Marcus para cálculo de M_y
n_x	Coefficiente do método de Marcus para cálculo de X_x
n_y	Coefficiente do método de Marcus para cálculo de X_y
F_k	Valor característico de uma ação
F_d	Valor final de cálculo das ações consideradas
F_G	Valor de ação permanente
F_Q	Valor de ação variável
γ_q	Coefficiente de ponderação para ações variáveis
γ_g	Coefficiente de ponderação para ações permanentes
Ψ_0	Fator de redução de combinação para ELU
Ψ_1	Fator de redução de combinação frequente para ELS
Ψ_2	Fator de redução de combinação quase permanente para ELS

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Objetivos	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	12
1.2	Justificativa	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Recomendações normativas	14
2.1.1	NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos.....	14
2.1.2	BS 8110-1:1997 – Structural use of concrete – Part 1: Code of practice for design and construction.....	14
2.1.3	EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules, and rules for buildings (EC 2).....	15
2.1.4	ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.....	15
2.2	Recomendações de outros autores	16
2.3	Método de Marcus	20
2.3.1	Compatibilização dos momentos fletores.....	22
2.4	Processo de analogia de grelha	22
2.5	Combinações de cargas.....	23
2.5.1	Valores representativos das ações	24
2.5.2	Combinações últimas normais.....	25
2.5.3	Combinações de serviço	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	Apresentação do estudo de caso	28
3.2	Parâmetros utilizados no <i>software</i> Eberick V8.....	29
4	RESULTADOS.....	31

4.1	Resultados calculados pelo <i>software</i> Eberick V8	35
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
	REFERÊNCIAS	45
	ANEXO A – Tabelas de Marcus	47
	ANEXO B – Sobre alternância de cargas através do Eberick Versão 8	53

1 INTRODUÇÃO

Para estruturas de concreto armado, a norma brasileira NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (ABNT, 2014) recomenda que deva ser feita a consideração de alternância de cargas caso a carga variável seja superior a 50% da carga total e a 5 kN/m². Dessa forma, para tais situações, os valores de esforços a serem considerados para dimensionamento de tais estruturas não são os valores obtidos com o simples carregamento de todos os elementos estruturais com a máxima carga prevista, mas sim, os esforços gerados quando se deixam alguns vãos apenas com a carga permanente e outros com a carga total prevista.

Porém, em respeito à quais vãos deva-se manter apenas com a carga permanente e quais manter com a carga total prevista, foi a dificuldade inicial que surgiu no desenvolvimento deste trabalho, devido a omissão de procedimentos verificada nessa norma, pois a mesma não sugere nenhuma disposição específica de cargas que deva ser analisada ou algum procedimento específico, cabendo ao projetista a tarefa de buscar quais sejam os arranjos críticos de cargas que levem aos momentos máximos na estrutura. Caso optasse por analisar todos os casos de alternância de cargas variáveis possíveis para determinada estrutura, isso poderia levar a um enorme número de situações que tornariam dispendiosa tal análise, sendo que muitas destas situações possíveis são irrelevantes para encontrar os esforços críticos. De forma que é crucial que sejam previamente conhecidos padrões para determinação dos possíveis casos críticos.

Da forma como é apresentada na NBR 6118 (ABNT, 2014), a análise de alternância de cargas deve ser aplicada para toda a estrutura que não atenda as condições definidas no parágrafo 14.6.6.3 (Consideração de cargas variáveis) de seu texto. Porém, para o presente trabalho, devido à dificuldade em encontrar literatura, tanto nacional quanto internacional, com informações a respeito de procedimentos para o cálculo dos valores dos esforços considerando alternância de cargas para lajes armadas em duas direções, conforme será visto a seguir, será dado enfoque neste tipo de elemento estrutural baseando-se no procedimento do método de Marcus, apresentado por ROCHA (1993), e pelo processo de analogia de grelha, para este, utilizando o *software* Eberick V8. Sendo analisado cada método de forma separada. Com isso busca-se avaliar a importância de ser devidamente considerada a alternância de cargas nos casos estudados e encontrar possíveis disposições críticas de carregamentos.

Cabe notar, que alternância de cargas não deve ser confundida com combinações de cargas, sendo esta última um item obrigatório da NBR 6118 (ABNT, 2014) a ser analisado no dimensionamento de qualquer estrutura de concreto armado, independente da situação de carregamento que a mesma se encontre. Dessa forma, para ser mais coerente no cálculo das lajes, a ser feito utilizando o Eberick V8, serão levados em consideração os devidos coeficientes de combinações de cargas.

Na grande maioria das vezes em edifícios residenciais, as cargas variáveis são baixas e acaba não sendo necessária a consideração de alternância de cargas variáveis nestas situações, fazendo com que muitos projetistas sequer verifiquem os limites normativos ao dimensionar este tipo de construção. Porém quando se dimensiona estruturas como bibliotecas, depósitos, ou academias de ginástica, por exemplo, onde a carga variável presente é alta e sua localização final pode ser incerta, é necessário que seja feita a devida consideração de alternância de cargas variáveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Apresentar um breve estudo sobre a necessidade de ser realizada alternância de cargas variáveis para um caso de lajes armadas em duas direções, definindo disposições de cargas variáveis que possam ser consideradas críticas para o exemplo aqui apresentado, e mensurar o aumento de momentos fletores devido à consideração de alternância de cargas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Para uma estrutura específica única adotada, avaliar disposições de cargas variáveis que provoquem os maiores momentos fletores em lajes armadas em duas direções;
- Avaliar a diferença percentual entre os valores dos momentos fletores obtidos nas condições limites definidas pelas normas: NBR 6118 (ABNT, 2014), ACI 318-14 e NBR 6118 (ABNT, 2007), quando é e quando não é feita a consideração de alternância de cargas variáveis. Tais limites normativos impõem a necessidade de alternância de cargas para a estrutura. Para o cálculo com alternância de cargas, será utilizado também as disposições críticas encontradas anteriormente;

- Avaliar, dentre dois procedimentos distintos para alternância de cargas, qual é mais desfavorável. Para tal averiguação utilizando valores de carregamento que extrapolam os limites da NBR 6118 (ABNT, 2014) para alternância de cargas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A norma brasileira de estruturas de concreto armado mais atual, a NBR 6118 (ABNT, 2014), apesar de definir a partir de que valores limites de carga variável haja a necessidade de ser feita análise por alternância de cargas, ela não informa nenhum procedimento que possa ser utilizado para encontrar os valores máximos de esforços em estruturas. Diante de tal situação, o seguinte trabalho se baseia na literatura nacional e internacional para expor procedimentos que possam ser utilizados e disposições de cargas variáveis que devam ser consideradas para análise de alternância de cargas variáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

2.1.1 NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos

Como consta no item 14.6.6.3 da NBR 6118 (ABNT, 2014) (Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos): “Para estruturas de edifícios em que a carga variável seja de até 5 KN/m² e que seja no máximo igual a 50 % da carga total, a análise estrutural pode ser realizada sem a consideração de alternância de cargas.” Na versão anterior da norma, datada de 2007, não havia o limite de 5 KN/m², sendo limitada apenas por 20% da carga total, acima disso sendo necessário ser feita análise de alternância de cargas.

Porém mesmo após a mudança ocorrida na norma, não houve o acréscimo de nenhuma indicação a respeito de qual ou quais procedimentos poderiam ser seguidos para realização do estudo de alternância de cargas, ficando a critério do projetista a escolha dos casos críticos que deveriam ser avaliados e que pudessem gerar os maiores esforços.

2.1.2 BS 8110-1:1997 – Structural use of concrete – Part 1: Code of practice for design and construction

Como consta no item 3.2.1.2.2, em respeito à alternância de cargas, a norma britânica BS 8110-1 recomenda que para carregamentos verticais, devam ser considerados os seguintes casos:

- Todos os vãos carregados com a carga máxima prevista (incluindo coeficientes de majoração para as cargas – 1,4 para cargas permanentes e 1,6 para cargas variáveis);
- Vãos alternados com a carga máxima prevista (descrita acima), e todos os outros vãos com a carga mínima prevista (apenas a carga permanente e sem majoração).

Para o caso específico de lajes, a norma BS 8110-1 recomenda a simplificação de considerar apenas o caso em que todos os vãos e painéis estejam carregados com o máximo carregamento previsto, desde que sejam atendidas todas as três considerações abaixo:

- Em um conjunto de lajes armadas em uma direção paralelas entre si, a área total seja superior a 30 m²;
- A razão entre a carga variável e a carga permanente seja inferior a 1,25;
- A carga variável seja inferior a 5KN/m².

2.1.3 EN 1992 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules, and rules for buildings (EC 2)

Como consta no item 5.1.3 da norma europeia EC 2, para alternância de cargas, os casos a serem analisados são os seguintes:

- Vãos alternados com a máxima carga prevista (carga permanente e carga variável), e os outros vãos com a mínima carga prevista (apenas carga permanente);
- Quaisquer dois vãos adjacentes com a máxima carga prevista (carga permanente e carga variável), e todos os outros vãos com a mínima carga prevista (apenas carga permanente);

Vale salientar que não há nenhuma recomendação na norma que indique alguma situação onde não seja necessária análise de alternância de cargas.

2.1.4 ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary

A norma americana, como consta em seu item 6.2.2, recomenda que em todas as estruturas devam ser analisados casos de alternância de cargas. Sendo que os valores das cargas devem ser majorados com os seguintes coeficientes: 1,4 quando há apenas carga permanente; 1,2 – carga permanente e 1,6 – carga variável, quando ambas atuam simultaneamente. Para o caso de vigas e lajes armadas em apenas uma direção, a ACI 318/14 recomenda a consideração dos mesmos casos apresentados pela norma EC2 (item 2.1.3 do corrente trabalho).

Porém, diferente das normas anteriormente apresentadas, a ACI 318/14 especifica o caso de lajes armadas em duas direções, levantando tais recomendações:

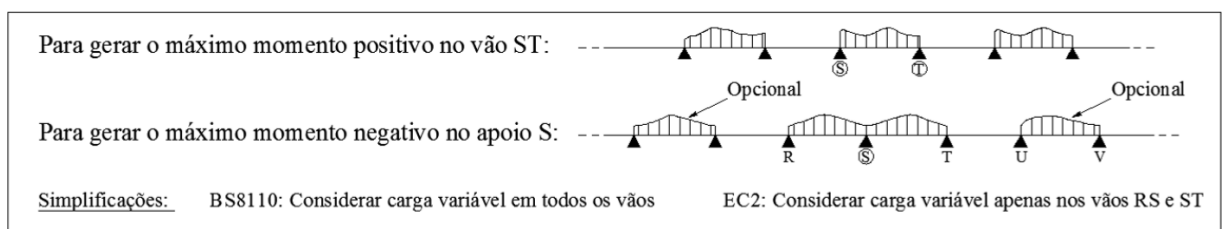
- Se for conhecida a posição definitiva da carga variável, deve ser utilizado tal arranjo para análise;
- Se a carga variável não exceder 75% da carga permanente, ou souber que a carga variável ocorrerá simultaneamente em todos os painéis, é então permitido considerar para análise de momentos máximos apenas o caso em que todos os painéis estejam carregados com a máxima carga prevista;
- Para os casos subsequentes é permitido considerar apenas 75% da carga variável majorada e analisar os seguintes casos:
 - Momento máximo ocorrendo no meio do vão com carga variável aplicada no painel considerado e em painéis alternados;
 - Momento máximo negativo ocorrendo no apoio com carga variável aplicada apenas nos dois painéis adjacentes.

A norma ACI 318-14 permite o uso de 75% da carga variável majorada baseando-se no fato de que os momentos absolutos máximos positivos e negativos não poderem ocorrer em simultâneo sob a ação do mesmo carregamento, dessa forma, sendo possível que ocorra alguma redistribuição de momentos antes que possa ocorrer o colapso da estrutura. (MCCORMAC e BROWN, 2014)

2.2 RECOMENDAÇÕES DE OUTROS AUTORES

Reynolds; Steedman e Threlfall (2008), baseando-se nas normas europeias BS 8110 e EC2, apresentam um resumo dos casos que devam ser considerados para gerarem maiores momentos fletorres em vigas contínuas e lajes armadas em uma direção, Figura 1.

Figura 1: Padrões de cargas variáveis segundo as normas BS 8110 e EC2.

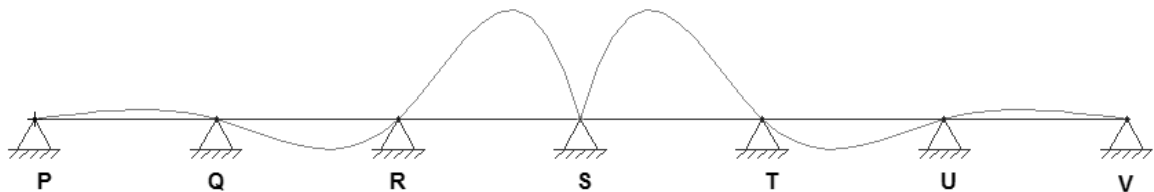


Fonte: Adaptado de Reynolds; Steedman e Threlfall, 2008.

Usualmente, para se determinar os padrões de carregamentos críticos para vigas e lajes são utilizadas funções de influência (linhas e superfícies de influência), através das quais é possível descobrir quais vãos deverão estar carregados e quais vãos deverão estar descarregados. Basicamente funções de influência podem ser definidas como funções que determinam o valor de determinado efeito (momentos fletores, esforços cortantes, ou outros), em função da posição de uma carga unitária ao longo da estrutura. (WIGHT e MACGREGOR, 2012)

Da Figura 1, observa-se que os carregamentos opcionais foram assim dispostos a fim de gerar maior momento negativo no apoio S de acordo com o desenho da linha de influência de momento no apoio S apresentada na Figura 2. Na qual nota-se que carregamentos nos trechos PQ e UV, além dos trechos RS e ST, influenciarão positivamente para aumento em módulo do momento no apoio S.

Figura 2: Linha de Influência de momento fletor no apoio S.

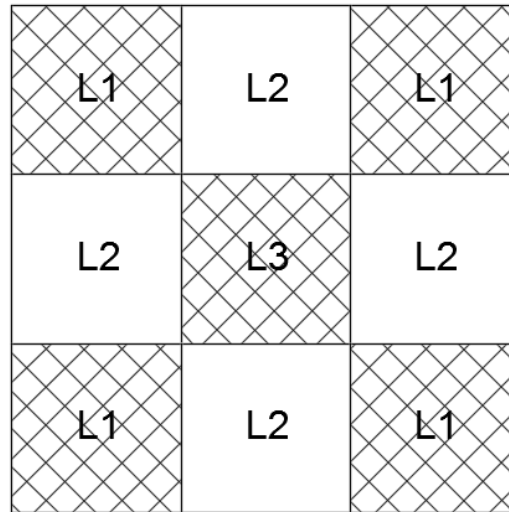


Fonte: Autoria própria. Obtido através do *software* ftool.

