



UNIVERSIDADE TIRADENTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALOIZIO PETRONILO DE SANTANA JÚNIOR
MANFRINE CRUZ LIMA
MAYK MENEZES REIS

**LAJES: ESFORÇOS, DIMENSIONAMENTO E FLECHAS. ESTUDO DE CASO
DAS TABELAS DE MARCUS, BARES E CZERNY X EBERICK**

Aracaju/SE
2018

ALOIZIO PETRONILO DE SANTANA JÚNIOR
MANFRINE CRUZ LIMA
MAYK MENEZES REIS

**LAJES: ESFORÇOS, DIMENSIONAMENTO E FLECHAS. ESTUDO DE CASO
DAS TABELAS DE MARCUS, BARES E CZERNY X EBERICK**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado a Universidade Tiradentes
como requisito parcial para a obtenção do
título de Bacharel (a) em Engenharia Civil,
sob a orientação do Prof. M.e - Diego Faro.

Aracaju/SE
2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

ALOIZIO PETRONILO DE SANTANA JÚNIOR
MANFRINE CRUZ LIMA
MAYK MENEZES REIS

LAJES: ESFORÇOS, DIMENSIONAMENTO E FLECHAS. ESTUDO DE CASO DAS TABELAS DE MARCUS, BARES E CZERNY X EBERICK

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Civil, da Universidade Tiradentes, defendido e aprovado em ___de_____ de 2018, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. M.e -Diego Faro
Orientador
Universidade Tiradentes

Prof. M.a - Raquel Alves Cabral Silva
Universidade Tiradentes

Prof. M.e - Robson Rabelo de Santana
Universidade Tiradentes

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, familiares e amigos, pelo apoio e incentivo nas horas difíceis, compreensão pela ausência em diversas ocasiões, que se mostraram de suma importância durante essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, por ter nos abençoado sempre, a ele toda a honra e glória.

A Universidade Tiradentes, por todos os recursos e estrutura que nos ofereceu todos esses anos, e pelo ensino de qualidade que resultou em um trabalho bem feito.

Ao nosso professor orientador, pelos ensinamentos e direcionamento que culminaram neste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho analisou as diversas formas de dimensionamento de lajes, visando identificar as diferenças nos resultados obtidos, realizando comparações e ilustrando quais os métodos mais conservadores e econômicos. O trabalho é composto por um estudo de caso, onde foram dimensionadas quatro lajes através dos métodos de Marcus, Bares, Czerny e Analogia de Grelha calculada pelo software Eberick V10, o dimensionamento foi realizado para o estado limite último e a verificação no estado limite de serviço, com o objetivo de identificar excesso de fissuração e deslocamento na estrutura, em nenhuma das verificações o momento de fissuração foi menor que o momento atuante nas lajes e as flechas obtidas estão dentro do limite de deslocamento máximo estabelecido por norma. Observou-se que entre as comparações dos momentos fletores positivos e negativos o método de cálculo de Analogia de Grelha retornaram valores superiores em todas as lajes. Na análise dos demais métodos verificou-se pouca variação entre os momentos. Para o presente estudo a análise de custo entre os diferentes métodos apresentou variações entre o Eberick e Marcus de 24%, entre o Eberick e Bares de 22% e em comparação a Czerny 36%. A variação entre Marcus e Bares foi de 2%. Nas reações direcionadas as vigas, percebe-se que as que estão localizadas no maior lado da laje, o método de Bares apresenta os maiores valores, sendo que os menores valores são obtidos pelo método de Marcus. Quando analisadas as reações que estão localizadas no menor lado da laje, Marcus apresenta os maiores valores. O estudo explanado demonstrou que os métodos de cálculos feitos pelas tabelas de Marcus, Bares e Czerny, são eficientes por não apresentarem valores discrepantes e possibilita a percepção da necessidade de recorrer, sempre que possível, a métodos onde são feitas menos simplificações na análise da estrutura como visto no método de Analogia de Grelha.

Palavras-chave: Métodos de dimensionamento de lajes, tabelas para dimensionamento, comparações entre métodos, Bares, Marcus, Czerny, Eberick.

ABSTRACT

The present work has been analyzed as several ways of designing slabs, aiming to identify the differences in terms of results, making comparisons and illustrating which are the most conservative and economical methods. The work is done by a case study, where the four lajeturas were measured by the methods of Marcus, Bars, Czerny and Grid Analogy by the software Eberick V10, the design was carried out for the validity state and the selection in the limit state of service with the lowest number of deviations and deviations in the actions and reference arrows, the lowest recording regularization factor and the lowest interest rates. Observations that compared the positive and negative moments to the method of calculation of the Great Britain Analogy obtained higher values in all the slabs. In the analysis of the other methods a variation between the moments was verified. For the study of a cost analysis between different types of indicators between Eberick and Marcus of 24%, between Eberick and Bars of 22% and compared with a Chernese 36%. The selection between Marcus and Bars was 2%. The twists are the beams, it is perceived as the ones that are closest to the world, the method of Bars with the highest values, the smaller ones being considered by the Marcus method. When analyzed as Reactions that are present at the same level as Marcus presents the highest values. The explanatory study has demonstrated the procedures of the charts for the Marcus, Bars and Czerny, are existing by discrepant presented values and allows the perception of democracy to resort, whenever possible, unless it is less in the analysis of the structure as seen in method of Grid Analogy.

Keywords: Scaffolding methods, tables for sizing, comparisons between methods, Bars, Marcus, Czerny, Eberick.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio.	20
Figura 2- Valores dos coeficientes γ_c e γ_s	33
Figura 3- Peso de alguns matérias de construção que são comuns.....	34
Figura 4- Vinculação	36
Figura 5 - Planta de projeto.....	41
Figura 6 - Cargas	42
Figura 7- Planta de projeto Laje L1	42
Figura 8- Momentos sem a compatibilização por Marcus.....	44
Figura 9- Momentos com a compatibilização por Marcus.....	45
Figura 10- Momentos sem a compatibilização por Bares	45
Figura 11- Momentos com a compatibilização por Bares	46
Figura 12- Momentos com a compatibilização por Czerny	47
Figura 13- Momentos com a compatibilização por Czerny	48
Figura 14-Valores	54
Figura 15-Valores	55
Figura 16 – Áreas em m ² de contribuição para cálculo de reações verticais na laje 1.	55
Figura 17- Pórtico em visão 3D (Eberick V10).....	56
Figura 18- Grelha para o cálculo dos momentos fletores. (Eberick V10).....	57
Figura 19- Comparação de momentos L1	59
Figura 20- Comparação de momentos L2.	60
Figura 21- Comparação de momentos L3.	60
Figura 22- Comparação de momentos L4.	61
Figura 23- Comparação de reações L1.....	63
Figura 24- Comparação de reações L2.....	63
Figura 25- Comparação de reações L3.....	64
Figura 26- Comparação de reações L4.....	64
Figura 27- Comparação de flechas.	65
Figura 28- Custo em reais, peso de aço em kg.	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de análise	30
Tabela 2- Peso de alguns matérias de construção que são comuns	34
Tabela 3-Dados de Czerny	50
Tabela 4- Momentos positivos KNm/m.....	58
Tabela 5- Momentos negativos KNm/m.	58
Tabela 6- Variação de momentos entre o Eberick e a tabela de Marcus.....	58
Tabela 7- Variação de momentos entre o Eberick e a tabela de Bares.	59
Tabela 8- Variação de momentos entre o Eberick e a tabela de Czerny.	59
Tabela 9- Reações de apoio para a tabela de Marcus KNm.	61
Tabela 10- Reações de apoio para a tabela de Bares KNm.....	62
Tabela 11- Reações de apoio para a divisão de áreas KNm.....	62
Tabela 12- Reações de apoio para o Eberick KNm.....	62
Tabela 13- Variação em % das reações Eberick e Marcus	62
Tabela 14- Variação em % das reações Eberick e Bares.....	62
Tabela 15- Variação em % das reações Eberick e Czerny.....	63
Tabela 16- Flecha em cm.....	65
Tabela 17- Área de aço para tabela de Marcus.....	65
Tabela 18- Área de aço para tabela de Bares.	66
Tabela 19- Área de aço para tabela de Czerny	66
Tabela 20- Área de aço para o Eberick.....	66
Tabela 21- Peso de aço em kg	66

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

NBR - Norma Brasileira;

F_c - Resistência a compressão;

F_{ck} - Resistência característica do concreto a compressão;

F_{yk} - Resistência característica de escoamento do aço;

F_{cm} - Resistência média do concreto a compressão;

F_{ctk} - Resistência característica do concreto a tração;

F_{ctd} - Resistência de cálculo do concreto ao cisalhamento;

γ_c - Coeficiente de ponderação de resistência para o concreto;

γ_s - Coeficiente de ponderação de resistência para o aço;

E_{ci} - Módulo de elasticidade inicial;

E_{cs} - Módulo de elasticidade secante;

ELS - Estado limite de serviço;

ELU - Estado limite último;

M - Momento fletor;

M_d - Momento solicitante de cálculo;

A_s - Área de aço;

M_r - Momento de fissuração;

M_{x+} - Momento positivo na direção x;

M_{y+} - Momento positivo na direção y;

M_{x-} - Momento positivo na direção x;

M_{y-} - Momento positivo na direção y;

M_{bx-} - Momento negativo na direção x;

M_{by-} - Momento negativo na direção y;

α_i - Flecha imediata;

a_f - Flecha deferida;

a_t - Flecha total;

q_x - Reação vertical na direção x;

q_y - Reação vertical na direção y;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVOS GERAIS	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	CONCRETO	17
3.1.1	Composição	17
3.1.2	Traço	17
3.1.3	Consistência	17
3.1.4	Adensamento	18
3.1.5	Pega	18
3.1.6	Cura	19
3.1.7	Resistencia a compressão	19
3.1.8	Resistencia a tração	20
3.1.9	Módulo de elasticidade	20
3.2	CONCRETO ARMADO	21
3.2.1	Informações preliminares	21
3.2.2	Vantagens e desvantagens do concreto armado	22
3.3	AÇO	23
3.3.1	Elasticidade	23
3.3.2	Ductibilidade	23
3.3.3	Fragilidade	24
3.4	FLUÊNCIA E DURABILIDADE	24
3.4.1	Fluência	24
3.4.2	Permeabilidade	24
3.5	LAJES	25
3.5.1	Tipos de lajes	26
3.5.2	Cobrimento	26
3.5.3	Reações de Apoio	27
3.5.4	Direção de armação das lajes	27

3.6	MÉTODOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL	27
3.6.1	Análise linear	28
3.6.2	Análise linear com distribuição	28
3.6.3	Análise plástica	29
3.6.4	Análise não linear	29
3.6.5	Análise através de modelos físicos	30
3.7	TIPOS DE DIMENSIONAMENTOS.....	30
3.7.1	Método das grelhas	30
3.7.2	Método da analogia da grelha equivalente.....	31
3.7.3	Método dos elementos finitos	31
3.7.4	Método elástico.....	31
3.8	ESTADO LIMITE ÚLTIMO E DE SERVIÇO.....	32
3.8.1	Estado limite último.....	32
3.8.2	Estado limite de serviço (ELS)	33
3.9	CARGAS PERMANENTES E VARIÁVEIS	34
3.9.1	Cargas permanentes	34
3.9.2	Cargas Variáveis	35
3.10	TABELA DE MARCUS	35
3.11	TABELA DE BARES.....	35
3.12	TABELAS DE CZERNY	36
3.13	EBERICK.....	37
3.14	PROCESSO DAS ÁREAS	38
4	METODOLOGIA	40
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	40
4.2	PLANEJAMENTO DA PESQUISA.....	40
4.2.1	Obtenção e avaliação dos dados.....	40
4.2.2	Estudo de Caso	40
5	CÁLCULOS	42
5.1	CÁLCULO DOS MOMENTOS FLETORES MÁXIMOS.	42
5.2	LAJE L01	42
5.2.1	Momentos fletores máximos utilizando o método de Marcus	43
5.2.2	Momentos fletores máximos utilizando o método de Bares.....	43
5.2.3	Momentos fletores máximos utilizando o método de Czerny.....	43

5.3	COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS MARCUS	44
5.3.1	Laje L01 com L02	44
5.4	COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS BARES	46
5.4.1	Laje L01 com L02	46
5.5	COMPATIBILIZAÇÃO DOS MOMENTOS CZERNY	47
5.5.1	Laje L1 com L2	47
5.6	ÁREA DE AÇO MARCUS.....	48
5.6.1	Área de aço para laje L01	48
5.7	ÁREA DE AÇO BARES	49
5.7.1	Área de aço para laje L01	49
5.8	ÁREA DE AÇO CZERNY	50
5.8.1	Área de aço com momentos obtidos através do método de Czerny.....	50
	Na tabela 3, encontra-se os valores que foram utilizados para este cálculo.	50
5.8.2	Cálculos auxiliares	50
5.8.3	Área de aço para laje L01	51
5.9	DETERMINAÇÃO DAS FLECHAS	53
5.9.1	Determinação do momento de fissuração	53
5.9.2	Flecha imediata para a tabela de bares	53
5.9.3	Flecha Deferida	53
5.9.4	Flecha total	54
5.9.5	Flecha limite.....	54
5.9.6	Flecha imediata para a tabela de Czerny	54
5.9.7	Flecha total	54
5.9.8	Flecha limite.....	54
5.10	REAÇÕES POR MARCUS DA LAJE L01	54
5.11	REAÇÕES POR BARES DA LAJE L01	55
5.12	REAÇÃO VERTICAL PELO PROCESSO DAS ÁREAS DA LAJE L01	55
5.13	ANALOGIA DE GRELHA SOFTWARE ÉBERICK V10	56
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
7	CONCLUSÃO	68
8	REFERÊNCIAS.....	70
	ANEXOS.....	72

1 INTRODUÇÃO

O dimensionamento de lajes maciças feitas em concreto armado, antes do advento e do avanço da tecnologia voltada a produção de softwares de cálculo estrutural, eram feitos majoritariamente, por tabelas desenvolvidas por estudiosos da área voltada a engenharia, com o intuito de facilitar e padronizar o dimensionamento dos elementos estruturais, possibilitando, desta forma, identificar padrões de comportamento nas estruturas permitindo ao engenheiro prever deficiências e saná-las ainda na fase de desenvolvimento do projeto estrutural.

O uso de métodos simplificados por meio de tabelas como as de Marcus, Bares e Czerny, percebem as lajes como elementos isolados apoiados em vigas indeformáveis, onde as composições dos pórticos, compostos por diversas lajes, são vistos de maneira simplificadas, desprezando algumas interações entre as lajes, balanceado pela compatibilização dos momentos fletores negativos e correções nos momentos fletores positivos das lajes. Dessa forma, visando sanar deficiências provocadas pela análise simplificada, foram desenvolvidos softwares para a análise estrutural objetivando identificar o comportamento da estrutura de forma integrada, buscando a maior proximidade com o comportamento da estrutura na realidade.

Observa-se que, existem diversos métodos de cálculos para se chegar a um dimensionamento estrutural, sendo que, cada método fornecerá valores finais diferentes. Dessa forma, no presente trabalho, desenvolveu-se a comparação e a análise dos resultados obtidos pelos métodos de Marcus, Bares, Czerny e Analogia de Grelha (resultados obtidos pelo software Eberick V10), objetivando verificar a variação dos momentos fletores para cada método e seu impacto no custo da obra no tocante a construção da laje.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Verificar a variação dos resultados dos momentos fletores obtidos pelos métodos de cálculos de Marcus, Bares, Czerny e Analogia de Grelha (resultados obtidos pelo software Eberick V10), bem como determinar o impacto no custo da obra na escolha dos métodos.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar os momentos fletores máximos pelos diferentes métodos de cálculo escolhidos para esse trabalho.
- Calcular a área de aço necessária para resistir aos momentos solicitados.
- Buscar um padrão e verificar a variação dos resultados de um método para o outro.
- Verificar o custo de construção por cada método.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Concreto

O concreto é uma rocha artificial que pode ser moldada em loco ou pré-moldada, além de assumir diversas formas geométricas devido a sua consistência mole enquanto está fresco; é composto por uma mistura de agregados, água e cimento podendo receber também doses de aditivos responsáveis por gerar características específicas ao concreto. (LEONHARDT e MÖNNIG, 1977).

3.1.1 Composição

O cimento é o aglomerante responsável por dar liga ao concreto e é obtido através do aquecimento do calcário e argila a temperaturas elevadas até a formação do clínquer, que após ser moído e receber algumas adições específicas formam o cimento comercializado. Os agregados utilizados na produção do concreto podem ser obtidos de origem natural ou artificial, dentre os mais utilizados em concretos convencionais estão a areia e cascalho de origem natural e a brita e areia de britagem de origem industrial, os demais, geralmente são utilizados para a confecção de concretos com características especiais como concretos leves e pesados. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2004).

3.1.2 Traço

As características de cada concreto são definidas durante a elaboração do seu traço, que é a proporção exata de cada material que vai compor o mesmo, a sua qualidade deve ser garantida através do uso de materiais de qualidade e estudos para determinar a quantidade mínima de cimento, para garantir à resistência e proteção a armadura quando armado. (LEONHARDT e MÖNNIG, 1977).

3.1.3 Consistência

Uma característica importante a ser verificada em um concreto é a sua consistência, possibilitando classificar a sua qualidade e aplicabilidade para

determinados tipos de obras, os concretos com menor consistência geralmente são empregados em peças estruturais com maior concentração de armaduras, facilitando desta forma a penetração do material em todos os vazios, quando não houver a necessidade de concreto muito fluido é aconselhável utilizar uma consistência maior garantindo, portanto menor quantidade de água e maior qualidade do material. A metodologia para medição da consistência do concreto é através do ensaio de slump, que mede a deformação vertical do material após desforma de um tronco cônico metálico normatizado pela ABNT NBR NM 67:1998. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2004).

3.1.4 Adensamento

Após a verificação do slump inicia-se o lançamento do material nas formas, e para que todos os espaços sejam preenchidos é necessário realizar o adensamento, este procedimento expulsa o ar garantindo que o concreto fique mais homogêneo e adira melhor nas armaduras. Nos concretos convencionais este procedimento pode ser realizado manualmente ou através de vibradores, obedecendo ao tempo correto de aplicação, visto que um prazo curto pode ocasionar a formação de espaços vazios e a vibração por um tempo maior pode gerar a segregação dos agregados, diminuindo a qualidade do concreto na estrutura. (BAUER, 1994).

3.1.5 Pega

De acordo com Bauer (1994), a pega do concreto pode ser definida como o processo de enrijecimento do material, diminuindo a consistência e portando a sua trabalhabilidade, por estes motivos precisa ser determinada como orientação do tempo disponível para manuseio do concreto, que deve permanecer em repouso após o início da pega. A determinação do tempo de início e fim de pega deve ser feita através de ensaio em laboratório, com o auxílio da agulha de vicat, como determina a NBR NM 65 (2002).

3.1.6 Cura

Logo após o início da pega, ocorre a hidratação do cimento com certa velocidade, liberando uma grande quantidade de calor que contribui com a evaporação da água de amassamento, a perda de umidade pode gerar uma diminuição no volume de concreto e conseqüentemente tensões na peça concretada, essas tensões podem causar fissuração e perda de resistência, para evitar esse tipo de problema deve ser realizado o procedimento de cura que consiste em manter a umidade do concreto evitando, portanto a perda da água destinada a hidratação dos grãos de cimento, a cura pode ser realizada de diversas maneiras, sendo a mais comum a aplicação direta de água nas peças ou formas de concreto, outro procedimento utilizado é a cura a vapor que utiliza o vapor de água para manter a umidade da peça concretada e também uma temperatura elevada, contribuindo com o ganho de resistência nos primeiros dias. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2004).

3.1.7 Resistência a compressão

A resistência a compressão do concreto é considerada a característica mais importante do material, visto que é usualmente empregado para resistir a esse tipo de esforço, para medir a resistência a compressão também chamada de f_c , é possível moldar corpos de prova e medir a tensão de ruptura através de uma prensa hidráulica, este ensaio deve seguir rigorosamente as recomendações presentes na NBR 5738, (2015) que trata da moldagem de corpos de prova e da NBR 5739 que trata do ensaio de compressão. (PINHEIRO, 2007).

Segundo a NBR 5738, (2015), os corpos de prova podem ter forma prismática ou cilíndrica devendo, portanto, o último conter altura igual ao dobro do diâmetro e o diâmetro deve ser de 10 cm, 15 cm, 20 cm, 25 cm, 30 cm ou 45 cm. Para corpos de prova prismáticos a determina que suas dimensões devem seguir a tabela na figura 1.

Figura 1 - Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio.

Dimensão básica mm	Comprimento mínimo mm	Vão de ensaio ^a mm
100	350	300
150	500	450
250	800	750
450	1400	1350

Fonte: NBR 5738, (2015)

Segundo Pinheiro a NBR 8953, (2015), define a resistência do concreto pelo f_{ck} (Resistência característica a compressão aos 28 dias) e pode ser definida pela expressão abaixo:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,65s$$

O valor f_{cm} é a média aritmética dos valores de f_c para o conjunto de corpos-de-prova ensaiados e o desvio-padrão corresponde à distância entre a abscissa de f_{cm} e a do ponto de inflexão da curva (PINHEIRO, 2007, pg. 2.2).

3.1.8 Resistência a tração

A resistência à tração do concreto pode ser calculada através da mesma metodologia utilizada na resistência à compressão, diferenciando-se apenas o ensaio de resistência a tração que pode ser realizado de três maneiras: tração direta, compressão diametral e tração na flexão, devendo-se calcular a resistência média do concreto a tração f_{ctm} e a resistência característica do concreto a tração f_{ctk} . (PINHEIRO, 2007). As fórmulas são encontradas na NBR 6118 (2014), onde é explicitada abaixo.

$$f_{ctk} = 0,21 * \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

$$f_{ctd} = \frac{0,21 * \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

3.1.9 Módulo de elasticidade

Segundo Pinheiro, o módulo de elasticidade pode ser obtido através da relação tensão deformação do material, aplicando os valores na fórmula a seguir:

$$\delta = E\varepsilon$$

Sendo:

$\delta = Tensão$

$\varepsilon = Deformação$

$E = Módulo de elasticidade$

Porém quando não existe um estudo mais aprofundado sobre o concreto utilizado, é permitido estimar o módulo de elasticidade do concreto aos 28 dias através da expressão seguinte:

$$E_{ci} = 5600f_{ck}^{1/2}$$

Para análises elásticas e verificação de estruturas no estado limite de serviço, o módulo de elasticidade secante deve ser obtido através da seguinte expressão:

$$E_{cs} = 0,85E_{ci}$$

$\nu = Coeficiente de Poisson$

Quando uma força é aplicada a uma estrutura de concreto, esta se deforma no sentido da força e no sentido transversal, a relação entre essas duas deformações é chamada de coeficiente de Poisson. (PINHEIRO, 2007).

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, item 8.2.9, para tensões de compressão menores que $0,5f_c$ e tensões de tração menores que f_{ct} , o coeficiente de Poisson ν pode ser tomado como igual a 0,2 ($\nu = 0,2$) e módulo de elasticidade transversal G_c igual a $0,4E_{cs}$. (CARVALHO e FIGUEIREDO, 2004, pg 42). A relação entre ν, E e G , dar-se pela equação $E = 2G(1 + \nu)$.

3.2 Concreto armado

3.2.1 Informações preliminares

Segundo Leonhardt (1977), entende-se por concreto armado o concreto que apresenta no seu corpo moldado barras de aço, onde a relação concreto e armadura de aço é viabilizada pela aderência do cimento e os efeitos da natureza mecânica. Essa ação conjunta possibilita a eficiência da estrutura construída em concreto armado pois um elemento completa o outro em sua deficiência. Como bem assegura Bastos (2006), o concreto é um material que apresenta sua resistência a tensões de compressão alta, mas de contrapartida, sua resistência a tração é relativamente baixa, chegando a ser cerca de 10% da sua resistência a compressão,

dessa forma, necessitando de um material com alta resistência a tração para sanar essa deficiência. O aço vem como solução por apresentar uma resistência a tração formidável.