Segundo Rocha (1993), em estruturas onde haja grande carga variável (da ordem de 50% da carga total), é necessário calcular as lajes na posição de carregamento que gere os maiores momentos, no caso, foi proposta a configuração de carregamento apresentado na Figura 3. Onde as lajes hachuradas estão sob a carga total (cargas permanentes + cargas variáveis) e as outras lajes apenas sob as cargas permanentes.

Tal arranjo proposto conduz aos máximos momentos positivos no centro das lajes L_1 e L_3 , e mínimos momentos no centro das lajes L_2 .

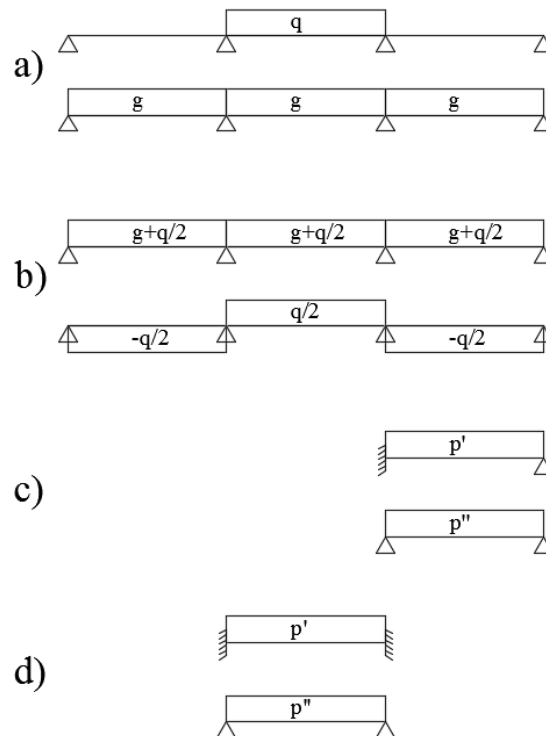
Figura 3: Arranjo de cargas que geram momentos críticos em lajes.



Fonte: Adaptado de Rocha, 1993.

Um corte passando no centro da laje L_3 é apresentado na Figura 4.a), na qual são mostradas as cargas atuantes permanentes (g) e variáveis (q) em separado. Rocha (1993) propõe que para ser feito o cálculo dos momentos críticos para a laje central L_3 por meio do método de Marcus, as cargas sejam rearranjadas conforme é apresentado na Figura 4.b).

Figura 4: Rearranjo de cargas para cálculo de momentos críticos pelo método de Marcus.



Fonte: Adaptado de Rocha, 1993.

Foi proposto o cálculo dos momentos em duas situações em separado, com os valores de cargas divididos em p' e p'' , conforme apresentado na Figura 4 c) e d), e explicado abaixo:

a) considerando as lajes sob a ação da carga $p' = g + q/2$, isoladas e com engastes internos perfeitos utilizando as equações 1 e 2.

$$M'_x = \frac{p' l_x^2}{m'_x} \quad \text{Eq. 1}$$

$$M'_y = \frac{p' l_y^2}{m'_y} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

g = cargas permanentes;

q = cargas variáveis;

M'_x = momento na direção x com respeito à carga q' ;

M'_y = momento na direção y com respeito à carga q' ;

l_x e l_y = comprimentos da laje nas direções x e y ;

m'_x e m'_y = coeficientes retirados das tabelas de Marcus, em acordo com a presente situação de engastes nos apoios internos.

b) considerando as lajes sob a ação da carga $p'' = q/2$, e simplesmente apoiada nas quatro extremidades utilizando as equações 3 e 4.

$$M''_x = \frac{p'' l_x^2}{m''_x} \quad \text{Eq. 3}$$

$$M''_y = \frac{p'' l_y^2}{m''_y} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

M''_x e M''_y = momentos nas direções x e y com respeito à carga q' ;

m''_x e m''_y = coeficientes retirados das tabelas de Marcus referentes a lajes simplesmente apoiadas.

Após ser feito o cálculo, os momentos finais são dados pelas equações 5 e 6. Onde os sinais + e – apresentados correspondem aos momentos máximos e mínimos, respectivamente, no centro da laje.

$$M_x = M'_x \pm M''_x \quad \text{Eq. 5}$$

$$M_y = M'_y \pm M''_y \quad \text{Eq. 6}$$

Quanto aos momentos negativos nos apoios, Rocha (1993) não indica nenhuma consideração em especial para grandes cargas variáveis, devendo em qualquer situação de carregamento, serem calculados pelas equações abaixo:

$$X_x = -\frac{pl_x^2}{n_x} \quad \text{Eq. 7}$$

$$X_y = -\frac{pl_y^2}{n_y} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

p = carga total;

X_x e X_y = momentos negativos nos apoios nas direções x e y;

n_x e n_y = coeficientes retirados das tabelas de Marcus correspondentes a cada caso.

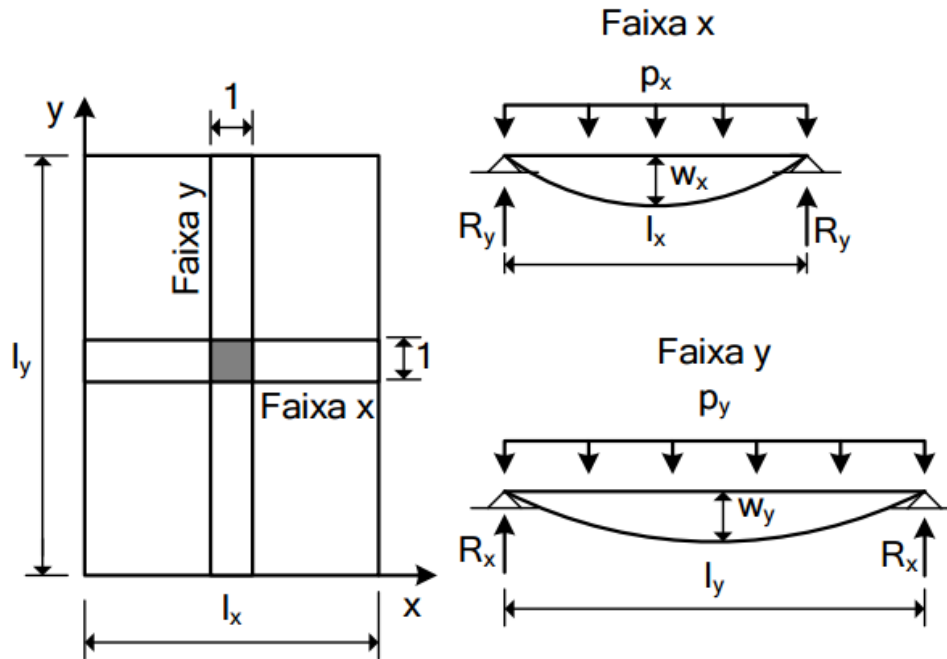
2.3 MÉTODO DE MARCUS

O método de Marcus é um método simplificado para dimensionamento de lajes armadas em duas direções, que se baseia na teoria das grelhas para cálculo dos momentos fletores atuantes, porém que busca também, incluir os efeitos de torção que não são considerados na teoria das grelhas. Possibilitando dessa forma, que através da rigidez à torção presente nas lajes, os momentos calculados pela teoria das grelhas acabam sendo minorados com relação aos calculados pelo método de Marcus. (ARAÚJO, 2010)

A teoria das grelhas consiste basicamente em considerar a laje como sendo formada por uma grelha de vigas independentes que se cortam perpendicularmente. No caso, as vigas

independentes seriam faixas de 1m das lajes tomadas em direção ao eixo x e y , como mostrado na Figura 5. No caso, são tomadas faixa de 1m da laje apenas por praticidade de cálculo.

Figura 5: Representação da divisão em faixas de laje biapoiada armada em duas direções.

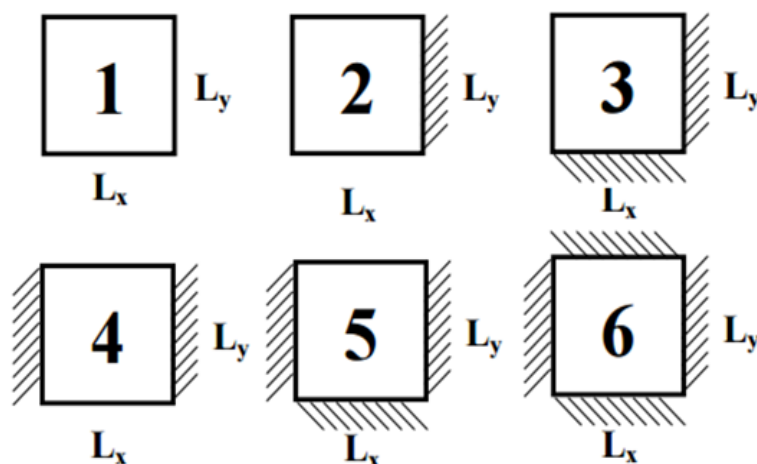


Fonte: Araújo, 2010.

Para o método de Marcus, assim como para outros métodos de dimensionamento de lajes, as mesmas são calculadas de acordo com os tipos de vinculações laterais, representados por seis casos distintos, aqui apresentados na Figura 6. A depender das condições de contorno da laje, corresponderão os devidos coeficientes adimensionais m_x , m_y , n_x e n_y a serem retirados das tabelas de Marcus em função da razão entre os vãos da laje (l_y/l_x). (ARAÚJO, 2010)

Os momentos positivos e negativos são então calculados através das equações 3, 4, 7 e 8, previamente já apresentadas na seção anterior deste trabalho. As tabelas de Marcus são apresentadas no anexo A.

Figura 6: Casos de vinculação lateral das lajes para o método de Marcus.



Fonte: profwillian⁽¹⁾

2.3.1 Compatibilização dos momentos fletores

Após a utilização do método de Marcus, são obtidos dois valores negativos de momentos fletores para duas lajes adjacentes, devendo, portanto haver uma compatibilização entre esses momentos. Usualmente adota-se o maior valor entre a média dos dois e 80% do maior momento. Após os momentos negativos serem compatibilizados, haverá a necessidade de corrigir os momentos positivos nos vãos centrais das lajes. Caso o valor compatibilizado do momento negativo seja menor que o previamente calculado, a diferença deve ser adicionada ao valor do momento positivo calculado no vão central da respectiva laje. Caso o valor compatibilizado seja maior que o previamente calculado, em favor da segurança, não é feita redução no momento positivo no vão central da respectiva laje. (PINHEIRO, 2007)

2.4 PROCESSO DE ANALOGIA DE GRELHA

O método de cálculo de lajes maciças pelo processo de analogia de grelha consiste no mesmo princípio básico da teoria de grelhas, tomar faixas ao longo da laje e considerá-las como sendo elementos de barra centrados no eixo da respectiva faixa, formando assim uma grelha. Porém, o processo de analogia de grelha vai além da teoria de grelhas, substituindo toda a estrutura do pavimento, lajes e vigas, por uma grelha equivalente. De forma a tornar possível calcular lajes com diferentes geometrias, incluindo esquemas sem vigas ou com lajes nervuradas. (JUNIOR, LIMA e OLIVEIRA, 2007)

⁽¹⁾ Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Para a análise, as lajes são discretizadas em um número de faixas em acordo com as dimensões da estrutura, os carregamentos são então distribuídos pela grelha de acordo com sua área de influência. Os esforços são então calculados levando-se em consideração a rigidez à torção e à flexão das lajes e vigas. De forma que a rigidez das vigas permite que os esforços sejam melhor redistribuídos para as lajes adjacentes, e fazendo com que momentos fletores no vão central de lajes na direção perpendicular ao eixo de vigas de bordo sejam maiores, pois não terão outra laje adjacente para redistribuir os momentos fletores. Vale pontuar também que para o caso de lajes de mesmas dimensões, os momentos reduzirão à medida que hajam lajes adjacentes contribuindo. (JUNIOR, LIMA e OLIVEIRA, 2007)

2.5 COMBINAÇÕES DE CARGAS

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014): “Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido”. Devem ser, portanto, escolhidos carregamentos que sejam mais desfavoráveis à estrutura para cálculo dos estados-limites últimos (ELU) e estados-limites de serviço (ELS) em função de combinações últimas e combinações de serviço, respectivamente.

Pela NBR 8681/ (ABNT, 2004) (Ações e segurança nas estruturas – Procedimento), temos que em qualquer combinação, as ações permanentes devem ser sempre consideradas em sua totalidade, quanto às ações variáveis devem ser consideradas apenas aquelas que sejam desfavoráveis à segurança da estrutura. Para cada combinação a ser analisada, todas as ações devem ser tomadas por seus valores representativos, majorados com seus respectivos coeficientes de ponderação.

Segundo Nilson, Darwin e Dolan (2010) para simplificar o cálculo de diferentes combinações de cargas em estruturas, podem ser feitas a análise de esforços de forma isolada para cada tipo de carga (cargas permanentes, variáveis, vento, neve, etc), sem nenhum fator de majoração. E após serem conhecidos os valores isolados é feita a combinação com os devidos fatores de majoração. Tal consideração reduz o trabalho para cálculos que necessitem diferentes combinações com diferentes fatores de majoração.

2.5.1 Valores representativos das ações

Conforme a NBR 8681/ (ABNT, 2004) recomenda, as ações devem ser tomadas por seus respectivos valores representativos, que podem ser valores característicos, convencionais excepcionais ou reduzidos.

2.5.1.1 Valores característicos

Os valores característicos F_k são adotados em função da variabilidade de suas intensidades. Tais valores são pré-definidos pela norma NBR 6120 (ABNT, 1980) (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações). E para as ações variáveis, os valores característicos F_{qk} correspondem a valores com probabilidade entre 25% a 35% de serem ultrapassados de forma desfavorável em um período de 50 anos, caracterizando assim F_{qk} como o valor com período médio de retorno de 174 a 117 anos, respectivamente. (CARVALHO e FILHO, 2007)

2.5.1.2 Valores convencionais excepcionais

Os valores convencionais excepcionais são valores arbitrados para cada ação excepcional específica, a NBR 8681 (ABNT, 2004) considera ações excepcionais como “decorrentes de causas tais como explosões, choques de veículos, incêndios, enchentes ou sismos excepcionais”. Seu valor dependerá apenas do caso particular em questão.

2.5.1.3 Valores reduzidos

Pela NBR 6118 (ABNT, 2014), os valores reduzidos são definidos em função da combinação de ações para verificação dos estados-limite último e de serviço.

- Para os estados-limites últimos quando a ação a ser considerada é combinada com a ação principal, é considerada muito baixa a probabilidade de ocorrência simultânea dos valores característicos de duas ou mais ações variáveis de diferentes naturezas, sendo então o valor reduzido tomado em função do valor característico.

- Para os estados-limites de serviço, os valores reduzidos são obtidos dos valores característicos considerando uma ação com ocorrência frequente e quase permanente que acompanha a ação principal.