3.2.2 Vantagens e desvantagens do concreto armado

Todo material de construção criado ou aperfeiçoado apresenta suas vantagens e desvantagens. Carvalho (2004), nos traz como vantagens:

- a) Alta resistência a maioria das solicitações que possa existir na estrutura;
- b) Apresenta uma boa trabalhabilidade, podendo, dessa forma, ser moldada em diversas formas, dando liberdade para ser escolhida a forma mais conveniente do ponto de vista estrutural ao projetista;
- c) As técnicas de construção são bem difundidas em todo o país;
- d) Em termos econômicos são bem competitivas em relação a estrutura de aços em certas situações;
- e) Tem uma expectativa de vida longa, desde que, seja bem executado seguindo as normas;
- f) Apresenta resistência a choques e vibrações, efeitos térmicos e desgastes mecânicos;

As desvantagens apresentadas são:

- a) Resulta em elementos com dimensões superiores que as estruturas em aço. Dessa forma, por causa do seu peso específico elevado ($\gamma = 25 \text{ KN}/\text{m}^3$) acarreta em um peso próprio muito grande;
- b) Adaptações e reformas na estrutura, muitas vezes, apresenta dificuldades;
- c) Por ser um bom transmissor de calor e som, às vezes, necessitam de associações com outros elementos isolantes para sanar a deficiência;
- d) Existe a necessidade da utilização de formas e escoras que precisão permanecer no local até o concreto adquirir resistência adequada;

3.3 Aço

O estudioso Pfeil (2010), instrui que o aço é um dos materiais metálicos mais usuais na construção civil, lado a lado, com o ferro fundido e o ferro forjado, mesmo assim, ainda são as mais importantes dos três. O aço tem como características intrínsecas constantes físicas em temperaturas atmosféricas normais, dessa forma, apresentando módulo de deformação longitudinal de 200.000 Mpa.

Segundo Leonhardt (1977), O aço que é utilizado em peças de concreto armado é usualmente chamado de “aço para concreto”, que se destacam por apresentar como qualidade o seu limite de escoamento, sua resistência a tração e alongamento de ruptura. Os elementos unitários do aço são denominados “barras” ou “malhas”.

3.3.1 Elasticidade

Diz respeito a capacidade de um material voltar a sua forma original depois de ser submetido a sucessivas etapas de carregamento e descarregamento. Como nos assegura Dias (1997), a elasticidade como característica do aço, comporta-se, depois de sofrer solicitações de tração e compressão, de maneira elástica ou plástica por causa da sua natureza cristalina e a existência de planos de deslizamento no seu interior. Na deformação de natureza elástica o aço tem como característica a reversibilidade, pois entorna as suas dimensões iniciais depois que a tensão é removida.

3.3.2 Ductibilidade

O aço apresenta também como característica a ductilidade, explicando Dias (1997), como a capacidade do aço em sofrer deformações plásticas distribuindo suas tensões, depois de submetido a solicitações locais elevadas. Dessa forma, a característica dúctil do aço permite a atuação de mecanismos de rupturas que vem acompanhados com deformações significativas que possibilita o aviso de cargas elevadas na estrutura.

3.3.3 Fragilidade

Como exposto por Pfeil (2010), a fragilidade é o oposto da ductilidade. O autor explana que os aços podem torna-se frágeis por diversos fatores como temperaturas baixas. Um material frágil rompe-se bruscamente, não permitindo uma detecção prévia, causando, diversas vezes, acidentes.

3.4 Fluência e durabilidade

3.4.1 Fluência

De acordo com Pinheiro (2007), quando é aplicada uma força obtém uma deformação, essa deformação origina-se em uma acomodação de cristais, cristais estes que reduzem a área capilar aumentando a pressão capilar na água. Quando a área do diâmetro capilar e o acréscimo do fluxo aumenta ganha um alto nível de tensão superficial dando a ser a fluência. Segundo Mehta (1994), a retração por secagem e fluência oriundo do cimento saturado, sendo uma pasta não tem uma estabilidade em sua dimensão quando são colocadas em evidencia a ambientes úmidos, abaixo da repleção em suas causas, objetivando-se perca d'agua, então existe esses tipos de fluência;

- a) Fluência básica: o aumento na deformação de acordo com o tempo e aumento sob um nível de constante tensão denomina-se fluência básica;
- b) Fluência por secagem: o que sucede uma peça quando é submetido a uma carga onde está secando é denominada de fluência por secagem;
- c) Fluência específica: alteração da fluência com relação a umidade da tensão aplicada denomina-se fluência específica;
- d) Coeficiente de fluência: está ligada diretamente na deformação por fluência e a elástica.

3.4.2 Permeabilidade

Segundo Mehta (1994), os tipos de permeabilidade são:

a) Permeabilidade

A água tem uma importância enorme no concreto, pois é um ingrediente de extrema relevância para as reações e hidratação no cimento e também dando plasticidade nas misturas do concreto.

b) Permeabilidade da pasta de cimento

O tamanho dos poros durante o seu processo de hidratação controla o coeficiente de permeabilidade, sendo uma pasta que endurece com o cimento, sendo que a água adicionada responsável pela permeabilidade da pasta de cimento.

c) Permeabilidade dos agregados

A permeabilidade dos agregados é menor que a pasta de cimento, onde os coeficientes de permeabilidade variam com os coeficientes de pasta endurecida de cimento com relação água/cimento.

d) Permeabilidade do concreto

Comparando a permeabilidade da pasta de cimento, argamassa ou concreto com relação ao fator água/cimento, deve se apresentar com grau de permeabilidade menor. Por durabilidade do concreto, em relação a outras solicitações que não sejam as produzidas pelas cargas, entende-se entre outras: - impermeabilidade; -resistência ao congelamento; -resistência aos ataques químicos; resistência contra-ataques mecânicos. (Leonhardt. 1977).

3.5 Lajes

Lajes são elementos planos, em geral horizontais, com duas dimensões muito maiores que a terceira, sendo esta denominada espessura. A principal função das lajes é receber os carregamentos atuantes nos andares, provenientes do uso da construção (pessoas, móveis e equipamentos), e transferi-los para os apoios. (PINHEIRO, 2003, p. 103).

De acordo com a NBR 6118, 2014. A prescrição de valores limite mínimos para as dimensões de elementos estruturais de concreto tem como objetivo evitar um desempenho inaceitável para os elementos estruturais e propiciar condições de execução adequadas.

3.5.1 Tipos de lajes

- a) Lajes tipo cogumelo: De acordo com Carvalho (2009). As lajes referentes a de Cogumelo são realizadas em cima de capitei, já as que não são cogumelos (lisas) são aplicadas em pilares sem o auxílio de capiteis.
- b) Lajes nervuradas: Araújo (2003). são usadas para a execução de grandes vãos, propiciando para que ganhe muito mais espaço e reduzindo o número de pilares, são constituídas por nervuras que são cabaças e são colocadas as armaduras. As lajes nervuradas também são constituídas de uma e/ou de duas direções.
- c) Lajes pré-fabricados: Define-se como laje pré-fabricada ou pré-moldada a laje que tem suas partes constituintes fabricadas em escala industrial no canteiro de uma fábrica. Pode ser de concreto armado ou de concreto protendido. (BASTOS, 2015. p. 75).
- d) Lajes maciças: as lajes maciças são fabricadas no local da obra, sua estrutura é composta por vergalhões soldados ou de aço solto.

Nas lajes maciças devem ser respeitados os seguintes limites mínimos para a espessura, segundo a NBR 6118 (2014):

Espessuras mínimas das lajes:

- a) 7 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- e) 12 cm para lajes com protensão apoiadas em vigas, com no mínimo de $\frac{l}{42}$ para lajes de piso biapoiadas e $\frac{l}{50}$ para lajes de piso contínuas;
- f) 15 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

3.5.2 Cobrimento

O cobrimento mínimo de cabos em relação à face de aberturas nas lajes deve ser de 7,5 cm. NBR 6118 (2014). Na figura em anexo 01, relata a classe de agressividade ambiental.

3.5.3 Reações de Apoio

As ações atuantes nas lajes são transferidas para as vigas de apoio. Embora essa transferência aconteça com as lajes em comportamento elástico, o procedimento de cálculo proposto pela NBR 6118 (2014), baseia-se no comportamento em regime plástico, a partir da posição aproximada das linhas de plastificação, também denominadas charneiras plásticas. Segundo, Bastos (2015) de modo geral são três tipos de apoio das lajes: paredes de alvenaria ou de concreto, vigas ou pilares de concreto. Dentre eles, as vigas nas bordas são o tipo de apoio mais comuns nas construções.

3.5.4 Direção de armação das lajes

De acordo com Leonhardt (1977). As lajes podem ser armadas em uma e em duas direções:

a) Lajes armada em um sentido:

As lajes em que são armadas em uma dimensão é maior que a outra sendo quase o dobro, será armada em direção menor do lado, quer dizer que em uma laje essa laje é armada em uma direção do menor vão.

b) Lajes armada em dois sentidos:

O cálculo de uma laje armada em duas direções, ou sendo em cruz pelo método de Marcus cujo é mais interessante de ser aplicado. Pelo método de Bares o l_x é sempre o menor lado e o l_y é sempre o maior vão independentemente se está na horizontal ou na vertical, e pelo de Marcus será necessário conferir se os mesmos estão engastados, apoiados ou livres, de acordo com a tabela.

3.6 Métodos de análise estrutural

A análise estrutural tem como objetivo determinar os esforços e deslocamentos de uma estrutura levando em consideração os carregamentos aplicados, materiais, vinculações, etc. (FONTES e PINHEIRO, 2003).

Segundo a NBR 6118 (2014), a análise estrutural poderá ser realizada pelos seguintes métodos:

- a) Análise linear
- b) Análise linear com redistribuição
- c) Análise Plástica
- d) Análise não linear
- e) Análise através de modelos físicos

Sendo estes diferenciados pelo comportamento dos materiais utilizados e redistribuição dos esforços na estrutura de concreto.

3.6.1 Análise linear

Segundo Fontes e Pinheiro (2003). Este método de análise considera o uso de materiais elástico-lineares, ou seja, sua relação entre tensão e deformação é linear e pode ser obtida através do módulo de elasticidade (E). Para simplificar os cálculos é permitido o uso da inércia da seção bruta da peça e em caso de determinação de esforços e verificação para o estado limite de serviço deve ser utilizado o módulo de elasticidade secante (E_{cs}).

Embora a análise linear seja mais empregada para verificações no ELS, a NBR 6118, (2014), autoriza a sua utilização no ELU, desde que esteja garantida a ductilidade mínima dos elementos estruturais.

3.6.2 Análise linear com redistribuição

O autor citado acima afirma que, neste tipo de análise ocorre à redistribuição dos esforços devido a alteração da rigidez da peça analisada, esta alteração pode ser provocada pela classificação da estrutura no estágio II onde ocorre a formação de fissuras e conseqüente mudança dos esforços para regiões mais rígidas.

Devido à redistribuição se faz necessário realizar novos cálculos pra esforços, condições de ancoragem, cortante, etc., garantindo desta forma a manutenção do equilíbrio da estrutura. A NBR 6118 também orienta que a verificação para o ELS deve ser realizada preferencialmente sem a redistribuição dos esforços prevalecendo, portanto, a análise linear. (NBR 6118, 2014).

3.6.3 Análise plástica

Durante a aplicação dos carregamentos na estrutura, pode haver a formação de deformações residuais denominada de plasticidade, descreve o estudioso Fontes e Pinheiro (2003). Dentre as teorias que permitem deformações permanentes no concreto armado, estão a teoria de rótulas plásticas para elementos lineares e teoria das charneiras plásticas em elementos como placas. A atuação destes carregamentos leva ao escoamento do aço nos pontos mais críticos, onde estão localizados os momentos máximos originando rótulas plásticas.

O carregamento limite determinado pela análise plástica é obtido através da carga mínima capaz de gerar rótulas plásticas, ou seja, a formação de um mecanismo de colapso. A NBR 6118 (2014), determina que a análise plástica deve ser utilizada apenas para verificações no ELU.

3.6.4 Análise não linear

Este tipo de análise acontece quando a relação tensão deformação de um material não é uma constante e é empregado geralmente em conjunto com a análise linear, devido à simplificação do processo e resultados próximos aos reais. (FONTES e PINHEIRO, 2003).

O autor ainda complementa que a análise exclusivamente linear ainda não é muito utilizada, pois necessita de grandes processamentos computacionais, este método leva em consideração toda a geometria e armadura utilizada na estrutura, portanto ao final de cada etapa do dimensionamento onde são determinados novos esforços e armaduras, se faz necessário dimensionar a estrutura com estes novos parâmetros, até que a armadura obtida seja relativamente próxima a anterior.

Este método pode ser utilizado para análise no ELU e ELS, dimensionando as peças fletidas no estágio III através da aplicação de coeficientes de segurança, já as verificações para o ELS são realizadas para estrutura no estágio I e II, pois são levadas em consideração as áreas fissuradas e não fissuradas da estrutura analisada, descreve o estudioso acima.

3.6.5 Análise através de modelos físicos

Este procedimento deve ser utilizado quando os demais são insuficientes e deve obrigatoriamente obter resultados para o ELU e ELS. A análise é realizada através de ensaios com modelos físicos e os resultados obtidos devem possuir um embasamento teórico, além de adotar coeficientes de segurança compatíveis com a estrutura analisada. (FONTES e PINHEIRO, 2003).

Este procedimento também não é muito utilizado, pois apresenta elevada complexidade durante a realização dos ensaios em laboratório e elevado custo financeiro. (NBR 6118, 2014).

A tabela 1 abaixo construída por Fontes relaciona os tipos de análise estrutural presentes na NBR 6118 com o tipo de verificação possível para cada uma delas.

Tabela 1 - Tipos de análise

Análise	Verificação
Linear	ELU* e ELS
Linear com Redistribuição	ELU* e ELS
Plástica	ELU
Não-Linear	ELU e ELS
Através de Modelos Físicos	ELU e ELS

*se garantida a ductilidade dos elementos estruturais

Fonte: Fontes, (2003)

3.7 Tipos de dimensionamentos

Encontra-se disponível em livros, diversos tipos de dimensionamento que servem como alicerces no desenvolvimento de um projeto estrutural. Cada tipo de dimensionamento tem suas vantagens e desvantagens, além de, possibilitar a escolha do melhor método para transpor os desafios e problemas proposto por cada tipo de situação que possa ser exigida ao engenheiro.

3.7.1 Método das grelhas

Temos dentre outras opções o método das Grelhas, conforme nos ensina Araújo (2003), admitindo que a estrutura da laje vai comporta-se de maneira elástico

linear. Esse método apresenta uma estrutura de cálculo simplificada, mas bastante útil em dimensionamento de peças em concreto armado.

3.7.2 Método da analogia da grelha equivalente

Como assegura Carvalho (2010), método da Analogia da Grelha Equivalente foi utilizado inicialmente por Marcus no cálculo de placas com bordo indeslocáveis. No método da grelha equivalente a laje é analisada do ponto de vista de uma grelha o procedimento consiste em substituir a laje por uma malha equivalente de vigas, sendo um dos métodos mais explorados por softwares utilizando métodos numéricos na análise das lajes construídas em concreto armado.

3.7.3 Método dos elementos finitos

No método dos Elementos Finitos também descrito por Carvalho (2004) subdivide-se a placa em elementos com dimensões finitas ligadas por pontos nodais, onde estará presente nessas conexões a compatibilidade de deslocamentos e esforços.

3.7.4 Método elástico

O método elástico usualmente chamado de clássico ou linear é também conhecido como teoria das placas delgadas ou, até mesmo, pela de Kirchhoff, nos explica Carvalho e Figueiredo Filho (2004), esse método está baseado em equações de equilíbrio de um elemento infinitesimal de placa e nas relações de compatibilidade das deformações dos mesmos. Encontra-se viabilizando os métodos baseados na teoria da elasticidade sendo utilizado em estrutura de placas, na NBR 6118:2014 item 14.7.3, estabelecendo valores de módulo de elasticidade, sendo neste caso o da secante. Em sequência descreve que o resultado de uma análise elástica é normalmente utilizado na verificação do estado limite de serviço.

3.8 Estado limite último e de serviço

3.8.1 Estado limite último

De modo tradicional, a ruptura das peças de Concreto estrutural é caracterizada pela ruptura do concreto, que tenha havido ou não o escoamento prévio de suas armaduras (FUSCO. 1977).

Segundo a NBR 6118 (2014), a segurança do concreto tem que ser analisada no estado limite último:

- a) estado-limite de perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido as solicitações normais e tangencias, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica e admitindo-se em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangencias; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta norma;
- c) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas;
- e) estado-limite último de colapso progressivo;
- f) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme NBR 15200;
- g) estado-limite último esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a NBR 15421;
- h) outros estado-limite último que eventualmente possam em casos especiais.

A NBR 6118 (2014) tem a seguintes combinações de Ações do Estado Limite Último, na figura 2, encontra-se os coeficientes de concreto e do aço γ_c e γ_s ,

as combinações dos coeficientes de ações $\gamma_f = \gamma_{f1} * \gamma_{f2}$ no anexo 02, coeficientes γ_{f2} anexo 03, combinações últimas anexo 04 e combinações de estados limites último anexo 05.

f) Normal: ações aviáveis consideradas como a principal:

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon g} + [G_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qij}] + \gamma_{\varepsilon g} \Psi_{0c} F_{\varepsilon qk}$$

F_d -Valor de cálculo das ações diretas;

F_{gk} -Ações diretas permanentes;

$F_{\varepsilon k}$ -Ações indiretas permanentes e $F_{\varepsilon gk}$ variáveis como a temperatura;

F_{qk} -Ações variáveis diretas, onde F_{q1k} é a escolhida principal;

$\gamma_g, \gamma_{\varepsilon g}, \gamma_q, \gamma_{\varepsilon}$ -

g) Excepcional:

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon g} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \Psi_{0j} F_{qik} + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0c} F_{\varepsilon qk}$$

h) Especial ou de construção:

$$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} * F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \Psi_{0j} F_{qik}) + \gamma_{\varepsilon q} \Psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$$

Figura 2- Valores dos coeficientes γ_c e γ_s .

Combinações	Concreto γ_c	Aço γ_s
Normais	1,4	1,15
Especiais ou de construção	1,2	1,15
Excepcionais	1,2	1,0

Fonte: NRB 6118 (2014)

3.8.2 Estado limite de serviço (ELS)

Segundo a NBR 6118 (2014). O estado Limite de Serviço está diretamente ligado a durabilidade e ao conforto, do carregamento a ser suportado pela sua estrutura.

Quase Permanentes: $\gamma_{f2} = \Psi_2$

Frequentes: $\gamma_{f2} = \Psi_1$

Raras: $\gamma_{f2} = 1$

3.9 Cargas permanentes e variáveis

3.9.1 Cargas permanentes

Segundo a NBR 6120 (2017), são cargas que que tem pouca variação de cargas diante sua edificação, com ações constantes e que não variam, conforme tabela 2 e na figura 3.

Tabela 2- Peso de alguns matérias de construção que são comuns

Matérias de Construção	Peso por Unidade de Área/Volume
Concreto armado	150 pcf (25 KN/m ³)
Teto de placas acústicas	1 psf (47,88 Pa)
Teto suspenso	2 psf (95,76 Pa)
Reboco em Concreto	5 psf (239,40 Pa)
Telhas Asfálticas	2 psf (95,76 Pa)
Cobertura Pronta 3 Camadas (3-Ply)	1 psf (47,88 Pa)
Passagem de Dutos Mecânicos	4 psf (191,52 Pa)

Fonte: McCormac (2009)

Figura 3- Peso de alguns matérias de construção que são comuns

Material		Peso específico aparente γ_{ap} (KN/m ³)
Argamassas e Concreto	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23
	Argamassa de gesso	12 a 18
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto Simples	24
	Concreto armado	25
Obs.: pesos específicos de argamassa e concretos são válidos para o estado endurecido.		

Fonte: McCormac (2009)

3.9.2 Cargas Variáveis

A NBR 6120 (2017), valores que atuam de maneira variada ao longo do tempo, onde são realizadas pela ocupação parcial ou por um período de tempo não sendo fixa.

3.10 Tabela de Marcus

Marcus no desenvolvimento de seus cálculos e compilação de suas tabelas para simplificação do dimensionamento utiliza o método das grelhas, afirma Araújo (2003). Com o desenvolvimento dos cálculos, obtém-se de acordo com o mesmo autor, a espessura da laje, a armadura positiva que está locada no meio do vão e a armadura negativa situados nos apoios intermediários. A tabela de Marcus só é aplicável somente em lajes armadas em duas direções, sendo necessário para lajes em uma só direção a análise da laje como um conjunto de vigas paralelas. No presente trabalho não se fez necessário cálculos para lajes de uma direção. As tabelas de Marcus estão localizadas no anexo 7 deste trabalho.

3.11 Tabela de Bares

Na apresentação de seus estudos Bares desenvolveu uma solução em séries resolvendo as equações utilizando princípios da elasticidade. Como instrui Carvalho e Figueiredo (2004), o processo de desenvolvimento de seus estudos produziu tabelas, conhecidas usualmente como tabela de Bares, para calcular os momentos exercidos nas lajes. Para a aplicação da tabela faz-se necessário a observação das vinculações presentes na laje sempre considerando a indeformabilidade das vigas, onde estão locadas as lajes.

Carvalho e Figueiredo (2004), também acrescenta que as tabelas de bares foram devidamente adaptadas para o coeficiente de Poisson igual a 0,20 determinados na NBR 6118 (2014). As vinculações possíveis estão demonstradas na figura 4. O lado representado por linhas simples determina um bordo apoiado e o lado onde apresenta ranhuras indica a presença de um bordo engastado.

Figura 4- Vinculação

Caso	Vinculação	Caso	Vinculação	Caso	Vinculação
1		2A		2B	
	Quatro bordas simplesmente apoiadas		Uma borda menor engastada		Uma borda maior engastada
3		4A		4B	
	Duas bordas adjacentes engastadas		Duas bordas menores engastadas		Duas bordas maiores engastadas
5A		5B		6	
	Uma borda maior apoiada		Uma borda menor apoiada		Quatro bordas engastadas

Fonte: Pinheiro (2007)

As tabelas de Bares estão localizadas no anexo 8 deste trabalho.

3.12 Tabelas de Czerny

As tabelas desenvolvidas por Czerny e publicadas no volume I do Beton-Kalender (1976), se baseiam na teoria da elasticidade e empregam o método das grelhas com a aplicação de coeficientes de correção, são utilizadas para determinar os esforços de lajes retangulares, onde todos os bordos estão apoiados e o carregamento é uniformemente distribuído. (Borja, 2016).

O uso desta tabela é muito disseminado pelo mundo e facilita bastante a obtenção de momentos positivos e negativos de lajes.

As tabelas de Czerny foram desenvolvidas utilizando o coeficiente de Poisson de valor $\nu = 0$, porém a NBR 6118 (2014), determina que para estruturas de concreto armado, o coeficiente de Poisson deverá ser obrigatoriamente igual a $\nu = 0,20$, portanto a tabela precisou ser adaptada para a sua utilização no Brasil. (Pinheiro, 1988).

Segundo Pinheiro (1988), a mudança no valor do coeficiente de Poisson gera alterações nos momentos, flecha e reações de apoio, isso acontece, pois quando

o coeficiente é aumentado como no caso da tabela de Czerny, a placa se torna mais rígida diminuindo as deformações e aumentando momentos.

As equações abaixo são utilizadas para determinação de momento fletor e flecha através do método de Czerny.

$$m_x = \frac{p l x^2}{\alpha_x} \quad m_y = \frac{p l x^2}{\alpha_y}$$

$$m_{bx} = -\frac{p l x^2}{\beta_x} \quad m_{by} = -\frac{p l x^2}{\beta_y}$$

$$a = \frac{p l x^4}{E_c h^3 \alpha_a}$$

Onde:

m_x - momento fletor positivo na direção x;

m_y - momento fletor positivo na direção y;

m_{bx} - momento fletor negativo na direção x;

m_{by} - momento fletor negativo na direção y;

p - carga uniformemente distribuída em toda laje;

l_x - menor vão da laje;

α_x - coeficiente para definição do momento fletor positivo na direção x;

α_y - coeficiente para definição do momento fletor positivo na direção y;

β_x - coeficiente para definição do momento fletor negativo na direção x;

β_y - coeficiente para definição do momento fletor negativo na direção y;

a - flecha máxima da laje;

E_c - módulo de elasticidade secante do concreto (E_{cs});

h - espessura da laje;

α_a - coeficiente para definição da flecha;

As tabelas de Czerny estão localizadas no anexo 9 deste trabalho.