2.5.2 Combinações últimas normais

Como consta na NBR 6118/ (ABNT, 2014), as combinações últimas podem ser classificadas como: normais, especiais ou de construção, ou excepcionais. Para as combinações normais, temos que para cada combinação é adotada uma ação variável como principal e seu valor é tomado em sua totalidade, sendo as outras ações variáveis consideradas como secundárias e adotando valores minorados com o devido coeficiente, além de estarem presentes as ações permanentes com seus valores característicos. São dadas pela equação 9 abaixo.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{Gi,k} + \gamma_q \left[F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \Psi_{0j} F_{Qj,k} \right] \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

F_d = valor de cálculo das ações para combinação última;

γ_{gi} = coeficiente de ponderação para as ações permanentes, dado pela Tabela 1;

$F_{Gi,k}$ = valor característico das ações permanentes;

γ_q = coeficiente de ponderação para as ações variáveis diretas, dado pela Tabela 1;

$F_{Q1,k}$ = valor característico da ação variável considerada como ação principal na combinação;

Ψ_0 = fator de redução de combinação para ELU, dado pela Tabela 2;

$\Psi_{0j} F_{Qj,k}$ = valor reduzido de combinação para as demais ações variáveis.

Tabela 1: Coeficientes de ponderação das ações no estado-limite último (ELU)

Combinações de ações	Ações						Recalques de apoio e retração	
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		D	F
	D	F	G	T	D	F		
Normais	1,4 ^a	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

Onde:

D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura.

^a Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014).

Tabela 2: Fatores de redução de combinações para o ELS e ELU.

Ações		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^a	0,5	0,4	0,3
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^b	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

^a Edifícios residenciais.

^b Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

2.5.3 Combinações de serviço

De acordo com a NBR 8681/ (ABNT, 2004), as combinações de serviço são classificadas de acordo com a permanência da mesma na estrutura, podendo ser: quase permanentes, frequentes ou raras. Para as combinações quase permanentes, são consideradas quando podem atuar durante maior parte do tempo de vida da estrutura, segundo Araújo (2010): “da ordem da metade deste período”, e podem ser necessárias para verificação do estado-limite de deformações excessivas. Para cálculo, todas as ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\Psi_2 F_{Qk}$. São dadas pela equação 10 abaixo.

$$F_{d,ser} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \Psi_{2j} F_{Qj,k} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

$F_{d,ser}$ = valor de cálculo das ações para combinações de serviço;

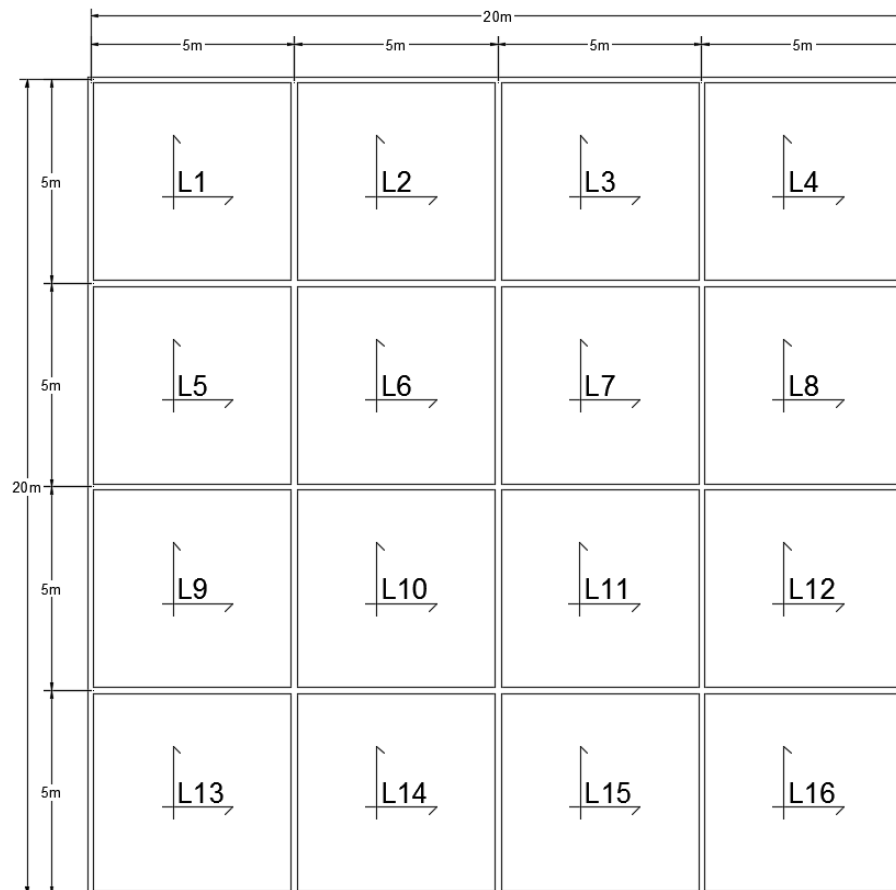
Ψ_2 = fator de redução de combinação quase permanente para ELS.

3 METODOLOGIA

3.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para o presente trabalho, será utilizado para cálculo e avaliação de alternância de cargas um pavimento hipotético, apresentado na Figura 7. O mesmo foi desenhado com lajes maciças dispostas de tal forma que todas sejam armadas em duas direções e com mesmas dimensões, 5 m de lado. Considerou-se também que todas as ligações entre as lajes sejam por engaste.

Figura 7: Pavimento hipotético para cálculo de lajes armadas em duas direções.



Fonte: Autoria própria.

Quanto aos valores dos carregamentos atuantes sobre as lajes serão adotadas as quatro situações seguintes:

- i. Lajes com carga permanente de 5 KN/m² e carga variável de 5 KN/m²;

- ii. Lajes com carga permanente de 5 KN/m² e carga variável de 3,75 KN/m²;
- iii. Lajes com carga permanente de 5 KN/m² e carga variável de 1,25 KN/m²;
- iv. Lajes com carga permanente de 5 KN/m² e carga variável de 8 KN/m².

A escolha de tais situações descritas acima foi feita com o intuito de analisar opções de carregamentos distintos que abrangessem os critérios de análise por alternância de cargas propostos na NBR 6118 (ABNT, 2014) e na ACI 318-14, conforme descrito abaixo:

- i. A NBR 6118 (ABNT, 2014) define para a situação limite a carga variável de até 5 KN/m² e que seja no máximo igual a 50% da carga total, na qual obrigatoriamente não é necessário análise por alternância de cargas;
- ii. A norma americana ACI 318-14 define, para lajes armadas em duas direções, a situação limite de carga variável equivalente a até 75% da carga permanente, não sendo obrigatoriamente necessário ser feita análise por alternância de cargas, e que, de certa forma, atende as exigências da NBR 6118 (ABNT, 2014);
- iii. Na antiga versão da norma NBR 6118 (ABNT, 2007) a situação limite de carga variável até 20% da carga total não se exigia, obrigatoriamente, a análise por alternância de cargas.
- iv. Situação na qual todas as normas apresentadas neste trabalho recomendam que seja feita alternância de cargas.

Como apresentado na revisão bibliográfica, pelas normas europeias BS 8110 e EC2, há a necessidade de ser feita análise por alternância de cargas em qualquer situação de carregamento para lajes armadas em duas direções.

3.2 PARÂMETROS UTILIZADOS NO SOFTWARE EBERICK V8

Para complementar a avaliação do estudo da necessidade de alternância de cargas para lajes, será utilizado o *software* de cálculo estrutural da Alto Qi, Eberick V8, com todas as atualizações disponíveis até a data de fevereiro de 2013, para identificar algumas disposições de cargas que apresentem momentos fletores maiores do que os obtidos apenas com todos os painéis carregados com carga total. Para o cálculo de lajes, o *software* Eberick V8 utiliza o processo de analogia de grelha, para tanto foi mantido as configurações padrões do programa,

que considera uma grelha com espaçamento entre faixas de 50 cm e com no mínimo quatro faixas em uma direção.

Para que a estrutura seja lançada no Eberick V8 e esteja em conformidade com as situações de carregamento apresentadas anteriormente, é necessário que seja definida a espessura da laje de forma a totalizar 5 kN/m² como carga total permanente. Sendo assim, foi adotado para todas as lajes uma carga permanente de revestimento igual a 1,5 kN/m², uma espessura de 14 cm e peso específico para o concreto armado de 25 kN/m³, conforme recomendação da NBR 6120 (ABNT, 1980), gerando portanto uma carga permanente total de 5 kN/m², conforme é mostrado abaixo:

$$1,5 \text{ kN/m}^2 + 0,14\text{m} \times 25\text{kN/m}^3 = 5 \text{ kN/m}^2$$

Para complementar a estrutura a ser avaliada do pavimento hipotético da Figura 7 e possibilitar o cálculo pelo *software* Eberick V8, foram consideradas todas as vigas com seção transversal (15 x 50) cm e todos os pilares com seção transversal (15 x 40) cm, além de um pé direito de 3 m. Por se tratar apenas de um estudo das lajes, foi configurado o programa para cálculo considerando pavimentos isolados, ao invés de calcular como pórtico espacial.

Com respeito a combinações de carga, o *software* Eberick V8 foi ajustado para analisar as combinações quase permanentes para o ELS e combinações normais para o ELU (desconsiderando as combinações com γ_G favoráveis). Os valores dos coeficientes de ponderação γ_g e γ_q , e os fatores de combinação configurados para utilização no Eberick V8 são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Coeficientes e fatores para combinações de cargas utilizadas para o cálculo.

Tipo de Carga	Coef. De Ponderação		Fatores de Combinação		
	D	F	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Permanente	Peso Próprio	1,3	1	1	1
	Adicional	1,4	1	1	1
Acidental	1,4	0	0,8	0,7	0,6

Onde: D - desfavorável; F – favorável.

Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS

Conforme cada norma apresentada neste trabalho, a necessidade ou não de ser feita alternância de cargas para cada uma das quatro situações de carregamento apresentadas anteriormente é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4: Necessidade de ser considerada alternância de cargas de acordo com cada norma.

Norma	Situação de carregamento			
	i.	ii.	iii.	iv.
NBR 6118 (2014)	x	x	x	✓
NBR 6118 (2007)	✓	✓	x	✓
ACI 318-14	✓	x	x	✓
BS 8110-1	✓	✓	✓	✓
EC2	✓	✓	✓	✓

Nota: ✓ - necessita alternância de cargas
x - não necessita alternância de cargas

Fonte: Autoria própria.

Para fins de obtenção de resultados que mostrem o quanto a utilização das recomendações de ROCHA (1993) pode gerar para os valores de momentos nas lajes, foi feito o cálculo isolado para cada caso de vinculação das lajes apresentadas no método de Marcus, e comparados com os valores sem utilização de alternância de cargas. Lembrando que para ambas as situações, com e sem alternância de cargas, os momentos fletores foram calculados por meio das equações de Marcus. Os resultados são apresentados na Tabela 5, onde se adotou os parâmetros: $l_x = l_y = 5\text{m}$; carga permanente $g = 5\text{ kN/m}^2$ e carga variável $q = 5\text{ kN/m}^2$ (valores limites de cargas apresentadas na norma NBR 6118 (ABNT, 2014), referentes a situação de carregamento i, não sendo obrigatoriamente necessário alternância de cargas).

Para os resultados a serem apresentados nas tabelas a seguir, com os momentos fletores calculados por meio do método de Marcus, com e sem as recomendações de Rocha (1993) para alternância de cargas, foi considerado o coeficiente de ponderação de 1,4 a fim de serem obtidos os momentos fletores de projeto.

Tabela 5: Momentos fletores de projeto para lajes armadas em duas direções de acordo com o respectivo caso relativo ao método de Marcus.

Caso	Utilizando alternância de cargas		Sem alternância de cargas		Diferença
1	Md_x	12,76	Md_x	12,76	0,00%
	Md_y	12,76	Md_y	12,76	0,00%
	Xd_x	-	Xd_x	-	-
	Xd_y	-	Xd_y	-	-
2	Md_x	11,96	Md_x	11,69	2,28%
	Md_y	10,33	Md_y	9,53	8,49%
	Xd_x	-31,25	Xd_x	-31,25	-
	Xd_y	-	Xd_y	-	-
3	Md_x	10,26	Md_x	9,42	8,85%
	Md_y	10,26	Md_y	9,42	8,85%
	Xd_x	-21,88	Xd_x	-21,88	-
	Xd_y	-21,88	Xd_y	-21,88	-
4	Md_x	10,20	Md_x	9,34	9,15%
	Md_y	7,90	Md_y	6,28	25,80%
	Xd_x	-24,31	Xd_x	-24,31	-
	Xd_y	-	Xd_y	-	-
5	Md_x	9,13	Md_x	7,92	15,27%
	Md_y	8,38	Md_y	6,92	21,08%
	Xd_x	-19,44	Xd_x	-19,44	-
	Xd_y	-14,58	Xd_y	-14,58	-
6	Md_x	7,90	Md_x	6,28	25,80%
	Md_y	7,90	Md_y	6,28	25,80%
	Xd_x	-14,58	Xd_x	-14,58	-
	Xd_y	-14,58	Xd_y	-14,58	-

Nota: Todas os momentos em kNm/m

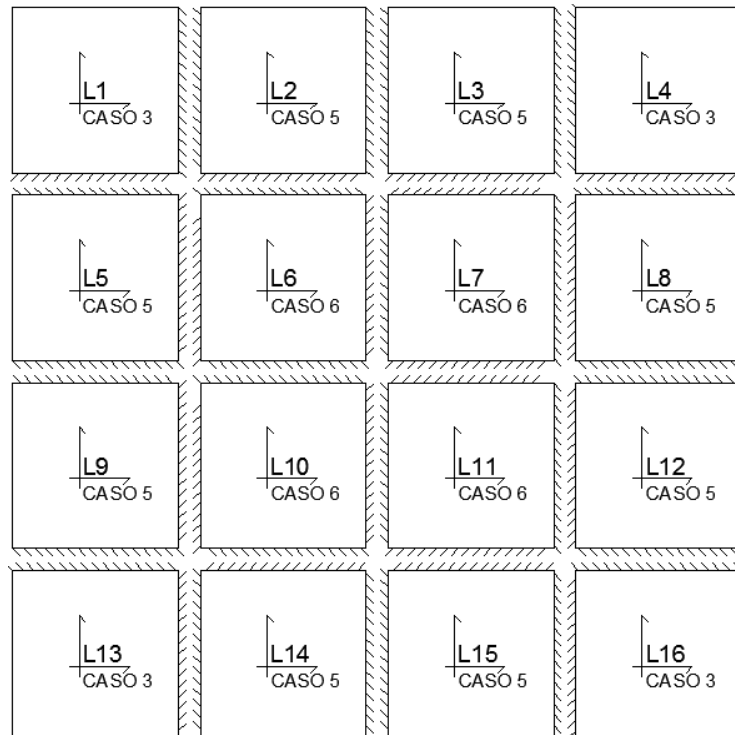
Fonte: Autoria própria.

Os seis casos apresentados na Tabela 5 correspondem aos seis possíveis casos de vinculação para lajes apresentados no método de Marcus, (Figura 6, página 22). Para a situação de cargas *i*, observa-se que quanto maior a quantidade de engastes existentes na laje, maior será a variação dos momentos positivos obtidos por alternância de cargas. Como observado no caso 1, simplesmente apoiada em ambas às direções, não há diferença no

cálculo dos momentos, enquanto que para o caso 6, biengastada em ambas as direções, a diferença no valor dos momentos positivos chega a 25,80%.

Como foi proposta a consideração de engastes internos entre as lajes do pavimento hipotético analisado, haverá apenas lajes nos casos 3, 5 e 6 conforme mostra a Figura 8.

Figura 8: Condições de contorno para as lajes do pavimento hipotético.



Fonte: Autoria própria.

Calculando então os momentos apenas para os casos 3, 5, e 6 apresentados no método de Marcus nas situações de carregamentos ii. (carga permanente de 5 kN/m² e variável de 3,75 kN/m²), iii. (carga permanente de 5 kN/m² e variável de 1,25 kN/m²) e iv. (carga permanente de 5 kN/m² e variável de 8 kN/m²) obtiveram-se os resultados apresentados nas tabelas a seguir, nas quais os valores dos momentos negativos foram ocultados por não haver diferenças de cálculo pelas recomendações utilizadas. Considerou-se $l_x = l_y = 5m$.

Tabela 6: Momentos fletores de projeto calculados para a situação ii. ($q = 3,75 \text{ kN/m}^2$).

Caso	Utilizando alternância de cargas		Sem alternância de cargas		Diferença
3	M_{d_x}	8,87	M_{d_x}	8,25	7,59%
	M_{d_y}	8,87	M_{d_y}	8,25	7,59%
5	M_{d_x}	7,84	M_{d_x}	6,93	13,09%
	M_{d_y}	7,15	M_{d_y}	6,06	18,07%
6	M_{d_x}	6,71	M_{d_x}	5,49	22,12%
	M_{d_y}	6,71	M_{d_y}	5,49	22,12%

Nota: Todas os momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria

Tabela 7: Momentos fletores de projeto calculados para a situação iii. ($q = 1,25 \text{ kN/m}^2$).

Caso	Utilizando alternância de cargas		Sem alternância de cargas		Diferença
3	M_{d_x}	6,10	M_{d_x}	5,89	3,54%
	M_{d_y}	6,10	M_{d_y}	5,89	3,54%
5	M_{d_x}	5,25	M_{d_x}	4,95	6,11%
	M_{d_y}	4,69	M_{d_y}	4,33	8,43%
6	M_{d_x}	4,33	M_{d_x}	3,92	10,32%
	M_{d_y}	4,33	M_{d_y}	3,92	10,32%

Nota: Todas os momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8: Momentos fletores de projeto calculados para a situação iv. ($q = 8,0 \text{ kN/m}^2$).

Caso	Utilizando alternância de cargas		Sem alternância de cargas		Diferença
3	M_{d_x}	13,59	M_{d_x}	12,25	10,89%
	M_{d_y}	13,59	M_{d_y}	12,25	10,89%
5	M_{d_x}	12,23	M_{d_x}	10,30	18,79%
	M_{d_y}	11,33	M_{d_y}	9,00	25,95%
6	M_{d_x}	10,76	M_{d_x}	8,16	31,76%
	M_{d_y}	10,76	M_{d_y}	8,16	31,76%

Nota: Todas os momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Vale salientar também que para o cálculo de lajes é necessário ser feita a devida compatibilização dos momentos fletores, conforme apresentado na seção 2.3.1 deste trabalho, porém, não foram aqui feitas devido ao fato que segundo ROCHA (1993) para os momentos fletores negativos, deve-se apenas utilizar o método de Marcus normalmente para seu cálculo. Com isso, os momentos negativos compatibilizados para os casos com e sem alternância de cargas serão os mesmos, logo, o ajuste para os momentos positivos também serão iguais e, portanto, não haverá variação entre comparar os momentos compatibilizados ou não.

Da Tabela 7, com os valores limites da norma NBR 6118 (ABNT, 2007), observa-se que a maior diferença de momentos fletores foi de apenas 10,32%, bem menor que o valor apresentado para os valores limites da nova versão da NBR 6118 (ABNT, 2014), que foi de 25,80%.

Pela Tabela 6, com os valores limites da norma americana ACI 318-14, observa-se que a máxima diferença entre momentos fletores chegou a 22,12%. Sendo este, o resultado esperado, com valor entre os resultados obtidos para os limites da NBR 6118 nas versões de 2007 e 2014.

Já pela Tabela 8, utilizando valores que extrapolam os limites de todas as normas apresentadas neste trabalho, vê-se que as diferenças máximas entre momentos fletores obtidos com e sem alternância de cargas, chegaram a 31,76%.

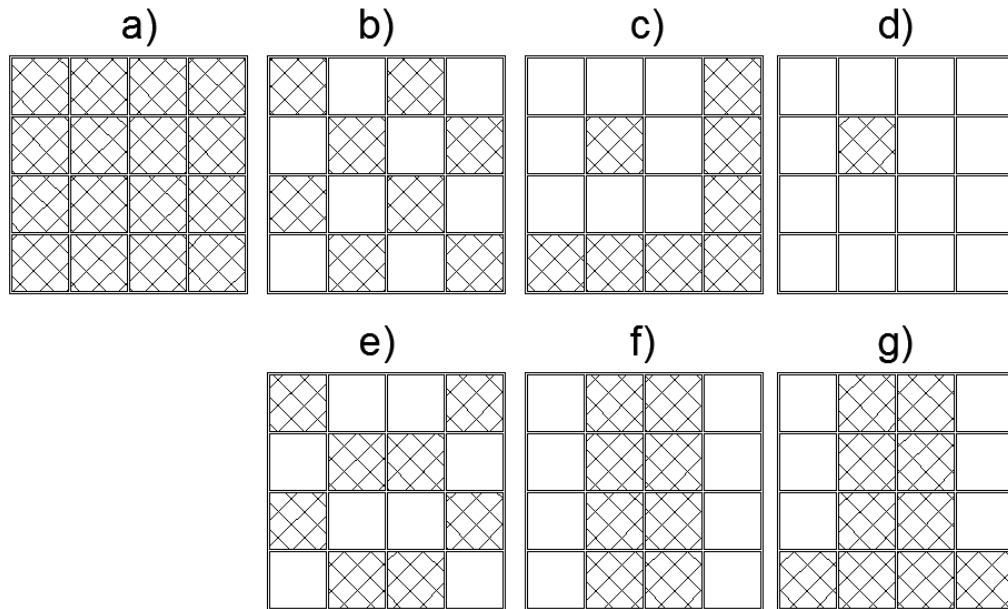
4.1 RESULTADOS CALCULADOS PELO SOFTWARE EBERICK V8

Conforme pode ser constatado na guia de ajuda do *software* Eberick V8 (Anexo B), o mesmo não prevê alternância de cargas nas estruturas calculadas, apenas deixa o usuário ciente da recomendação presente na NBR 6118 (ABNT, 2007). Com isso, caso seja necessário ser feita análise de alternância de cargas, a mesma deve ser feita de forma manual alternando os valores de carga variável atuante em cada painel do conjunto de lajes.

Portanto, um dos objetivos do presente trabalho é a obtenção de disposições de cargas variáveis que gerem os maiores valores de momentos fletores, porém, caso fosse optado por calcular todas as disposições possíveis para o pavimento apresentado com 16 lajes, isso tornaria o trabalho muito dispendioso. Tentando contornar tal problema, foram calculados pelo *software* Eberick V8 apenas sete disposições potenciais a gerarem grandes momentos na laje L6 e apoio adjacente a L6 e L7. Tais casos foram desenhados tentando expandir para lajes armadas em duas direções, as recomendações para alternância de cargas em vigas

apresentadas nas normas internacionais BS 8110-1, EC2 e ACI 318-14. As sete disposições de cargas variáveis utilizados neste trabalho são apresentados na Figura 9.

Figura 9: Casos de disposição de cargas variáveis analisados através do *software* Eberick V8.

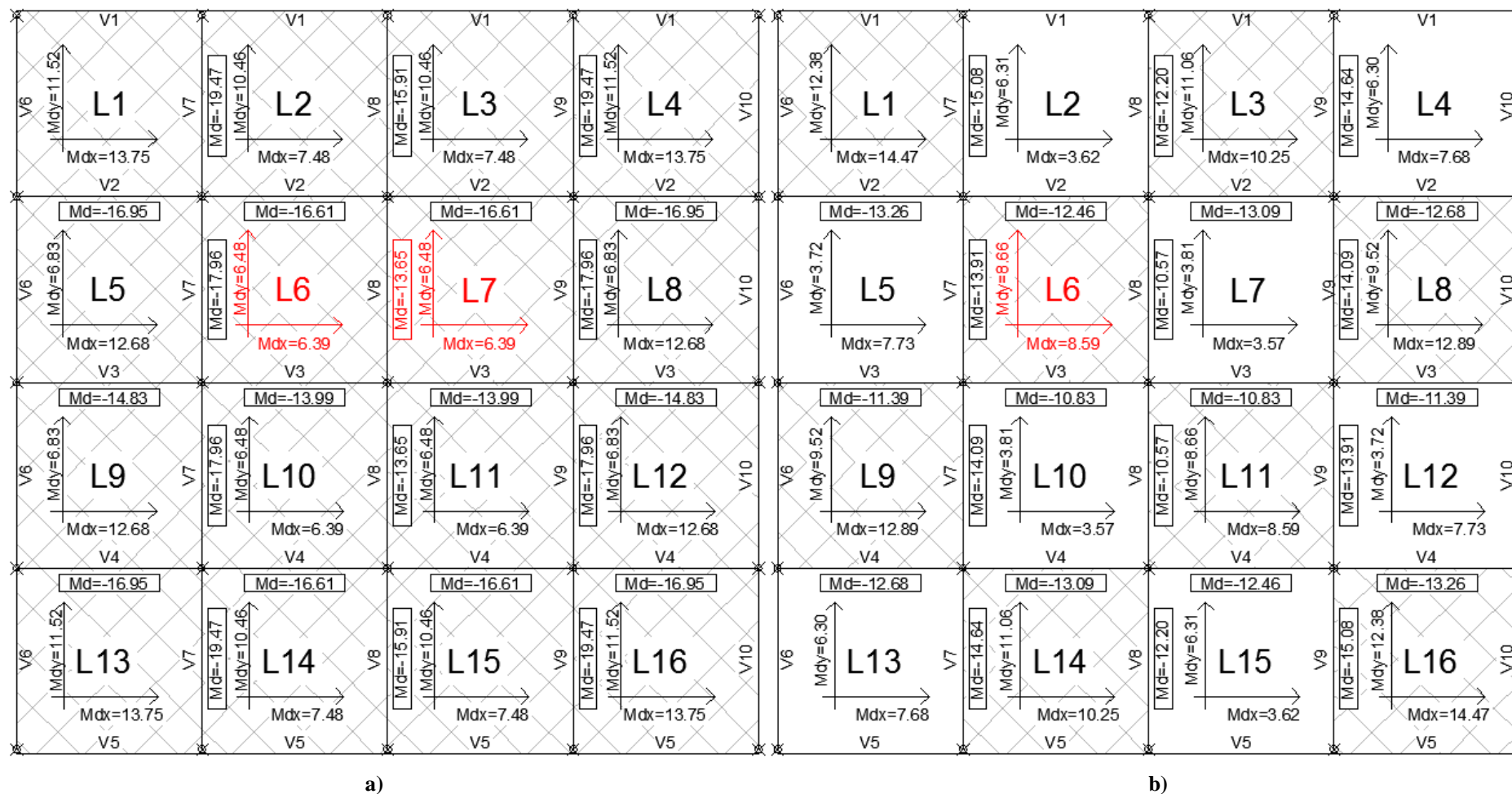


Fonte: Autoria própria. Lajes hachuradas correspondem a carga total, e outras apenas com carga permanente.

A escolha das sete disposições de cargas acima foi baseada em: para a disposição a), manteve-se todos os painéis com a carga total para servir de referência para os valores de momentos fletores sem alternância de cargas; as disposições b), c) e d) pensando em obter os maiores momentos positivos no meio do vão da laje L6, em ambas as direções, x e y; e as disposições e), f) e g) pensando em obter os maiores momentos negativos no apoio adjacente as lajes L6 e L7. Para o desenho das disposições b) a g) buscou-se adaptar as recomendações de alternância de cargas para vigas presentes nas normas europeias BS 8110-1 e EC2 para lajes armadas em duas direções.

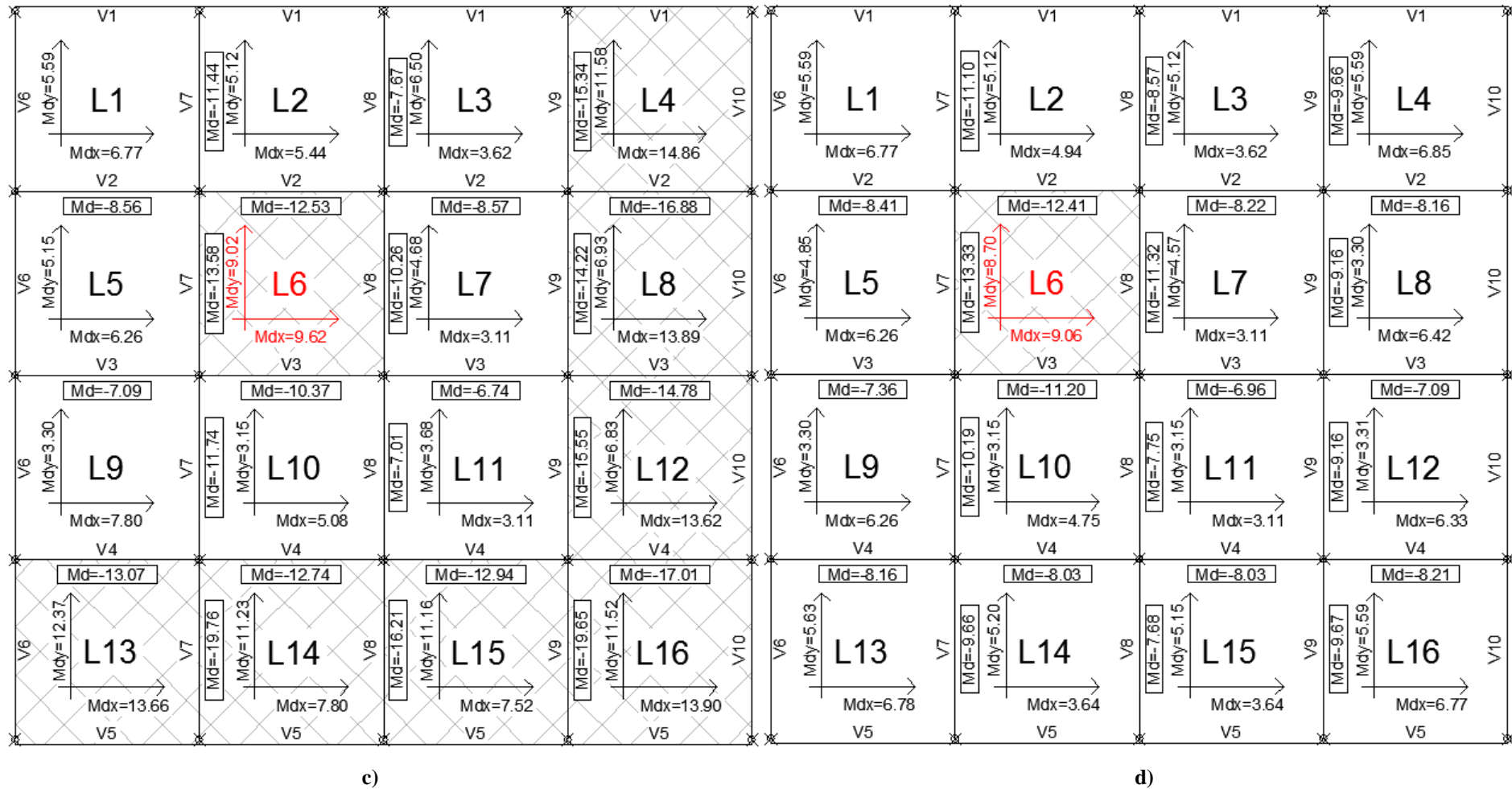
Após terem sido calculados através do *software* Eberick V8, os resultados para os momentos fletores já compatibilizados pelo próprio *software* para as lajes em cada disposição de cargas variáveis especificado são apresentados nas figuras a seguir. Para os resultados apresentados da Figura 10 até a Figura 13, foram utilizadas as cargas apresentadas para a situação i, ou seja, no limite da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Figura 10: Momentos para as lajes do pavimento com as disposições a) e b) e situação de carga i.