3.13 Eberick

O Software eberick tem a finalidade de produzir projetos estruturais de peças de concreto armado, possibilitando o dimensionamento, modelagem 3d, criação de pranchas e compatibilização com os demais projetos. Os seus métodos de dimensionamento atendem as normas brasileiras no ELU (Estado limite ultimo), ELS (Estado limite de serviço) e garantem a comodidade de quem o utiliza gerando

memorial de cálculos, projetos de formas, detalhamento de armadura, resumo de materiais utilizados, entre outros. (AltoQI, 2018).

Este software faz parte da plataforma BIM (Building Information Modeling), que tem como objetivo facilitar e integrar os projetos de diferentes áreas de atuação implementando a representação 3D do projeto, possibilidade de inserir custos, resistência, materiais, etc. Com a plataforma BIM é possível que o projetista estrutural realize seus projetos com menores problemas de compatibilidade, pois é possível fazer alterações em tempo real e comparações visando a existência de conflitos entre projetos, anulando desta forma a necessidade de contato pessoal entre os projetistas. (AltoQI, 2018).

Segundo Mariano (2015), o lançamento da estrutura é realizado por pavimento e os pilares e vigas são representados por barras unidas por nós, formando um pórtico espacial que será utilizado para determinação dos esforços e deslocamentos, as lajes são calculadas de maneira independente.

O eberick usualmente utiliza o método de analogia de grelhas para dimensionamento das lajes, onde toda a estrutura forma uma grelha plana considerando a rigidez real das peças, porém existe a possibilidade de configurar o programa para dimensionar as lajes através do método de grelhas isoladas, que é um processo simplificado e está sujeito a maiores alterações nos resultados obtidos. (Mariano, 2015).

3.14 Processo das áreas

Segundo a NBR 6118 (2014), as reações de apoio provenientes de lajes maciças retangulares com carregamento uniforme, podem ser obtidas através do método das áreas, onde a laje é dividida em triângulos e trapézios através das charneiras plásticas, sendo as reações equivalentes ao carregamento de cada área delimitada. A divisão pode ser realizada traçando retas a partir dos vértices da laje com ângulo de 45° entre apoios do mesmo tipo, 60° entre um apoio engastado e outro apoiado e 90° quando existir bordo livre.

Pinheiro (2007), explica que os valores das reações podem ser calculados após a obtenção das áreas através das fórmulas abaixo:

$$v_x = \frac{P \cdot A_x}{l_y} \quad v'_x = \frac{P \cdot A'_x}{l_y}$$

$$v_y = \frac{P \cdot A_y}{l_x} \quad v'_y = \frac{P \cdot A'_y}{l_x}$$

Onde:

P – Carregamento total;

l_x e l_y – menor e maior vão da laje;

V_x e V'_x – Reações de apoio na direção l_x ;

V_y e V'_y – Reações de apoio na direção l_y ;

A_x , A'_x , A_y , A'_y – Áreas correspondentes aos apoios;

' – sinal indicativo de borda engastada;

4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da pesquisa

O presente trabalho classifica-se como uma pesquisa teórica com estudo de caso onde desenvolve-se o estudo da aplicação teórica em um caso definido para obter os resultados.

4.2 Planejamento da pesquisa

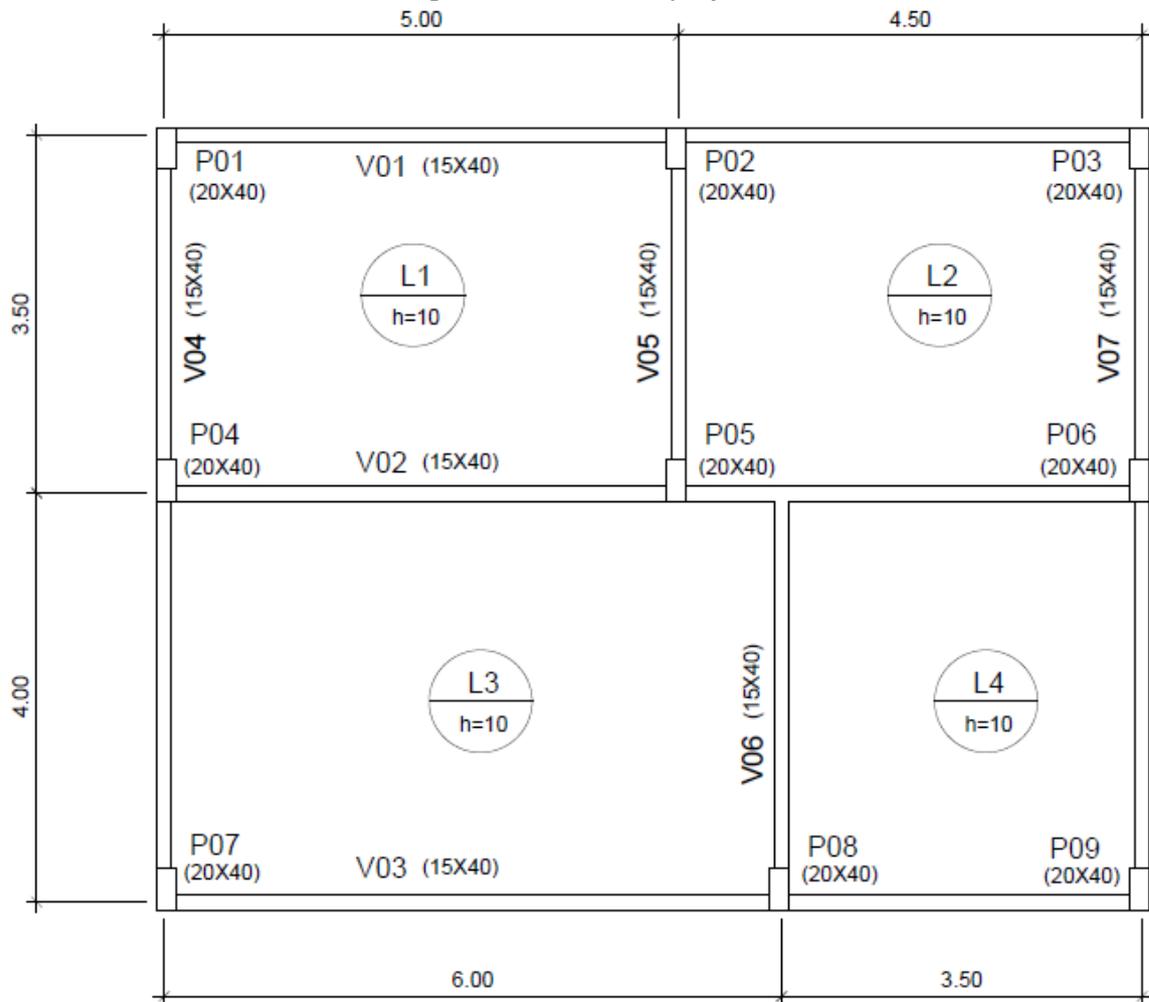
4.2.1 Obtenção e avaliação dos dados

Por meio de pesquisa bibliográfica adquiriu-se as informações relevantes quanto ao estudo dos métodos utilizados nesse trabalho sendo eles os métodos de Marcus, Bares, Czerny e Analogia de Grelha. Dessa forma, tornou-se viável a realização dos cálculos no pórtico pré-definido pelos métodos simplificados de Marcus, Bares e Czerny que percebem as lajes como elementos isolados apoiados em vigas indeformáveis e pelo método de Analogia de Grelha que interpreta o comportamento da estrutura de forma integrada. Por fim analisou-se os resultados encontrados para cada um dos métodos.

4.2.2 Estudo de Caso

Para a realização dos cálculos utilizando os métodos já abordados definiu-se um projeto estrutural de um pavimento com quatro lajes retangulares com os parâmetros como mostra a figura 5, a seguir:

Figura 5 - Planta de projeto



Fonte: Próprio autor, (2018)

5 CÁLCULOS

5.1 Cálculo dos momentos fletores máximos.

Parâmetros para cálculos: para todas as lajes utilizaram-se a altura de 10 cm e 2 cm de cobrimento, as cargas solicitadas as lajes encontram-se na figura 6:

Figura 6 - Cargas

δ gesso	δ contra-Piso	δ sobrecarga	δ acidental	δ peso prp.	δ total
0,25 kN/m ²	1,05 KN/m ²	1,40 KN/m ²	1,50 KN/m ²	2,50 KN/m ²	6,70 KN/m ²

Fonte: Próprio autor (2018)

$$\delta_{gesso} = 12,5 * 0,02 = 0,25KN/m^2$$

$$\delta_{cont,piso} = 24 * 0,0436 = 1,05KN/m^2$$

$$\delta_{sobrecarga} = 1,4 KN/m^2$$

$$\delta_{acidental} = 1,50KN/m^2$$

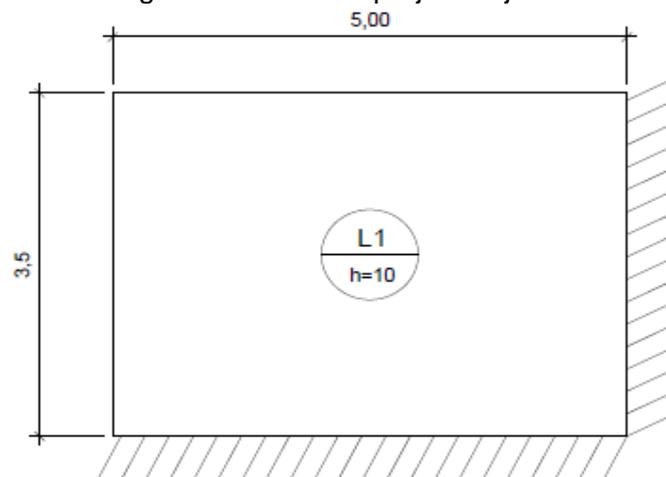
$$\delta_{peso\ próprio} = 0,1 * 25 = 2,50KN/m^2$$

$$\delta_{total} = 6,70KN/m^2$$

Para todos os cálculos feitos nesse estudo de caso, representou-se somente os da laje 01, representado na figura 7, sendo as demais de forma análoga.

5.2 Laje L01

Figura 7- Planta de projeto Laje L1



Fonte: Próprio autor, (2018)

5.2.1 Momentos fletores máximos utilizando o método de Marcus

$$\frac{ly}{lx} = \frac{5,0}{3,5} = 1,43$$

$$\frac{L}{l} = \frac{5,0}{3,5} = 1,43 < 2 \rightarrow 2 \text{ direções}$$

$$\bullet M_{x+} = \frac{qlx^2}{mx} = \frac{6,70 * 3,5^2}{21,62} = M_{x+} = 3,80 \text{ KN.m/m}$$

$$\bullet M_{y+} = \frac{qlx^2}{mx} = \frac{6,70 * 3,5^2}{44,21} = M_{y+} = 1,86 \text{ KN.m/m}$$

$$\bullet M_{x-} = \frac{-qlx^2}{mx} = \frac{-6,70 * 3,5^2}{9,91} = M_{x-} = -8,28 \text{ KN.m/m}$$

$$\bullet M_{y-} = \frac{-qlx^2}{mx} = \frac{-6,70 * 3,5^2}{20,97} = M_{y-} = -3,91 \text{ KN.m/m}$$

5.2.2 Momentos fletores máximos utilizando o método de Bares

$$\frac{Ly}{lx} = \frac{5,0}{3,5} = 1,43$$

$$\bullet M_{x+} = \mu \frac{P * lx^2}{100} = 4,58 * \frac{6,7 * 3,5^2}{100} = 3,76 \text{ KN.m/m}$$

$$\bullet M_{y+} = \mu \frac{P * lx^2}{100} = 2,32 * \frac{6,7 * 3,5^2}{100} = 1,9 \text{ KN.m/m}$$

$$\bullet M_{x-} = \mu \frac{P * lx^2}{100} = -10,17 * \frac{6,7 * 3,5^2}{100} = -8,35 \text{ KN.m/m}$$

$$\bullet M_{y-} = \mu \frac{P * lx^2}{100} = -8,0 * \frac{6,7 * 3,5^2}{100} = -6,57 \text{ KN.m/m}$$