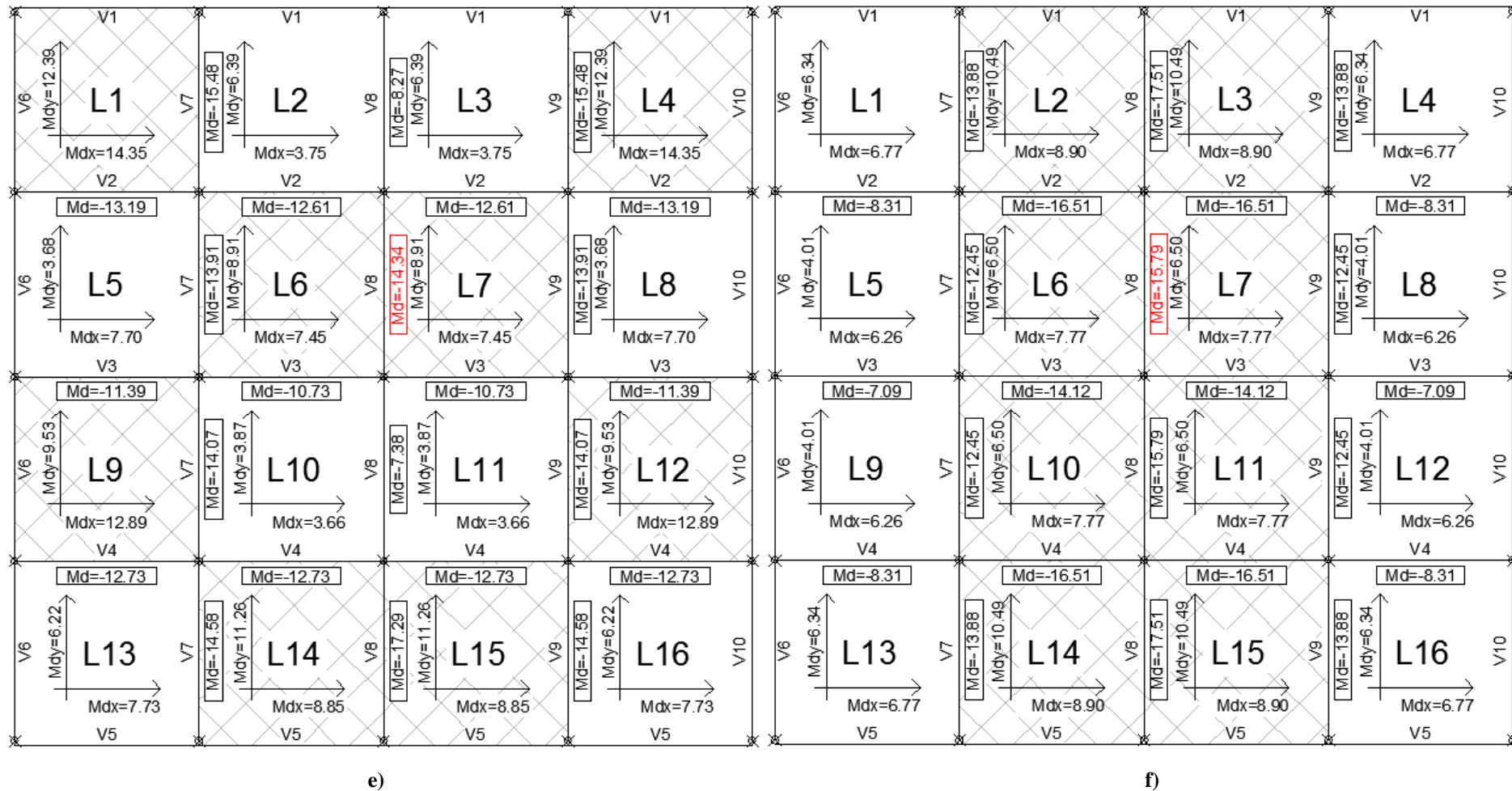
Fonte: Autoria própria. Momentos distribuídos em kNm/m. Lajes hachuradas com carga total.

Figura 11: Momentos para as lajes do pavimento com as disposições c) e d) e situação de carga i.



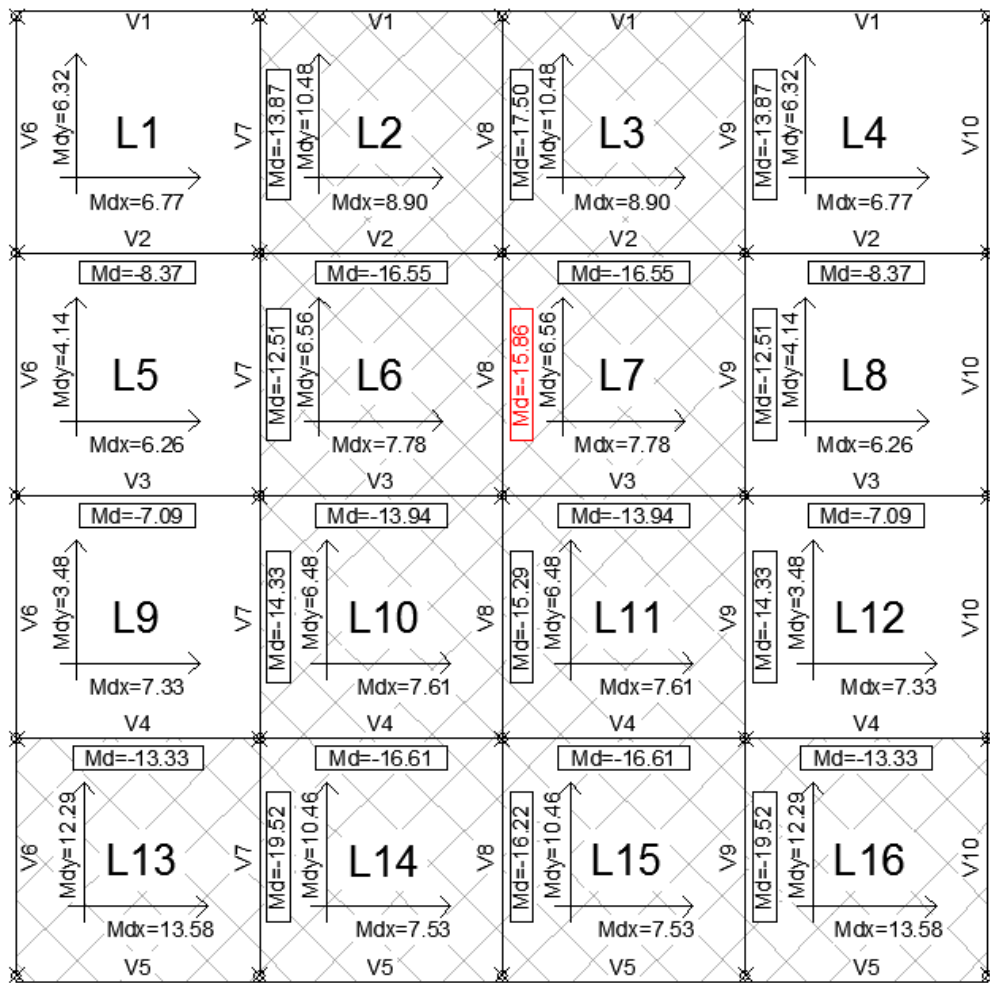
Fonte: Autoria própria. Momentos distribuídos em kNm/m. Lajes hachuradas com carga total.

Figura 12: Momentos para as lajes do pavimento com as disposições e) e f) e situação de carga i.



Fonte: Autoria própria. Momentos distribuídos em kNm/m. Lajes hachuradas com carga total.

Figura 13: Momentos para as lajes do pavimento com a disposição g) e situação de carga i.



Fonte: Autoria própria. Momentos distribuídos em kNm/m. Lajes hachuradas com carga total.

Um resumo com tais valores encontrados é apresentado na Tabela 9. Onde se pode observar que a disposição no qual todos os painéis estão carregados, de fato não é a situação com maiores momentos fletores, e sim as disposições c) e g), para momentos positivos e negativos, respectivamente.

Tabela 9: Momentos fletores calculados para a laje L6 através do software Eberick V8.

Momentos (Laje L6)	Disposição de cargas						
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)
M _{dx}	6,39	8,59	9,62	9,06	7,45	7,77	7,78
M _{dy}	6,48	8,66	9,02	8,70	8,91	6,50	6,56
M _d	-13,65	-10,57	-10,26	-11,32	-14,34	-15,79	-15,86

Nota: Momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Comparando os dados da disposição de cargas a) (todas as lajes com carga total) com os valores máximos de momentos fletores obtidos das disposições c) e g), tem-se o resumo apresentado na Tabela 10. Onde se observa o maior aumento de momento no meio do vão para a laje L6 na direção x.

Tabela 10: Momentos fletores para a laje L6 nas condições limite da NBR 6118 (ABNT, 2014).

Laje L6	Momentos Fletores		Diferenças
	Disposição a)	Máximos (c;g)	
Mdx	6,39	9,62	50,55%
Mdy	6,48	9,02	39,20%
Md	-13,65	-15,86	16,19%

Nota: Momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Sabendo que as disposições de carga c) e g) são as que geram maiores momentos fletores, utilizou-se apenas estas, além da disposição a) para as situações limites ii. (carga permanente de 5 kN/m² e variável de 3,75 kN/m²), iii. (carga permanente de 5 kN/m² e variável de 1,25 kN/m²), e iv. (carga permanente de 5 kN/m² e variável de 8,0 kN/m²), com o intuito de obter os maiores momentos também na laje L6. Os resumos com os resultados para cada situação são apresentados nas tabelas a seguir.

Tabela 11: Momentos fletores para a laje L6 nas condições limite da ACI 318-14.

Laje L6	Momentos Fletores		Diferenças
	Disposição a)	Máximos (c;g)	
Mdx	5,57	8,00	43,63%
Mdy	5,65	7,55	33,63%
Md	-11,88	-13,54	13,97%

Nota: Momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Tabela 12: Momentos fletores para a laje L6 nas condições limite da NBR 6118 (ABNT, 2007).

Laje L6	Momentos Fletores		Diferenças
	Disposição a)	Máximos (c;g)	
Mdx	3,93	4,74	20,61%
Mdy	3,99	4,62	15,79%
Md	-8,33	-8,89	6,72%

Nota: Momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13: Momentos fletores para a laje L6 na situação iv. ($q = 8,0 \text{ kN/m}^2$).

Laje L6	Momentos Fletores		Diferenças
	Disposição a)	Máximos (c;g)	
Mdx	8,35	13,53	62,04%
Mdy	8,47	12,53	47,93%
Md	-17,90	-21,45	19,83%

Nota: Momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

Da Tabela 12, observa-se que os limites anteriores da norma NBR 6118 (ABNT, 2007) eram bem mais rígidos quando comparados com a nova versão da norma, apresentando uma diferença máxima de 20,61% para o momento positivo no meio do vão da laje L6 na direção x, enquanto que para a versão de 2014, a diferença máxima entre momentos chegou a 50,55%.

Observa-se que, apesar do pavimento hipotético apresentado na Figura 7 ser formado por lajes quadradas, os resultados para situações de disposição de carga variável simétricas apresentaram momentos diferentes para cada eixo. Podendo tal diferença ser resultante das diferentes vinculações das lajes apresentadas.

Comparando os valores de momentos fletores obtidos pelo método de Marcus e os obtidos pelo Eberick V8, para a laje L6 do pavimento hipotético, obtém-se a Tabela 14 abaixo.

Tabela 14: Momentos fletores obtidos pelos dois métodos na situação de carregamento iv. ($q = 8,0 \text{ kN/m}^2$).

Momentos (Laje L6)	Método de Marcus		Eberick V8	
	Sem Alternância	Com Alternância	Sem Alternância	Com Alternância
Mdx	8,16	10,76	8,35	13,53
Mdy	8,16	10,76	8,47	12,53
Md	-18,96	-18,96	-17,90	-21,45

Nota: Momentos em kNm/m

Fonte: Autoria própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os objetivos apresentados deste trabalho, buscou-se determinar disposições de cargas variáveis que pudessem gerar os maiores momentos fletores nas lajes. Como seria inviável calcular todas as disposições possíveis, utilizaram-se apenas seis. Tendo sido estas definidas adaptando para lajes maciças as recomendações com respeito à alternância de cargas em vigas presentes nas normas europeias BS 8110-1 e EC2.

Utilizando o *software* Eberick V8 para calcular os esforços nas lajes adotando as seis disposições definidas anteriormente para distribuição de cargas variáveis nas lajes e a situação considerando todas as lajes com carga total, não é possível afirmar que os momentos fletores aqui obtidos são os máximos possíveis para as lajes estudadas. Porém a alternância de cargas variáveis feita apenas com estas seis disposições apresentaram resultados bem relevantes, chegando a haver um aumento dos momentos fletores em 50,55% quando utilizados os valores limites de carregamento da NBR 6118 (ABNT, 2014), situação de carga para o exemplo i, comparados ao procedimento de cálculo no caso sem alternância de cargas.

Quando se utilizou as recomendações de Rocha (1993) para o cálculo dos momentos fletores com alternância de cargas e os resultados foram comparadas com os do método de Marcus para o cálculo sem alternância de cargas, obtiveram-se aumentos em até 25,80% nos momentos fletores ao considerar a situação de cargas limites impostos pela NBR 6118 (ABNT, 2014), adotando as cargas do exemplo da situação i. Para as mesmas condições comparativas, mas com os limites impostos pela NBR 6118 (ABNT, 2007), situação iii, os aumentos nos momentos fletores chegaram a apenas 10,32%. E para cargas do exemplo da situação ii, nos limites da norma ACI 318-14, o aumento chegou a 22,12%.

Ao se utilizar valores de carga que extrapolam os limites de todas as normas apresentadas, situação de cargas do exemplo iv, obteve-se aumento nos momentos fletores chegando a 31,76% e 62,04% quando considerada alternância de cargas por meio das recomendações de Rocha (1993) e do *software* Eberick V8, respectivamente. Lembrando que tais porcentagens foram obtidas comparando as recomendações de Rocha (1993) com o método de Marcus, e os resultados do Eberick V8 entre a disposição com carga total em todas as lajes e as outras seis disposições para alternância de cargas utilizadas neste trabalho.

Ainda comparando os dois métodos de cálculo, conforme apresentado na Tabela 14, os momentos fletores obtidos para a situação sem alternância de cargas, tanto pelo Eberick como pelo método de Marcus, foram bem próximos. Aparecendo maior diferença apenas ao

ser considerado alternância de cargas variáveis, onde os resultados obtidos através do Eberick V8 foram superiores.

Quanto às normas aqui apresentadas, observou-se que a NBR 6118 (ABNT, 2014) é a mais permissiva, tendo os mais altos valores de limites a partir dos quais é necessária alternância de cargas. E as normas europeias, BS8110-1 e EC2, as mais rigorosas, exigindo alternância de cargas para qualquer situação de carregamento.

De forma geral, pôde-se observar que a alternância de cargas variáveis em estruturas é algo de grande importância, e que pode gerar diferenças consideráveis nos valores finais dos momentos fletores, devendo, portanto, ser levada em consideração nos cálculos dos esforços de flexão das estruturas que estejam submetidas a grandes cargas variáveis. Ficando, portanto, a critério do projetista utilizar os procedimentos de alternância de cargas em situações de carregamentos abaixo do limite da NBR 6118 (ABNT, 2014), pois como pôde ser visto nos resultados encontrados, permite-se afirmar que existe um grau maior de permissividade na versão 2014 em relação a 2007 ou as normas internacionais citadas.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318M-14 - Building Code Requirements for Structural Concrete**. Farmington Hills. 2015.

ARAÚJO, J. M. **Curso de Concreto Armado**. 3ª. ed. Rio Grande: Dunas, v. 2, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro. 1980.

_____. **NBR 8681 Ações e segurança nas estruturas - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004.

_____. **NBR 6118 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro. 2014.

BRITISH STANDARD. **BS 8110 - Structural use of concrete - Part1: Code of practice for design and construction**. Sheffield. 2002.

BRITO, D. R. DRB - Assessoria educacional. **Notas de Aulas - Estrutura de Concreto Armado**. Disponível em: <<http://drb-assessoria.com.br/calculodelajes.pdf>>. Acesso em: 22 de Outubro 2016.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. D. F. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. 3ª. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings**. Bruxelas. 2004.

JUNIOR, B. F. R. C.; LIMA, E. C.; OLIVEIRA, J. C. A. O. **Estudo Comparativo de Cálculo de Lajes - Analogia de grelha x Tabela de Czerny**. Disponível em: <http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Byl_Farney_Junior.pdf>. Acesso em: 23 de Outubro 2016.

MCCORMAC, J. C.; BROWN, R. H. **Design of Reinforced Concrete**. 9^a. ed. [S.l.]: Wiley, 2014.

NILSON, A. H.; DARWIN, D.; DOLAN, C. W. **Design of concrete structures**. 14^a. ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2007.

REYNOLDS, C. E.; STEEDMAN, J. C.; THRELFALL, A. J. **Reinforced Concrete Designer's Handbook**. Abingdon: Taylor & Francis, 2008.

ROCHA, Aderson Moreira. **Concreto Armado**. 24^a. ed. São Paulo: Nobel, v. I, 1993.

ROSA, W. D. A. profwillian.com. **Cálculo de Lajes em Cruz - Marcus**. Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em: 15 Outubro 2016.

WIGHT, J. K.; MACGREGOR, J. G. **Reinforced Concrete - Mechanics & Design**. 6^a. ed. New Jersey: Pearson, 2012.

ANEXO A – TABELAS DE MARCUS

Tabela 15: Tabela de Marcus - Caso 1.

ly/lx	k _x	m _x	m _y	ly/lx	k _x	m _x	m _y	ly/lx	k _x	m _x	m _y
0,50	0,059	169,18	42,29	1,00	0,500	27,43	27,43	1,50	0,835	13,87	31,21
0,51	0,063	158,42	41,20	1,01	0,510	26,89	27,43	1,51	0,839	13,75	31,36
0,52	0,068	148,64	40,19	1,02	0,520	26,37	27,43	1,52	0,842	13,64	31,52
0,53	0,073	139,70	39,24	1,03	0,529	25,87	27,44	1,53	0,846	13,53	31,68
0,54	0,078	131,55	38,36	1,04	0,539	25,38	27,45	1,54	0,849	13,43	31,85
0,55	0,084	124,10	37,53	1,05	0,549	24,91	27,47	1,55	0,852	13,32	32,01
0,56	0,089	117,25	36,77	1,06	0,558	24,46	27,48	1,56	0,855	13,22	32,18
0,57	0,095	110,96	36,05	1,07	0,567	24,02	27,50	1,57	0,859	13,13	32,36
0,58	0,102	105,19	35,38	1,08	0,576	23,60	27,52	1,58	0,862	13,03	32,53
0,59	0,108	99,86	34,76	1,09	0,585	23,19	27,55	1,59	0,865	12,94	32,71
0,60	0,115	94,94	34,18	1,10	0,594	22,79	27,57	1,60	0,868	12,85	32,80
0,61	0,122	90,40	33,64	1,11	0,603	22,41	27,61	1,61	0,870	12,76	33,08
0,62	0,129	86,20	33,13	1,12	0,611	22,03	27,64	1,62	0,873	12,68	33,27
0,63	0,136	82,30	32,66	1,13	0,620	21,67	27,67	1,63	0,876	12,59	33,46
0,64	0,144	78,68	32,23	1,14	0,628	21,32	27,71	1,64	0,878	12,51	33,65
0,65	0,151	75,32	31,82	1,15	0,636	20,99	27,76	1,65	0,881	12,43	33,85
0,66	0,159	72,19	31,44	1,16	0,644	20,66	27,80	1,66	0,884	12,35	34,04
0,67	0,168	69,27	31,09	1,17	0,652	20,34	27,85	1,67	0,886	12,28	34,24
0,68	0,176	66,54	30,99	1,18	0,660	20,04	27,90	1,68	0,888	12,21	34,45
0,69	0,185	63,99	30,46	1,19	0,667	19,74	27,95	1,69	0,891	12,13	34,65
0,70	0,194	61,60	30,18	1,20	0,675	19,45	28,01	1,70	0,893	12,06	34,87
0,71	0,203	59,37	29,93	1,21	0,682	19,17	28,07	1,71	0,895	12,00	35,08
0,72	0,212	57,27	29,69	1,22	0,689	18,90	28,13	1,72	0,897	11,93	35,29
0,73	0,221	55,29	29,47	1,23	0,696	18,64	28,20	1,73	0,899	11,86	35,51
0,74	0,231	53,44	29,26	1,24	0,703	18,39	28,27	1,74	0,902	11,80	35,73
0,75	0,240	51,69	29,07	1,25	0,709	18,14	28,34	1,75	0,904	11,74	35,95
0,76	0,250	50,04	28,90	1,26	0,716	17,90	28,42	1,76	0,906	11,68	36,17
0,77	0,260	48,48	28,74	1,27	0,722	17,67	28,50	1,77	0,907	11,62	36,40
0,78	0,270	47,01	28,60	1,28	0,729	17,44	28,58	1,78	0,909	11,56	36,63
0,79	0,280	45,61	28,46	1,29	0,735	17,23	28,67	1,79	0,911	11,51	36,86
0,80	0,290	44,29	28,34	1,30	0,741	17,01	28,76	1,80	0,913	11,45	37,10
0,81	0,301	43,03	28,23	1,31	0,746	16,81	28,85	1,81	0,915	11,40	37,33
0,82	0,311	41,84	28,13	1,32	0,752	16,61	28,94	1,82	0,916	11,34	37,58
0,83	0,322	40,70	28,04	1,33	0,758	16,42	29,04	1,83	0,918	11,29	37,82
0,84	0,332	39,62	27,96	1,34	0,763	16,23	29,14	1,84	0,920	11,24	38,06
0,85	0,343	38,59	27,88	1,35	0,769	16,05	29,25	1,85	0,921	11,19	38,31
0,86	0,354	37,61	27,81	1,36	0,774	15,87	29,36	1,86	0,923	11,15	38,56
0,87	0,364	36,67	27,75	1,37	0,779	15,70	29,47	1,87	0,924	11,10	38,81
0,88	0,375	35,77	27,70	1,38	0,784	15,53	29,58	1,88	0,926	11,05	39,07
0,89	0,385	34,91	27,65	1,39	0,789	15,37	29,70	1,89	0,927	11,01	39,32
0,90	0,396	34,09	27,61	1,40	0,793	15,21	29,82	1,90	0,929	10,96	39,58
0,91	0,407	33,30	27,57	1,41	0,798	15,06	29,95	1,91	0,930	10,92	39,84
0,92	0,417	32,54	27,54	1,42	0,803	14,91	30,07	1,92	0,931	10,88	40,10
0,93	0,428	31,81	27,51	1,43	0,807	14,77	30,20	1,93	0,933	10,84	40,37
0,94	0,438	31,11	27,49	1,44	0,811	14,63	30,34	1,94	0,934	10,80	40,63
0,95	0,449	30,44	27,47	1,45	0,815	14,49	30,47	1,95	0,935	10,76	40,91
0,96	0,459	29,79	27,45	1,46	0,820	14,36	30,61	1,96	0,936	10,72	41,18
0,97	0,469	29,17	27,44	1,47	0,824	14,23	30,76	1,97	0,938	10,68	41,45
0,98	0,480	28,57	27,43	1,48	0,827	14,11	30,90	1,98	0,939	10,64	41,73
0,99	0,490	27,99	27,43	1,49	0,831	13,99	31,05	1,99	0,940	10,60	42,01
1,00	0,500	27,43	27,43	1,50	0,835	13,87	31,21	2,00	0,941	10,57	42,29

Fonte: Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Tabela 16: Tabela de Marcus - Caso 2.

ly/lx	k _z	m _z	n _z	m _y	ly/lx	k _z	m _z	n _z	m _y
0,50	0,135	140,93	59,20	45,13	1,00	0,714	29,93	11,20	36,74
0,51	0,145	132,95	55,31	44,11	1,02	0,730	29,02	10,96	37,19
0,52	0,154	125,68	51,77	43,22	1,04	0,745	28,18	10,73	37,68
0,53	0,165	119,03	48,56	42,38	1,06	0,759	27,41	10,53	38,19
0,54	0,175	112,94	45,64	41,60	1,08	0,773	26,69	10,35	38,74
0,55	0,186	107,35	42,97	40,88	1,10	0,785	26,02	10,18	39,31
0,56	0,197	102,20	40,54	40,21	1,12	0,797	25,40	10,03	39,92
0,57	0,209	97,46	38,32	39,60	1,14	0,808	24,83	9,89	40,55
0,58	0,220	93,08	36,28	39,03	1,16	0,819	24,29	9,77	41,21
0,59	0,232	89,03	34,41	38,51	1,18	0,829	23,79	9,65	41,90
0,60	0,245	85,28	32,69	38,04	1,20	0,838	23,33	9,45	42,62
0,61	0,257	81,79	31,11	37,60	1,22	0,847	22,89	9,44	43,36
0,62	0,270	78,55	29,66	37,20	1,24	0,855	22,49	9,35	44,13
0,63	0,282	75,53	28,31	36,83	1,26	0,863	22,11	9,27	44,93
0,64	0,295	72,71	27,07	36,49	1,28	0,870	21,75	9,19	45,75
0,65	0,308	70,07	25,93	36,19	1,30	0,877	21,42	9,12	46,59
0,66	0,322	67,60	24,86	35,92	1,32	0,884	21,11	9,05	47,46
0,67	0,335	65,28	23,88	35,67	1,34	0,889	20,82	8,99	48,34
0,68	0,348	63,10	22,97	35,44	1,36	0,895	20,54	8,93	49,26
0,69	0,362	61,05	22,12	35,25	1,38	0,901	20,28	8,88	50,20
0,70	0,375	59,12	21,33	35,07	1,40	0,906	20,04	8,83	51,15
0,71	0,388	57,30	20,59	34,92	1,42	0,910	19,81	8,79	52,14
0,72	0,402	55,58	19,91	34,78	1,44	0,915	19,59	8,74	53,14
0,73	0,415	53,95	19,27	34,67	1,46	0,919	19,39	8,70	54,16
0,74	0,428	52,41	18,67	34,57	1,48	0,923	19,20	8,67	55,21
0,75	0,442	50,94	18,11	34,50	1,50	0,927	19,01	8,63	56,28
0,76	0,455	49,56	17,59	34,44	1,52	0,930	18,84	8,60	57,36
0,77	0,468	48,24	17,10	34,39	1,54	0,934	18,68	8,57	58,47
0,78	0,481	46,98	16,64	34,36	1,56	0,937	18,52	8,54	59,60
0,79	0,493	45,79	16,21	34,35	1,58	0,940	18,37	8,51	60,74
0,80	0,506	44,65	15,81	34,35	1,60	0,942	18,23	8,49	61,91
0,81	0,518	43,56	15,43	34,36	1,62	0,945	18,10	8,46	63,11
0,82	0,531	42,53	15,08	34,39	1,64	0,948	17,97	8,44	64,31
0,83	0,543	41,54	14,74	34,42	1,66	0,950	17,85	8,42	65,53
0,84	0,554	40,60	14,43	34,48	1,68	0,952	17,74	8,40	66,78
0,85	0,566	39,69	14,13	34,54	1,70	0,954	17,63	8,38	68,04
0,86	0,578	38,83	13,85	34,62	1,72	0,956	17,52	8,36	69,33
0,87	0,589	38,01	13,59	34,70	1,74	0,958	17,42	8,35	70,63
0,88	0,600	37,22	13,34	34,80	1,76	0,960	17,33	8,33	71,96
0,89	0,611	36,46	13,10	34,91	1,78	0,962	17,25	8,32	73,30
0,90	0,621	35,73	12,88	35,03	1,80	0,963	17,15	8,30	74,65
0,91	0,632	35,04	12,67	35,16	1,82	0,965	17,07	8,29	76,03
0,92	0,642	34,37	12,47	35,29	1,84	0,966	16,99	8,28	77,42
0,93	0,652	33,73	12,28	35,44	1,86	0,968	16,91	8,27	78,85
0,94	0,661	33,12	12,10	35,60	1,88	0,969	16,84	8,26	80,27
0,95	0,671	32,53	11,93	35,77	1,90	0,970	16,77	8,24	81,73
0,96	0,680	31,97	11,77	35,95	1,92	0,971	16,70	8,23	83,18
0,97	0,689	31,43	11,61	36,13	1,94	0,972	16,64	8,23	84,67
0,98	0,697	30,91	11,47	36,33	1,96	0,974	16,57	8,22	86,19
0,99	0,706	30,41	11,33	36,53	1,98	0,975	16,51	8,21	87,70
1,00	0,714	29,93	11,20	36,74	2,00	0,976	16,46	8,20	89,22