5.2.3 Momentos fletores máximos utilizando o método de Czerny

$$M_x = \frac{p * lx^2}{\alpha x} = \frac{6,70 * 3,5^2}{21,4} = 3,84 \text{ KN.m/m}$$

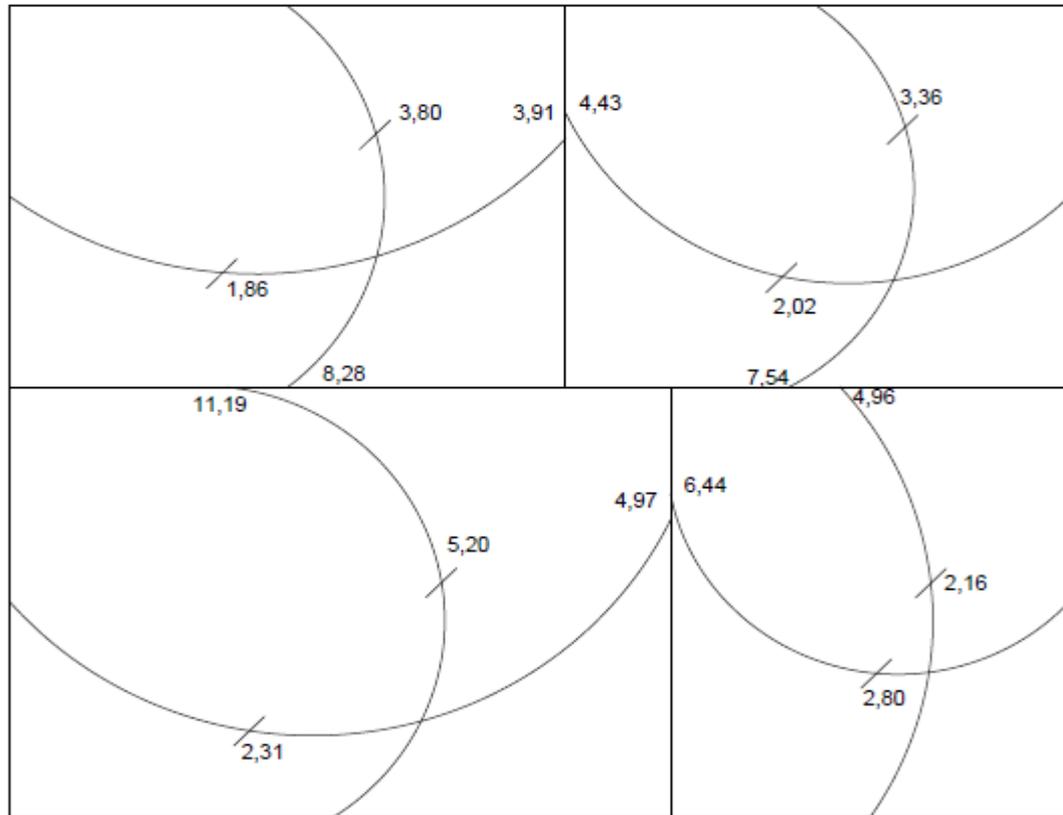
$$M_{bx} = -\frac{p * lx^2}{\beta x} = \frac{6,70 * 3,5^2}{9,8} = -8,38 \text{ KN.m/m}$$

$$M_y = \frac{p * lx^2}{\alpha y} = \frac{6,70 * 3,5^2}{39,1} = 2,10 \text{ KN.m/m}$$

$$M_{by} = -\frac{p * lx^2}{\beta y} = \frac{6,70 * 3,5^2}{12,5} = -6,57 \text{ KN.m/m}$$

Feitos os cálculos dos momentos fletores máximos representou-se graficamente na figura.

Figura 8- Momentos sem a compatibilização por Marcus



Fonte: Próprio autor, (2018)

5.3 Compatibilização dos momentos Marcus

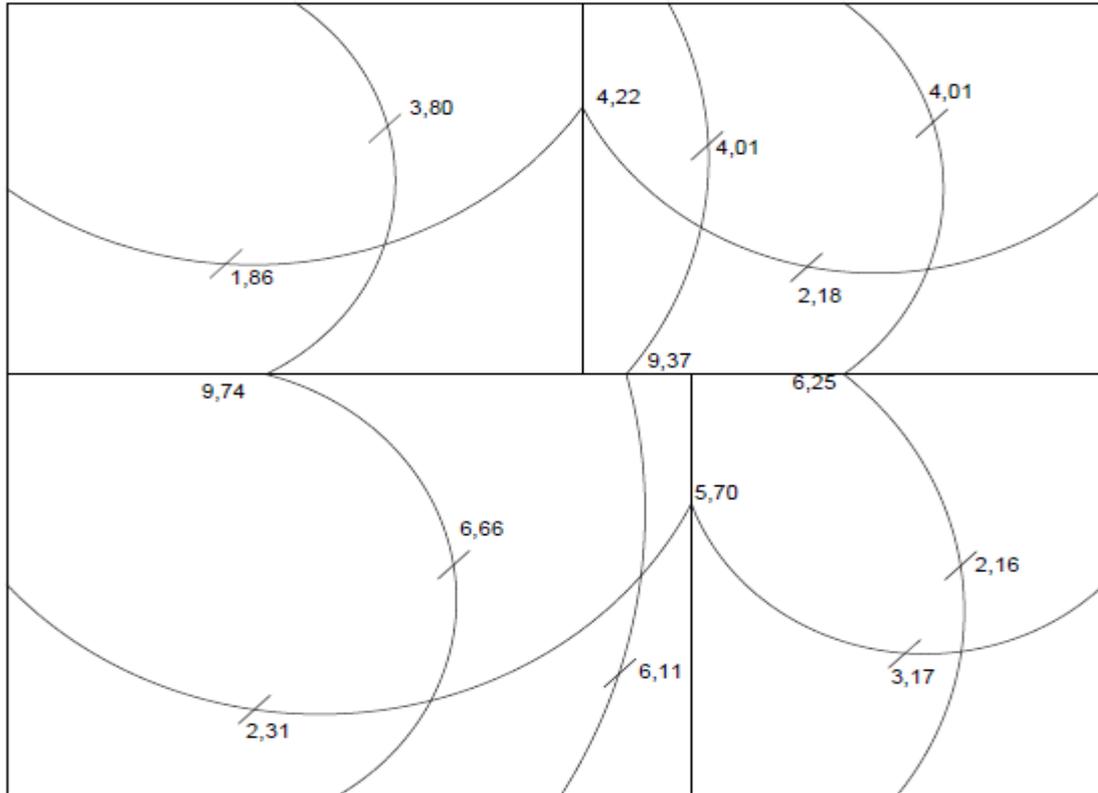
5.3.1 Laje L01 com L02

$$M- \geq \begin{cases} \bullet 0,8 * 4,53 = 3,62 \text{ KN.m/m} \\ \bullet \frac{4,53 + 3,91}{2} = 4,22 \text{ KN.m/m} \end{cases}$$

$$M + \text{Corrigido} = 2,02 + \left(\frac{4,53 - 4,22}{2} \right) = 2,18 \text{ KN.m/m}$$

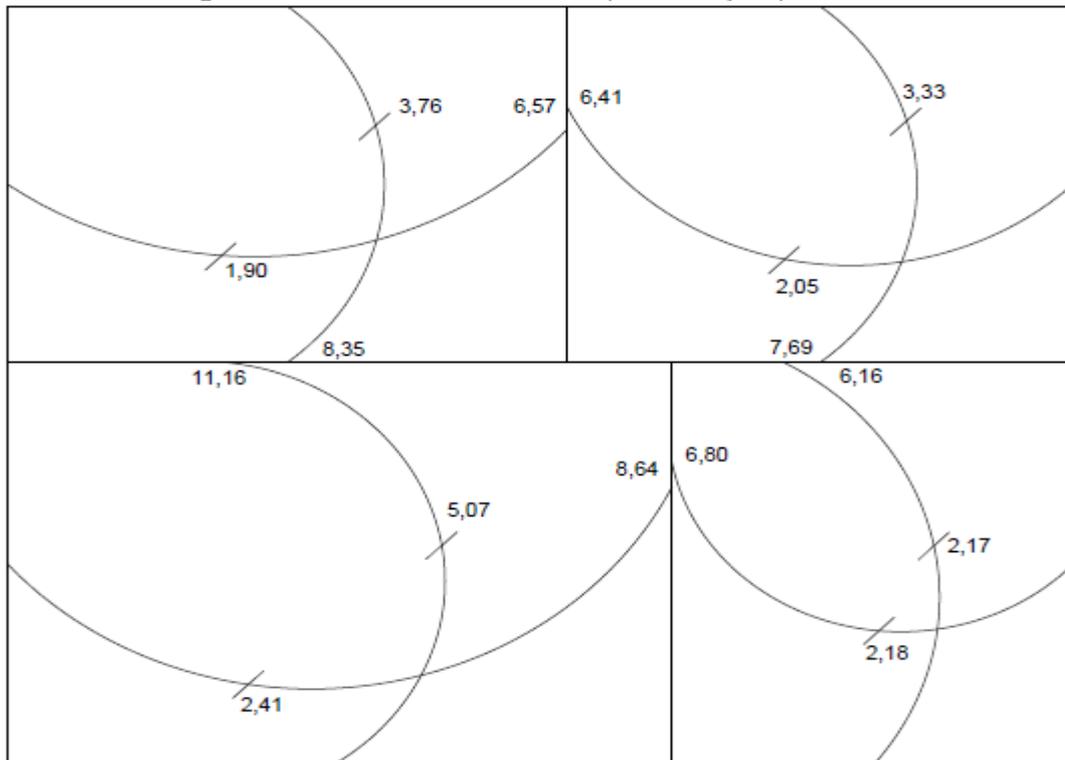
Na figura 8 existe o momento pelo método de Marcus sem a compatibilização, e na figura 9 com a compatibilização dos momentos.

Figura 9- Momentos com a compatibilização por Marcus



Fonte: Próprio autor, (2018)

Figura 10- Momentos sem a compatibilização por Bares



Fonte: Próprio autor, (2018)

5.4 Compatibilização dos momentos Bares

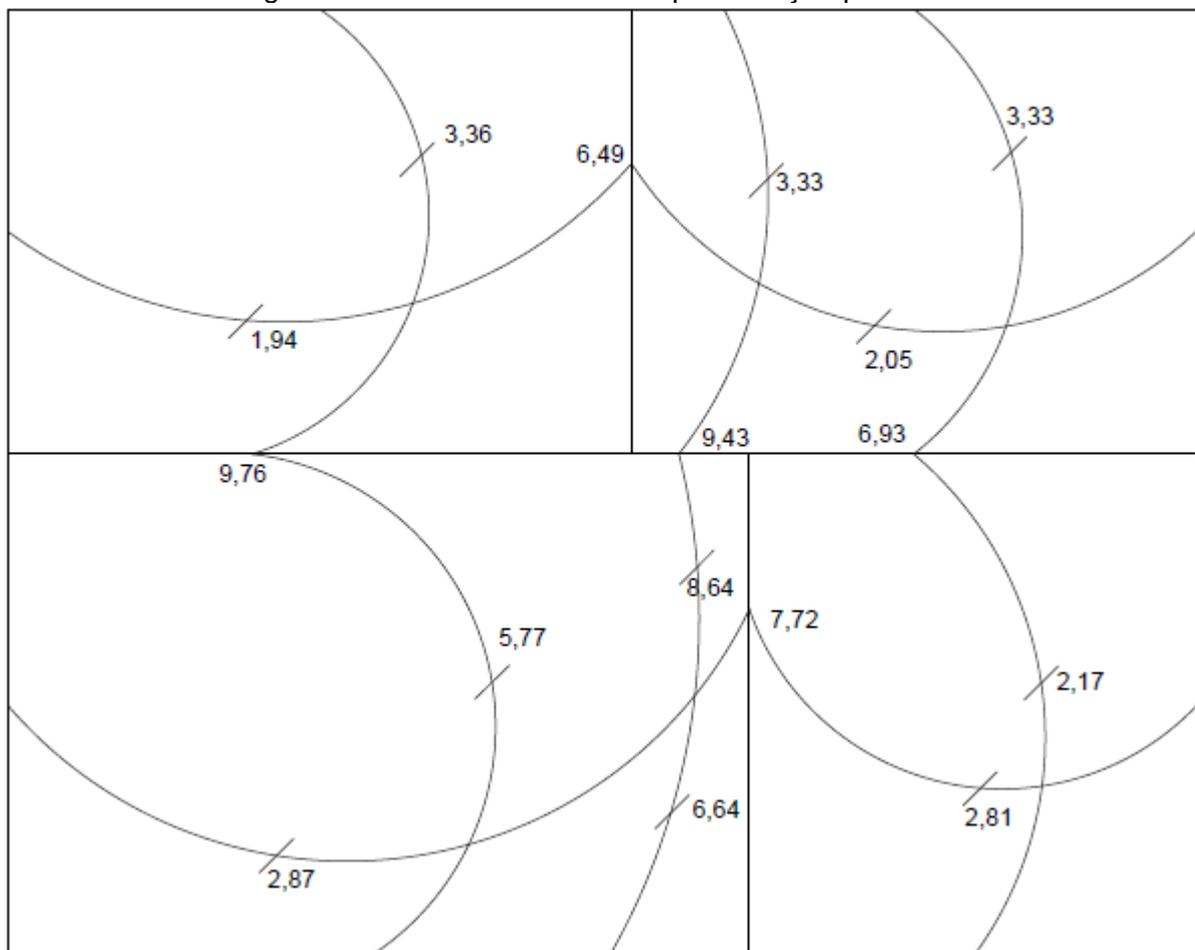
5.4.1 Laje L01 com L02

$$M- \geq \begin{cases} \bullet 0,8 * 6,57 = 5,26 \text{ KN.m/m} \\ \bullet \frac{6,57 + 6,41}{2} = 6,49 \text{ KN.m/m} \end{cases}$$

$$M + \text{Corrigido} = 1,90 + \left(\frac{6,57 - 6,49}{2} \right) = 1,94 \text{ KN.m/m}$$

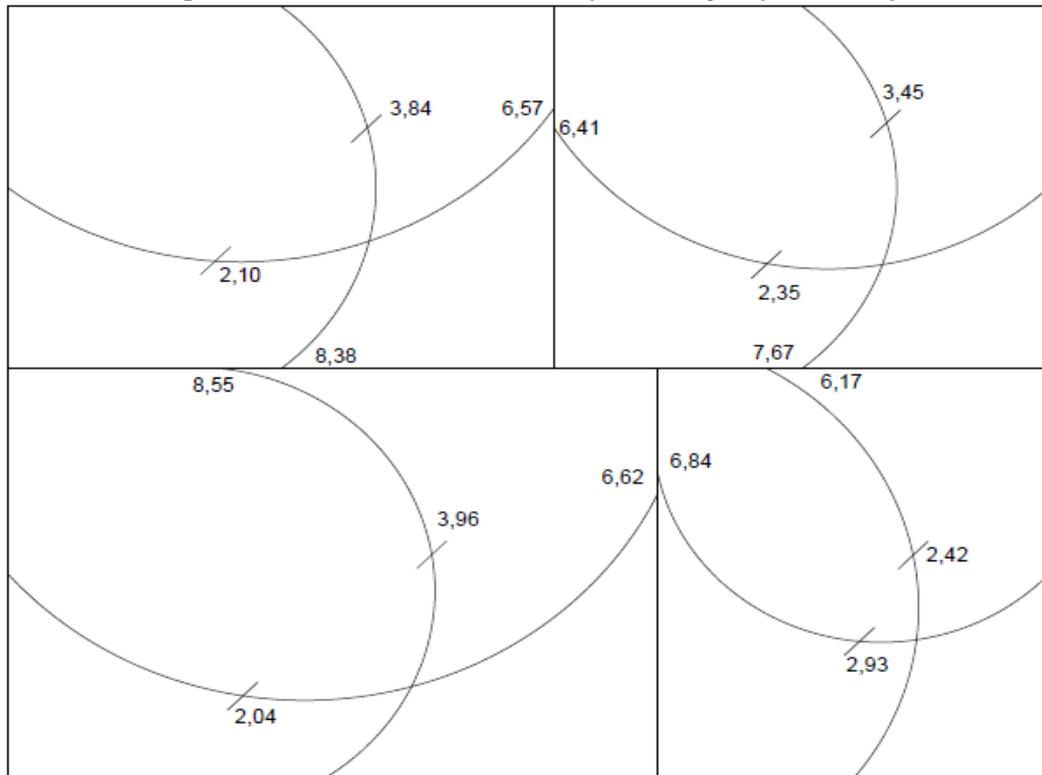
Na figura 10 existe o momento pelo método de Bares sem a compatibilização, e na figura 11 com a compatibilização dos momentos.

Figura 11- Momentos com a compatibilização por Bares



Fonte: Próprio autor, (2018)

Figura 12- Momentos com a compatibilização por Czerny



Fonte: Próprio autor, (2018)

5.5 Compatibilização dos momentos Czerny

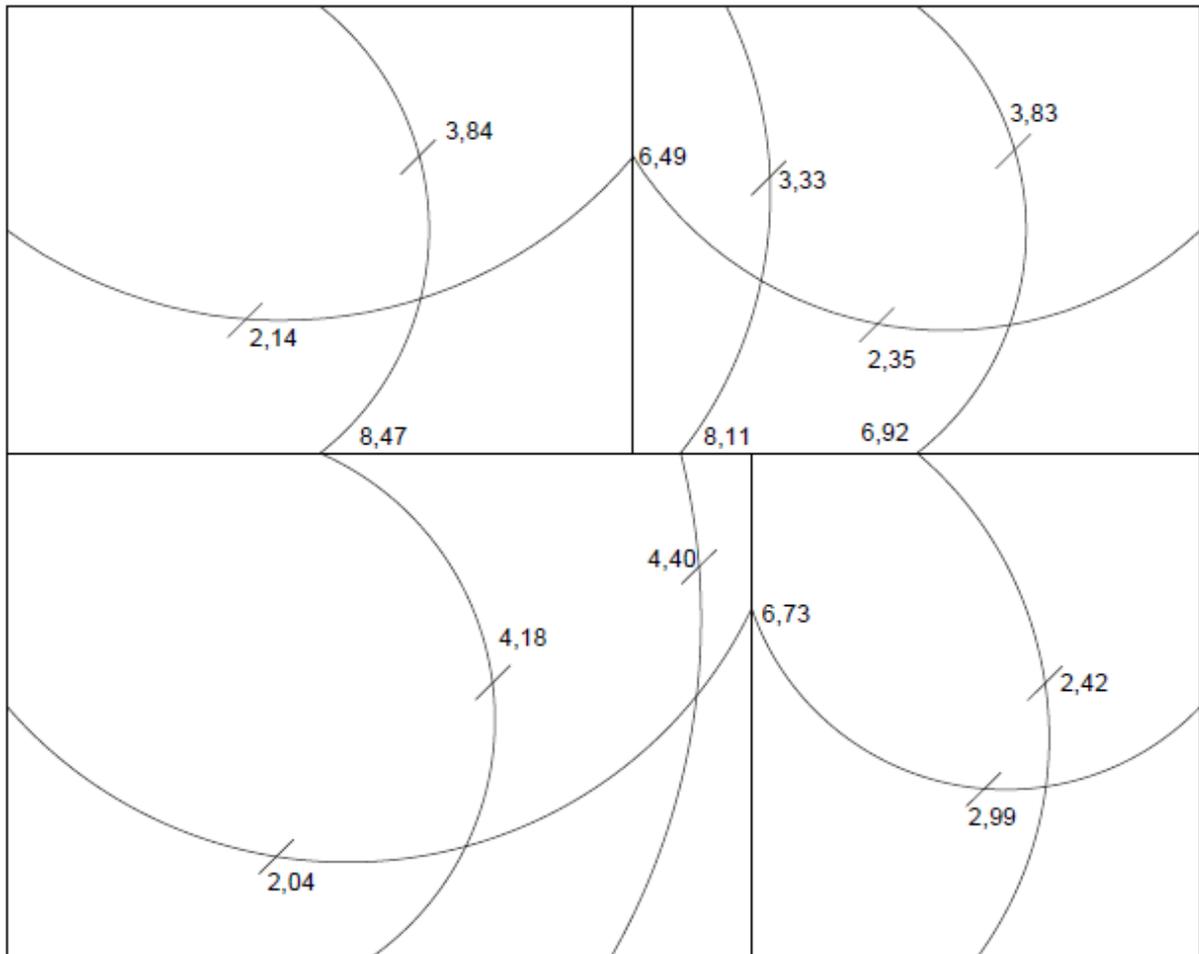
5.5.1 Laje L1 com L2

$$M - \geq \begin{cases} \bullet 0,8 * 6,57 = 5,26 \text{ KN.m/m} \\ \bullet \frac{6,57 + 6,41}{2} = 6,49 \text{ KN.m/m} \end{cases}$$

$$M + \text{Corrigido} = 2,10 + \left(\frac{6,57 - 6,49}{2} \right) = 2,14 \text{ KN.m/m}$$

Na figura 12 existe o momento pelo método de Czerny sem a compatibilização, e na figura 13 com a compatibilização dos momentos.

Figura 13- Momentos com a compatibilização por Czerny



Fonte: Próprio autor, (2018)

5.6 Área de aço Marcus

Para a determinação da área de aço por Marcus faz-se necessário a seguinte condição a baixo:

5.6.1 Área de aço para laje L01

Mx+

$$Md = Mx + * 1,4 * 100 = 3,81 * 1,4 * 100 = 532 \text{ KN.cm/m}$$

$$M = \frac{Md}{100 * b^2 * \zeta * cd} = \frac{532}{100 * 7,5^2 * 1,52} = 0,06231 \text{ KN.cm/m}$$

$$\zeta = 1,25 * (1 - (1 - 2 * M)^{0,5}) = 1,25 * (1 - (1 - 2 * 0,06231)^{0,5}) = 0,038724$$

$$As = 0,8 * \zeta * 100 * d * \frac{\zeta * cd}{fyd} = 0,8 * 0,038724 * 100 * 7,5 * \frac{1,52}{43,48} = 1,69 \text{ cm}^2/\text{m}$$

My+

$$Md = My + * 1,4 * 100 = 1,86 * 1,4 * 100 = 260,4 \text{ KN.cm/m}$$

$$M = \frac{Md}{100 * b^2 t_{cd}} = \frac{260,4}{100 * 7,5^2 * 1,52} = 0,030499 \text{ KN.cm/m}$$

$$\xi = 1,25 * (1 - (1 - 2 * M)^{0,5}) = 1,25 * (1 - (1 - 2 * 0,030499)^{0,5}) = 0,038724$$

$$As = 0,8 * \xi * 100 * d * \frac{t_{cd}}{f_{yd}} = 0,8 * 0,038724 * 100 * 7,5 * \frac{1,52}{43,48} = 0,81 \text{ cm}^2/m$$

Mx-

$$Md = Mx - * 1,4 * 100 = 9,74 * 1,4 * 100 = 1363,3 \text{ KN.cm/m}$$

$$M = \frac{Md}{100 * b^2 t_{cd}} = \frac{1363,3}{100 * 7,5^2 * 1,52} = 0,159711 \text{ KN.cm/m}$$

$$\xi = 1,25 * (1 - (1 - 2 * M)^{0,5}) = 1,25 * (1 - (1 - 2 * 0,159711)^{0,5}) = 0,218785$$

$$As = 0,8 * \xi * 100 * d * \frac{t_{cd}}{f_{yd}} = 0,8 * 0,218785 * 100 * 7,5 * \frac{1,52}{43,48} = 1,69 \text{ cm}^2/m$$

My-

$$Md = My - * 1,4 * 100 = 4,22 * 1,4 * 100 = 590,8 \text{ KN.cm/m}$$

$$M = \frac{Md}{100 * b^2 t_{cd}} = \frac{590,8}{100 * 7,5^2 * 1,52} = 0,069197 \text{ KN.cm/m}$$

$$\xi = 1,25 * (1 - (1 - 2 * M)^{0,5}) = 1,25 * (1 - (1 - 2 * 0,069197)^{0,5}) = 0,089716$$

$$As = 0,8 * \xi * 100 * d * \frac{t_{cd}}{f_{yd}} = 0,8 * 0,089716 * 100 * 7,5 * \frac{1,52}{43,48} = 1,88 \text{ cm}^2/m$$

5.7 Área de aço Bares

Para a determinação da área de aço por Bares faz-se necessário a determinação do Kc e do Ks parâmetros determinados por bares dados na unidade cm²/kN.