Fonte: Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Tabela 17: Tabela de Marcus - Caso 3.

ly/lx	k _z	m _z	n _z	m _y	n _y	ly/lx	k _z	m _z	n _z	m _y	n _y
1,00	0,500	37,14	16,00	37,14	16,00	1,50	0,835	20,61	9,58	46,38	21,55
1,01	0,510	36,42	15,69	37,15	16,00	1,51	0,839	20,49	9,54	46,71	21,75
1,02	0,520	35,72	15,39	37,16	16,01	1,52	0,842	20,36	9,50	47,05	21,94
1,03	0,529	35,05	15,11	37,19	16,03	1,53	0,846	20,24	9,46	47,38	22,14
1,04	0,539	34,42	14,84	37,22	16,05	1,54	0,849	20,12	9,42	47,73	22,34
1,05	0,549	33,81	14,58	37,27	16,08	1,55	0,852	20,01	9,39	48,07	22,55
1,06	0,558	33,21	14,34	27,32	16,11	1,56	0,855	19,90	9,35	48,43	22,76
1,07	0,567	32,65	14,10	37,38	16,15	1,57	0,859	19,79	9,32	48,78	22,96
1,08	0,576	32,11	13,88	37,45	16,19	1,58	0,862	19,69	9,28	49,14	23,17
1,09	0,585	31,59	13,67	37,53	16,24	1,59	0,865	19,58	9,25	49,51	23,09
1,10	0,594	31,09	13,46	37,61	16,29	1,60	0,868	19,48	9,22	49,88	23,60
1,11	0,603	30,61	13,27	37,71	16,35	1,61	0,870	19,39	9,19	50,25	23,82
1,12	0,611	30,14	13,08	37,81	16,41	1,62	0,873	19,29	9,16	52,63	24,04
1,13	0,620	29,70	12,91	37,92	16,48	1,63	0,876	19,20	9,13	51,01	24,26
1,14	0,628	29,27	12,74	38,04	16,55	1,64	0,878	19,11	9,11	51,40	24,49
1,15	0,636	28,85	12,57	38,16	16,63	1,65	0,881	19,02	9,08	51,79	24,72
1,16	0,644	28,46	12,42	38,29	16,71	1,66	0,884	18,94	9,05	52,19	24,95
1,17	0,652	28,08	12,27	38,43	16,79	1,67	0,886	18,86	9,03	52,58	25,18
1,18	0,660	27,71	12,13	38,58	16,88	1,68	0,888	18,77	9,00	52,99	25,41
1,19	0,667	27,35	11,99	38,73	16,98	1,69	0,891	18,70	8,98	53,39	25,65
1,20	0,674	27,00	11,85	38,89	17,07	1,70	0,893	18,62	8,96	53,81	25,89
1,21	0,682	26,68	11,73	39,06	17,18	1,71	0,895	18,54	8,93	54,22	26,13
1,22	0,690	26,36	11,61	39,23	17,28	1,72	0,897	18,47	8,91	54,64	26,37
1,23	0,696	26,05	11,49	39,41	17,39	1,73	0,899	18,40	8,89	55,07	26,61
1,24	0,703	25,75	11,38	39,59	17,50	1,74	0,902	18,33	8,87	55,49	26,86
1,25	0,709	25,46	11,28	39,78	17,62	1,75	0,904	18,26	8,85	55,92	27,11
1,26	0,716	25,18	11,17	39,98	17,74	1,76	0,906	18,18	8,83	56,36	27,36
1,27	0,722	24,92	11,07	40,19	17,86	1,77	0,907	18,13	8,81	56,80	27,61
1,28	0,729	24,66	10,98	40,40	17,99	1,78	0,909	18,07	8,80	57,24	27,87
1,29	0,735	24,40	10,89	40,61	18,12	1,79	0,911	18,00	8,78	57,68	28,13
1,30	0,741	24,16	10,80	40,83	18,25	1,80	0,913	17,94	8,76	58,14	28,39
1,31	0,746	23,93	10,72	41,06	18,39	1,81	0,915	17,88	8,74	58,59	28,65
1,32	0,752	23,70	10,63	41,29	18,53	1,82	0,916	17,83	8,73	59,05	28,91
1,33	0,758	23,48	10,56	41,53	18,67	1,83	0,918	17,77	8,71	59,51	29,18
1,34	0,763	23,26	10,48	41,77	18,82	1,84	0,920	17,72	8,70	59,97	29,44
1,35	0,769	23,06	10,41	42,02	18,97	1,85	0,921	17,66	8,68	60,44	29,72
1,36	0,774	22,86	10,34	42,28	19,12	1,86	0,923	17,61	8,67	60,92	29,99
1,37	0,779	22,66	10,27	42,54	19,28	1,87	0,924	17,56	8,65	61,39	30,26
1,38	0,784	22,48	10,21	42,80	19,43	1,88	0,926	17,51	8,64	61,88	30,54
1,39	0,789	22,29	10,14	43,07	19,60	1,89	0,927	17,46	8,63	62,36	30,81
1,40	0,793	22,12	10,08	43,35	19,76	1,90	0,929	17,41	8,61	62,85	31,09
1,41	0,798	21,95	10,02	43,63	19,93	1,91	0,930	17,36	8,60	63,34	31,38
1,42	0,803	21,78	9,97	43,92	20,10	1,92	0,931	17,32	8,59	63,83	31,66
1,43	0,807	21,62	9,91	44,21	20,27	1,93	0,933	17,27	8,58	64,33	31,94
1,44	0,811	21,46	9,86	44,50	20,45	1,94	0,934	17,23	8,56	64,83	32,23
1,45	0,815	21,31	9,81	44,80	20,62	1,95	0,935	17,18	8,55	65,34	32,52
1,46	0,820	21,16	9,76	45,11	20,80	1,96	0,936	17,14	8,54	65,84	32,81
1,47	0,824	21,02	9,71	45,42	20,99	1,97	0,938	17,10	8,53	66,36	33,10
1,48	0,827	20,88	9,67	45,74	21,17	1,98	0,939	17,06	8,52	66,88	33,40
1,49	0,831	20,75	9,62	46,06	21,36	1,99	0,940	17,02	8,51	67,39	33,70
1,50	0,835	20,61	9,58	46,38	21,55	2,00	0,941	16,93	8,50	67,92	34,00

Fonte: Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Tabela 18: Tabela de Marcus - Caso 4.

ly/lx	k _x	m _x	n _x	m _y	ly/lx	k _x	m _x	n _x	m _y
0,50	0,238	137,06	50,40	49,92	1,00	0,833	37,47	14,40	55,74
0,51	0,253	130,06	47,48	49,11	1,02	0,844	36,71	14,22	57,01
0,52	0,268	123,66	44,83	48,38	1,04	0,854	36,00	14,05	58,33
0,53	0,283	117,79	42,42	47,72	1,06	0,863	35,34	13,90	59,70
0,54	0,298	112,39	40,23	47,13	1,08	0,872	34,74	13,76	61,12
0,55	0,314	107,42	38,23	46,60	1,10	0,880	34,18	13,64	62,59
0,56	0,330	102,83	36,40	46,13	1,12	0,887	33,66	13,52	64,10
0,57	0,345	98,59	34,74	45,72	1,14	0,894	33,18	13,42	65,66
0,58	0,361	94,67	33,21	45,35	1,16	0,900	32,74	13,32	67,26
0,59	0,377	91,02	31,81	45,04	1,18	0,906	32,32	13,24	68,91
0,60	0,3930	87,62	30,52	44,77	1,20	0,912	31,93	13,16	70,60
0,61	0,409	84,46	29,33	44,54	1,22	0,917	31,57	13,08	72,33
0,62	0,425	81,51	28,24	44,35	1,24	0,922	31,23	13,01	74,11
0,63	0,441	78,76	27,24	44,21	1,26	0,926	30,92	12,95	75,92
0,64	0,456	76,18	26,30	44,10	1,28	0,931	30,62	12,89	77,78
0,65	0,472	73,76	25,45	44,02	1,30	0,934	30,34	12,84	79,66
0,66	0,487	71,49	24,65	43,98	1,32	0,938	30,08	12,79	81,60
0,67	0,502	69,36	23,91	43,97	1,34	0,942	29,83	12,74	83,58
0,68	0,517	67,36	23,22	43,98	1,36	0,945	29,60	12,70	85,58
0,69	0,531	65,47	22,59	44,03	1,38	0,948	29,39	12,66	87,63
0,70	0,545	63,69	22,00	44,11	1,40	0,950	29,18	12,62	89,72
0,71	0,559	62,01	21,44	44,21	1,42	0,953	28,99	12,59	91,84
0,72	0,573	60,42	20,93	44,34	1,44	0,955	28,80	12,56	94,01
0,73	0,587	58,92	20,45	44,49	1,46	0,958	28,63	12,53	96,20
0,74	0,600	57,51	20,00	44,66	1,48	0,960	28,47	12,50	98,45
0,75	0,613	56,16	19,38	44,86	1,50	0,962	28,31	12,47	100,72
0,76	0,625	54,89	19,19	45,08	1,52	0,964	28,16	12,45	103,02
0,77	0,637	53,69	18,83	45,33	1,54	0,966	28,02	12,43	105,38
0,78	0,649	52,54	18,48	45,59	1,56	0,967	27,89	12,40	107,76
0,79	0,661	51,46	18,16	45,87	1,58	0,969	27,76	12,38	110,16
0,80	0,672	50,42	17,86	46,17	1,60	0,970	27,64	12,37	112,61
0,81	0,683	49,44	17,57	46,30	1,62	0,972	27,53	12,35	115,12
0,82	0,693	48,51	17,31	46,84	1,64	0,973	27,42	12,33	117,62
0,83	0,703	47,62	17,06	47,20	1,66	0,974	27,31	12,32	120,17
0,84	0,713	46,78	16,82	47,57	1,68	0,975	27,21	12,30	122,76
0,85	0,723	45,97	16,60	47,97	1,70	0,977	27,12	12,29	125,41
0,86	0,732	45,21	16,39	48,38	1,72	0,978	27,03	12,27	128,04
0,87	0,741	44,48	16,19	48,81	1,74	0,979	26,94	12,26	130,75
0,88	0,750	43,78	16,00	49,25	1,76	0,800	26,86	12,25	133,50
0,89	0,758	43,12	15,82	49,71	1,78	0,980	26,78	12,24	136,24
0,90	0,766	42,48	15,66	50,19	1,80	0,981	26,70	12,23	139,05
0,91	0,774	41,87	15,50	50,68	1,82	0,982	26,63	12,22	141,85
0,92	0,782	41,30	15,35	51,18	1,84	0,983	26,56	12,21	144,78
0,93	0,789	40,74	15,21	51,50	1,86	0,983	26,49	12,20	147,65
0,94	0,796	40,21	15,07	52,24	1,88	0,984	26,43	12,19	150,60
0,95	0,803	39,70	14,95	52,78	1,90	0,985	26,37	12,18	153,54
0,96	0,809	39,22	14,82	53,35	1,92	0,985	26,31	12,18	156,53
0,97	0,816	38,75	14,72	53,92	1,94	0,986	26,25	12,17	159,56
0,98	0,822	38,31	14,60	54,52	1,96	0,987	26,19	12,16	162,60
0,99	0,828	37,88	14,50	55,12	1,98	0,987	26,14	12,16	165,75
1,00	0,833	37,47	14,40	55,74	2,00	0,988	26,09	12,15	168,89

Fonte: Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Tabela 19: Tabela de Marcus - Caso 5.

ly/lx	k _x	m _x	n _x	m _y	n _y	ly/lx	k _x	m _x	n _x	m _y	n _y
0,50	0,111	246,52	108,00	71,43	36,00	1,00	0,667	44,18	18,00	50,56	24,00
0,51	0,119	230,76	100,70	69,53	34,92	1,02	0,684	42,92	17,54	51,14	24,33
0,52	0,127	216,51	95,07	67,77	33,91	1,04	0,700	41,77	17,13	51,76	24,70
0,53	0,136	203,52	88,05	66,13	32,97	1,06	0,716	40,71	16,75	52,44	25,10
0,54	0,145	191,66	82,56	64,60	32,10	1,08	0,731	39,74	16,41	53,18	25,52
0,55	0,155	180,83	77,57	63,18	31,29	1,10	0,745	38,84	16,10	53,95	25,97
0,56	0,164	170,91	73,01	61,86	30,53	1,12	0,759	38,01	15,81	54,78	26,45
0,57	0,174	161,79	68,84	60,63	29,82	1,14	0,772	37,25	15,55	55,64	26,95
0,58	0,184	153,42	65,02	59,49	29,16	1,16	0,784	36,54	15,31	56,55	27,47
0,59	0,195	145,72	61,52	58,42	28,55	1,18	0,795	35,88	15,09	57,50	28,02
0,60	0,206	138,61	58,30	57,43	27,98	1,20	0,806	35,27	14,89	58,50	28,59
0,61	0,217	132,05	55,34	56,52	27,45	1,22	0,816	34,70	14,71	59,53	29,19
0,62	0,228	125,98	52,61	55,67	26,96	1,24	0,825	34,17	14,54	60,60	29,80
0,63	0,239	120,36	50,09	54,88	26,51	1,26	0,834	33,68	14,38	61,71	30,44
0,64	0,251	115,15	47,76	54,15	26,08	1,28	0,843	33,22	14,23	62,85	31,10
0,65	0,263	110,30	45,61	53,48	25,69	1,30	0,851	32,79	14,10	64,03	31,77
0,66	0,275	105,81	43,62	52,85	25,33	1,32	0,859	32,38	13,98	65,25	32,47
0,67	0,287	101,61	41,77	52,28	25,00	1,34	0,866	32,01	13,86	66,50	33,18
0,68	0,299	97,70	40,06	51,76	24,70	1,36	0,872	31,65	13,75	66,78	33,92
0,69	0,312	94,06	38,47	51,28	24,42	1,38	0,879	31,02	13,65	69,10	34,67
0,70	0,324	90,65	36,99	50,84	24,17	1,40	0,885	31,01	13,56	70,45	35,44
0,71	0,337	87,46	35,61	50,45	23,93	1,42	0,890	30,72	13,47	71,83	36,23
0,72	0,349	84,48	34,33	50,09	23,73	1,44	0,896	30,44	13,39	73,24	37,03
0,73	0,362	81,68	33,13	49,77	23,54	1,46	0,901	30,18	13,32	74,69	37,86
0,74	0,375	82,05	32,48	49,05	23,37	1,48	0,906	29,94	13,25	76,17	38,70
0,75	0,387	76,58	30,96	49,23	23,22	1,50	0,910	29,71	13,18	77,67	39,55
0,76	0,400	74,26	29,98	49,00	23,09	1,52	0,914	29,49	13,12	79,20	40,43
0,77	0,413	72,08	29,07	48,81	22,98	1,54	0,918	29,28	13,07	80,77	41,32
0,78	0,425	70,02	28,21	48,65	22,88	1,56	0,922	29,09	13,01	82,36	12,22
0,79	0,438	68,08	27,40	48,51	22,80	1,58	0,926	28,90	12,96	83,98	43,14
0,80	0,450	66,24	26,65	48,40	22,74	1,60	0,929	28,73	12,91	85,64	44,08
0,81	0,463	64,51	25,94	48,32	22,69	1,62	0,932	28,56	12,87	87,31	45,03
0,82	0,475	62,88	25,27	48,26	22,65	1,64	0,935	28,40	12,83	89,02	46,00
0,83	0,487	61,33	24,64	48,22	22,63	1,66	0,938	28,25	12,79	90,77	46,99
0,84	0,499	59,86	24,05	48,21	22,63	1,68	0,941	28,11	12,75	92,52	47,98
0,85	0,511	58,47	23,49	48,22	22,63	1,70	0,943	27,97	12,72	94,32	49,00
0,86	0,522	57,15	22,97	48,25	22,65	1,72	0,946	27,84	12,68	96,13	50,03
0,87	0,543	55,90	22,47	48,30	22,68	1,74	0,948	27,72	12,65	97,98	51,08
0,88	0,545	54,71	22,00	48,37	22,72	1,76	0,950	27,60	12,62	99,86	52,14
0,89	0,558	53,58	21,56	48,46	22,77	1,78	0,952	27,49	12,60	101,75	53,21
0,90	0,567	52,51	21,14	48,57	22,84	1,80	0,954	27,38	12,57	103,68	54,30
0,91	0,578	51,49	20,75	48,69	22,91	1,82	0,956	27,28	12,55	105,63	55,41
0,92	0,589	50,51	20,37	48,83	22,99	1,84	0,958	27,18	12,52	107,62	56,63
0,93	0,599	49,59	20,02	48,99	23,09	1,86	0,960	27,09	12,50	109,63	57,67
0,94	0,610	48,70	19,68	49,17	23,19	1,88	0,961	27,00	12,48	111,65	58,81
0,95	0,620	47,86	19,37	49,06	13,30	1,90	0,963	26,91	12,46	110,71	59,97
0,96	0,629	47,06	19,06	49,57	23,42	1,92	0,964	26,83	12,44	115,79	61,15
0,97	0,639	46,29	18,78	49,80	23,56	1,94	0,966	26,75	12,42	117,89	62,33
0,98	0,648	45,55	18,50	50,04	23,70	1,96	0,967	26,68	12,41	120,04	63,55
0,99	0,658	44,85	18,25	50,29	23,84	1,98	0,968	26,61	12,39	122,19	64,76
1,00	0,667	44,18	18,00	50,56	24,00	2,00	0,970	26,54	12,37	124,35	65,98

Fonte: Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

Tabela 20: Tabela de Marcus - Caso 6.

ly/lx	k _x	m _x	n _x	m _y	n _y	ly/lx	k _x	m _x	n _x	m _y	n _y
1,00	0,500	55,74	24,00	55,74	24,00	1,50	0,835	32,04	14,37	72,10	32,33
1,01	0,510	54,65	32,53	55,75	24,00	1,51	0,839	31,87	14,31	72,67	32,62
1,02	0,520	53,61	32,09	55,78	24,02	1,52	0,842	31,71	14,25	73,25	32,92
1,03	0,529	52,62	22,66	55,82	24,04	1,53	0,846	31,54	14,19	73,84	33,22
1,04	0,539	51,76	22,26	55,88	24,07	1,54	0,849	31,39	14,13	74,44	33,52
1,05	0,549	50,76	21,87	55,96	24,11	1,55	0,852	31,24	14,08	75,04	33,82
1,06	0,558	49,89	21,50	56,06	24,16	1,56	0,855	31,09	14,03	75,65	34,13
1,07	0,567	49,06	21,15	56,17	24,22	1,57	0,859	30,94	13,97	76,27	34,45
1,08	0,576	48,27	20,82	56,30	24,28	1,58	0,862	30,80	13,92	76,90	34,79
1,09	0,585	47,50	20,50	56,44	24,36	1,59	0,865	30,67	13,88	77,52	35,08
1,10	0,594	46,77	20,20	56,59	24,44	1,60	0,868	30,54	13,83	78,17	35,41
1,11	0,603	46,07	19,90	56,76	24,52	1,61	0,870	30,41	13,79	78,81	35,73
1,12	0,611	45,40	19,63	56,95	24,62	1,62	0,873	30,28	13,74	79,47	36,06
1,13	0,620	44,75	19,36	57,14	24,72	1,63	0,876	30,16	13,70	80,13	36,40
1,14	0,628	44,13	19,10	57,36	24,83	1,64	0,878	30,04	13,66	80,80	36,74
1,15	0,636	43,54	18,86	57,58	24,94	1,65	0,881	29,93	13,62	81,48	37,08
1,16	0,644	42,97	18,63	57,82	25,06	1,66	0,884	29,82	13,58	82,16	37,42
1,17	0,652	42,42	18,40	58,07	25,19	1,67	0,886	29,71	13,54	82,84	37,77
1,18	0,660	41,89	18,19	58,33	25,33	1,68	0,888	29,60	13,51	83,54	38,12
1,19	0,667	41,38	17,98	58,60	25,47	1,69	0,891	29,50	13,47	84,24	38,47
1,20	0,675	40,90	17,79	58,89	25,61	1,70	0,893	29,40	13,44	84,95	38,83
1,21	0,682	40,42	17,60	59,19	25,76	1,71	0,895	29,30	13,40	85,67	39,19
1,22	0,689	39,97	17,42	59,49	25,92	1,72	0,897	29,20	13,37	86,38	39,55
1,23	0,696	39,54	17,24	59,81	26,09	1,73	0,899	29,11	13,34	87,12	39,92
1,24	0,703	39,12	17,07	60,15	26,25	1,74	0,902	29,02	13,31	87,85	40,29
1,25	0,709	38,71	16,91	60,49	26,43	1,75	0,904	28,93	13,28	88,60	40,67
1,26	0,716	38,32	16,76	60,84	26,61	1,76	0,906	28,84	13,25	89,34	41,04
1,27	0,722	37,95	16,61	61,20	26,79	1,77	0,907	28,76	13,22	90,09	41,42
1,28	0,729	37,58	16,47	61,57	26,98	1,78	0,909	28,68	13,19	90,86	41,81
1,29	0,735	37,23	16,33	61,96	27,18	1,79	0,911	28,60	13,17	91,61	42,19
1,30	0,741	36,89	16,20	62,05	27,38	1,80	0,913	28,52	13,14	92,39	42,58
1,31	0,746	36,57	16,07	62,75	27,58	1,81	0,915	28,44	13,12	93,17	42,97
1,32	0,752	36,25	15,95	63,16	27,79	1,82	0,916	28,37	13,09	93,96	43,37
1,33	0,758	35,95	15,83	63,59	28,01	1,83	0,918	28,29	13,07	94,75	43,77
1,34	0,763	35,65	15,72	64,02	28,23	1,84	0,920	28,22	13,05	95,54	44,17
1,35	0,769	35,37	15,61	64,46	28,45	1,85	0,921	28,15	13,02	96,35	44,57
1,36	0,774	35,09	15,51	64,91	28,68	1,86	0,923	28,09	13,00	97,16	44,98
1,37	0,779	34,83	15,41	65,36	28,91	1,87	0,924	28,02	12,98	97,98	45,09
1,38	0,784	34,57	15,31	65,83	29,15	1,88	0,926	27,95	12,96	98,80	45,81
1,39	0,789	34,32	15,21	66,31	29,39	1,89	0,927	27,89	12,94	99,62	46,22
1,40	0,793	34,08	15,12	66,79	29,64	1,90	0,929	27,83	12,92	100,46	46,64
1,41	0,798	33,85	15,04	67,29	29,89	1,91	0,930	27,77	12,90	101,30	47,06
1,42	0,803	33,62	14,95	67,79	30,15	1,92	0,931	27,71	12,88	102,14	47,49
1,43	0,807	33,40	14,87	68,30	30,40	1,93	0,933	27,65	12,86	103,00	47,92
1,44	0,811	33,19	14,79	68,82	30,67	1,94	0,934	27,60	12,85	103,85	48,35
1,45	0,815	32,98	14,71	69,34	30,94	1,95	0,935	27,54	12,83	104,72	48,78
1,46	0,820	32,78	14,64	69,88	31,21	1,96	0,936	27,49	12,81	105,58	49,21
1,47	0,824	32,59	14,57	70,42	31,48	1,97	0,938	27,43	12,80	106,45	49,65
1,48	0,827	32,40	14,50	70,97	31,76	1,98	0,939	27,38	12,78	107,35	50,10
1,49	0,831	32,22	14,43	71,53	32,04	1,99	0,940	27,33	12,76	108,23	50,55
1,50	0,835	32,04	14,37	72,10	32,33	2,00	0,941	27,28	12,75	109,12	50,99

Fonte: Disponível em: <<http://www.profwillian.com/concreto/TabelasMarcus.pdf>>. Acesso em 15 de outubro de 2016.

ANEXO B – SOBRE ALTERNÂNCIA DE CARGAS ATRAVÉS DO EBERICK VERSÃO 8

Conforme pode ser constatado nas figuras a seguir, o *software* estrutural Eberick em sua versão 8 atualizado até a data de Fevereiro/2013, utilizada neste trabalho não conta com alternância de cargas de forma automática dentro do programa.

Figura 14: Tópico do guia de ajuda do Eberick V8 sobre classificação das ações.



Classificação das ações

No AltoQi Eberick, sem o Módulo Master, embora existam casos de carregamento definidos na interface (separação entre carga permanente e acidental), não há tal divisão para fins de cálculo. A carga acidental é aplicada nas lajes como carga uniformemente distribuída. Recomenda-se que esta não supere 20% da carga total (incluindo o peso próprio da estrutura), visto que **o Eberick não prevê alternância de cargas variáveis.**

Com o Módulo Master, a cada ação podem ser associados coeficientes de ponderação diferentes. É possível, a partir da configuração Ações, criar novos casos de carregamento à edificação, além das já existentes no programa.

As cargas que solicitam a estrutura são classificadas em dois tipos:

- **Permanentes:** correspondem àquelas que solicitam a estrutura ao longo de toda a sua vida útil.
- **Acidentais:** são aquelas que variam de acordo com o uso da edificação.

As ações definidas como "Acidental" podem ter coeficientes de combinação informados pelo usuário, utilizados de acordo com o tipo de combinação escolhida. São eles:

- **?0:** valor utilizado para a redução do valor da ação acidental quando não principal para a combinação, considerando baixa a probabilidade de ocorrência simultaneamente às demais ações acidentais;
- **?1:** fator de redução da ação para estado limite de serviço para combinações freqüentes;
- **?2:** fator de redução da ação para estado limite de serviço para combinações quase permanentes;

É possível configurar também coeficientes de ponderação das ações no estado limite último (ELU) para cada caso, incluindo o coeficiente para o caso favorável se a ação for "Permanente" (conforme definido no item 11.7.1 da NBR 6118:2003).

Fonte: Alto Qi, guia de ajuda do *software* Eberick V8.

Figura 15: Tópico do guia de ajuda do Eberick V8 sobre modelo de cálculo.

Modelo de cálculo

Os projetistas, há muito tempo, dividem a estrutura dos edifícios em partes para poder analisá-la. Na maioria das estruturas, é possível separar os pavimentos e aplicar as reações destes em vários pórticos planos ou em apenas um pórtico espacial que represente a estrutura para se calcular os efeitos das cargas verticais e horizontais, bem como a estabilidade global do edifício.

A sistemática na qual se baseia o sistema é a de modelar a estrutura através de um *pórtico espacial* composto pelas vigas e pilares da edificação. Neste processo, os elementos são representados por *barras* ligadas umas às outras por *nós*. Cada pilar e cada trecho de viga são compostos por barras do pórtico, de onde são obtidos os esforços solicitantes para o dimensionamento. Os painéis de lajes são calculados de forma independente do pórtico.

O cálculo da estrutura é feito da seguinte forma:

- os painéis de lajes são montados e calculados, de acordo com o processo que estiver configurado;
- as reações das lajes são transmitidas às vigas onde estas se apoiam;
- é montado o pórtico espacial da estrutura, recebendo o carregamento calculado pelas lajes;
- o pórtico é processado e os esforços solicitantes são utilizados para o detalhamento dos elementos estruturais.

A análise estrutural é feita pelo método matricial da rigidez direta, cujo objetivo é determinar os efeitos das ações na estrutura para que possam ser feitas as verificações dos estados limites últimos e de utilização. Os resultados da análise, basicamente, são os deslocamentos nodais, os esforços internos e as reações nos vínculos de apoio.

As condições de equilíbrio da estrutura (para o modelo com geometria indeformada) devem ser garantidas pelo usuário, uma vez que o sistema não gera solução para estruturas hipostáticas. O Eberick executa para o modelo uma análise estática linear de primeira ordem, o que significa:

- O sistema considera que os materiais tenham comportamento físico elástico linear para todos os pontos da estrutura, isto é, supõe que em nenhum ponto sejam ultrapassados os limites de proporcionalidade do material para tensões em serviço.
- O sistema não leva em conta ações variáveis com o tempo, decorrente de vibrações, sismos, etc.
- O sistema analisa apenas uma hipótese de carga, ficando portanto restrito aos casos em que a alternância de cargas variáveis pode ser considerada desprezível. De modo geral, isto ocorre nas edificações nas quais as cargas variáveis representem no máximo 20% do valor da carga total do edifício.
- O sistema não leva em conta a variação da estrutura devida às ações na determinação dos resultados dos deslocamentos e dos esforços. Os deslocamentos obtidos, em um primeiro cálculo, a partir das ações modificam a geometria inicial da estrutura. O efeito das ações, que permanecem atuando nesta estrutura deformada, iria alterar novamente todos os esforços internos, inclusive os deslocamentos. Este efeito é conhecido como efeito de 2ª ordem, se acontecerem variações superiores a 10% nos valores dos esforços internos este efeito passa a ser importante e não deve ser desprezado. Nestes casos, a interação entre as cargas normais e os momentos fletores pode ser importante.
- Para o modelo de estrutura deformada, o equilíbrio deverá ser verificado por um processo de estabilidade global que avalie os efeitos de segunda ordem, que podem surgir na estrutura devido a deslocamentos horizontais que alterem de maneira significativa os esforços internos. O processo de verificação utilizado pelo Eberick é simplificado, baseado na norma NBR 6118:2003. Caso o coeficiente Gama-Z seja superior ao valor limite, a estrutura pode ser considerada deslocável.

Fonte: Alto Qi, guia de ajuda do *software* Eberick V8.