5.7.1 Área de aço para laje L01

Mx+

$$Md = 3,36 * 1,4 * 100 = 470,40 \text{ KN.cm/m}$$

$$Kc = 11,96 \text{ cm}^2/m; Ks = 0,024 \text{ cm}^2/m$$

$$As = \frac{Ks * Md}{7,5} = \frac{0,024 * 470,40}{7,5} = 1,51 \text{ cm}^2/m$$

My+

$$Md = 1,94 * 1,4 * 100 = 271,60 \text{ KN.cm/m}$$

$$Kc = 20,71 \text{ cm}^2/\text{m}; Ks = 0,023 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As = \frac{Ks * Md}{7,5} = \frac{0,023 * 271,60}{7,5} = 0,83 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mx-

$$Md = 9,76 * 1,4 * 100 = 1366,40 \text{ KN.cm/m}$$

$$Kc = 4,12 \text{ cm}^2/\text{m}; Ks = 0,025 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As = \frac{Ks * Md}{7,5} = \frac{0,025 * 1366,40}{7,5} = 4,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

My-

$$Md = 6,49 * 1,4 * 100 = 908,60 \text{ KN.cm/m}$$

$$Kc = 6,19 \text{ cm}^2/\text{m}; Ks = 0,024 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$As = \frac{Ks * Md}{7,5} = \frac{0,024 * 908,60}{7,5} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.8 Área de aço Czerny

5.8.1 Área de aço com momentos obtidos através do método de Czerny

Na tabela 3, encontra-se os valores que foram utilizados para este cálculo.

Tabela 3-Dados de Czerny

fck	fyk	γ_c	γ_s
25Mpa	500 Mpa	1,40	1,15

Fonte: Próprio autor, (2018)

5.8.2 Cálculos auxiliares

$$f_{ctk,sup} = 0,39 * \sqrt[3]{fck^2} = 0,39 * \sqrt[3]{25^2} = 0,333 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{fck}{\gamma_c} = \frac{2,5}{1,4} = 1,79 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = \frac{fyk}{\gamma_s} = \frac{50}{1,15} = 43,48 \text{ KN/cm}^2$$

$$Ac = b_w * h = 100 * 10 = 1000 \text{ cm}^2$$

$$W_o = \frac{b_w * h^2}{6} = \frac{100 * 10^2}{6} = 1666,67 \text{ cm}^3$$

Momento negativo mínimo

$$Md, \min = 0,8 * W_o * f_{ctk, \sup} = 0,8 * 1666,67 * 0,333 = 444 \text{ KN} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{m}} \text{ ou } 4,44 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

Momento positivo mínimo

$$Md, \min = 0,67(0,8 * W_o * f_{ctk, \sup}) = 0,67 * 4,44 = 2,97 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

$$As, \min = 0,15\% * Ac = \frac{0,15}{100} * 1000 = 40 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$d = h - (C_{nom} + 1,5 * \phi l) = 10 - (2 + 1,5 * 1) = 6,5 \text{ mm}$$

5.8.3 Área de aço para laje L01

Mx+

$$m_{sd} = 3,84 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

$$m_{d, \min} = 2,97 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

O momento m_{Rd} de cálculo deve ser o maior entre o m_{sd} e o $m_{d, \min}$.

$$m_{Rd} = 3,84 \text{ KNm}/\text{m}$$

$$Kc = \frac{b_w * d^2}{m_{RD}} = \frac{100 * 6,5^2}{3,84} = 11,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\beta x = 0,077 \text{ (anexo 15)}$$

$$\beta z = 1 - 0,4 * \beta x = 1 - 0,4 * 0,077 = 0,97$$

$$\beta s = 1,0$$

$$As = \frac{m_{Rd} * 100}{\beta z * d * \beta s * f_{yd}} = \frac{3,84 * 100}{0,97 * 6,5 * 1 * 43,48} = 1,40 \text{ cm}^2/\text{m}$$

My+

$$m_{sd} = 2,98 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

$$m_{d, \min} = 2,97 \text{ KN} \cdot \text{m}/\text{m}$$

O momento m_{Rd} de cálculo deve ser o maior entre o m_{sd} e o $m_{d,min}$.

$$m_{Rd} = 2,98 \text{ KN.m/m}$$

$$Kc = \frac{b_w * d^2}{m_{RD}} = \frac{100 * 6,5^2}{2,98} = 14,18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\beta x = 0,06 \text{ (Tabela)}$$

$$\beta z = 1 - 0,4 * \beta x = 1 - 0,4 * 0,06 = 0,98$$

$$\beta s = 1,0$$

$$As = \frac{m_{Rd} * 100}{\beta z * d * \beta s * f_{yd}} = \frac{2,98 * 100}{0,98 * 6,5 * 1 * 43,48} = 1,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Mx-

$$m_{sd} = 8,47 \text{ KN.m/m}$$

$$m_{d,min} = 4,44 \text{ KN.m/m}$$

O momento m_{Rd} de cálculo deve ser o maior entre o m_{sd} e o $m_{d,min}$.

$$m_{Rd} = 8,47 \text{ KNm/m}$$

$$Kc = \frac{b_w * d^2}{m_{RD}} = \frac{100 * 6,5^2}{8,47} = 4,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\beta x = 0,177 \text{ (Tabela)}$$

$$\beta z = 1 - 0,4 * \beta x = 1 - 0,4 * 0,177 = 0,93$$

$$\beta s = 1,0$$

$$As = \frac{m_{Rd} * 100}{\beta z * d * \beta s * f_{yd}} = \frac{8,47 * 100}{0,93 * 6,5 * 1 * 43,48} = 3,23 \text{ cm}^2/\text{m}$$

My-

$$m_{sd} = 6,49 \text{ KNm/m}$$

$$m_{d,min} = 4,44 \text{ KNm/m}$$

O momento m_{Rd} de cálculo deve ser o maior entre o m_{sd} e o $m_{d,min}$.

$$m_{Rd} = 6,49 \text{ KN.m/m}$$

$$Kc = \frac{b_w * d^2}{m_{RD}} = \frac{100 * 6,5^2}{6,49} = 6,51 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\beta x = 0,134 \text{ (Tabela)}$$

$$\beta z = 1 - 0,4 * \beta x = 1 - 0,4 * 0,134 = 0,95$$

$$\beta s = 1,0$$

$$A_s = \frac{m_{Rd} * 100}{\beta_z * d * \beta_s * f_{yd}} = \frac{6,49 * 100}{0,95 * 6,5 * 1 * 43,48} = 2,43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.9 Determinação das flechas

5.9.1 Determinação do momento de fissuração

$$\alpha = 1,5$$

$$F_{ct} = 0,3 * F_{ck}^{2/3}$$

$$F_{ct} = 0,3 * 25^{2/3} = 0,2564 \text{ KN/cm}^2$$

$$I_c = 8333,333 \text{ cm}^4$$

$$y_t = \frac{h}{2} = 5 \text{ cm (Distância do centro de gravidade a fibra mais afastada)}$$

$$m_r = \frac{\alpha * F_{ct} * I_c}{y_t} = 6,41 \text{ KN.m/m}$$

5.9.2 Flecha imediata para a tabela de bares

5.9.2.1 Para a laje L01

$$\alpha_i = \frac{\alpha}{100} * \frac{b}{12} * \frac{p l x^4}{E_c * I_c}$$

$$\alpha_i = \frac{4,31}{100} * \frac{100}{12} * \frac{0,000467 * 350^4}{2380 * 833,33}$$

$$\alpha_i = 0,13 \text{ cm}$$

$$\alpha_i = 0,11 \text{ cm}$$

5.9.3 Flecha Deferida

5.9.3.1 Para a laje L01

$$\Delta z = z(t) - z(t_0) \text{ (coeficiente em função do tempo)}$$

$$\Delta z = 2 - 0,68 = 1,32$$

$$a_f = \alpha_f * \alpha_i$$

$$a_f = 0,13 * 1,32 = 0,16 \text{ cm}$$

5.9.4 Flecha total

$$a_t = 0,13 + 0,16 = 0,29 \text{ cm}$$

5.9.5 Flecha limite

$$a_{lim} = \frac{lx}{250} = 1,4 \text{ cm}$$

5.9.6 Flecha imediata para a tabela de Czerny

5.9.6.1 Para a laje L01

$$a = \frac{p * lx^4}{E_c * h^3 * \alpha_a} = \frac{4,67 * 3,5^4}{2380 * 10^3 * 23,9} = 0,12 \text{ cm}$$

5.9.6.2 Flecha Deferida para a laje L01

$$\Delta z = z(t) - z(t_0) (\text{coeficiente em função do tempo})$$

$$\Delta z = 2 - 0,68 = 1,32$$

$$a_f = \alpha_f * \alpha_i$$

$$a_f = 0,12 * 1,32 = 0,16 \text{ cm}$$

5.9.7 Flecha total

$$a_t = 0,12 + 0,16 = 0,28 \text{ cm}$$

5.9.8 Flecha limite

$$a_{lim} = \frac{lx}{250} = 1,4 \text{ cm}$$

5.10 Reações por Marcus da laje L01

Na figura 14, indica os valores que foram utilizados para o cálculo das reações por Marcus.

Figura 14-Valores

kx	ky	lx	ly	b_{Apoio}	$A_{Engaste}$	qt
0,807	0,193	3,5	5,0	0,375	0,625	6,7 KN/m

Fonte: Próprio Autor, (2018)

$$q_{xApoio} = k_y * q_t * l_y * b_{Apoio} = 0,193 * 6,7 * 5,0 * 0,375 = 2,42 \text{ KN/m}$$

$$q_{xEngaste} = k_y * q_t * l_y * b_{Engaste} = 0,193 * 6,7 * 5,0 * 0,625 = 4,04 \text{ KN/m}$$

$$q_{yApoio} = k_x * q_t * l_x * b_{Apoio} = 0,807 * 6,7 * 3,5 * 0,375 = 7,10 \text{ KN/m}$$

$$q_{yEngaste} = k_x * q_t * l_x * b_{Engaste} = 0,807 * 6,7 * 3,5 * 0,375 = 11,83 \text{ KN/m}$$

5.11 Reações por Bares da laje L01

Na figura 15, informa os valores que foram usados para os cálculos dos momentos pelo Método de Bares.

Figura 15-Valores

l_x	l_y	V_{xApoio}	$V_{xEngaste}$	V_{yApoio}	$V_{yEngaste}$	q_t
3,5	5,0	2,84	4,15	2,17	3,17	6,7 KN/m

Fonte: Próprio Autor, (2018)

$$q_{xApoio} = \frac{V_{xApoio} * q_t * l_y}{10} = \frac{2,84 * 6,7 * 5,0}{10} = 6,66 \text{ KN/m}$$

$$q_{xEngaste} = \frac{V_{xEngaste} * q_t * l_y}{10} = \frac{4,15 * 6,7 * 5,0}{10} = 9,73 \text{ KN/m}$$

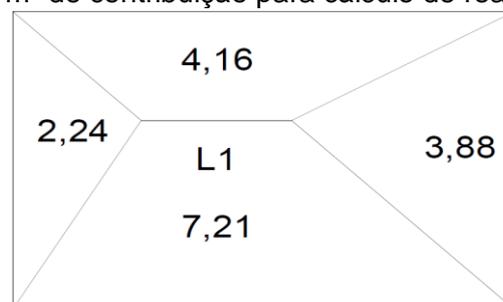
$$q_{yApoio} = \frac{V_{yApoio} * q_t * l_x}{10} = \frac{2,17 * 6,7 * 3,5}{10} = 5,09 \text{ KN/m}$$

$$q_{yEngaste} = \frac{V_{yEngaste} * q_t * l_x}{10} = \frac{3,17 * 6,7 * 5,0}{10} = 7,43 \text{ KN/m}$$

5.12 Reação vertical pelo processo das áreas da laje L01

A tabela de Czerny não apresenta um coeficiente específico para o cálculo das reações verticais, portanto deverá ser calculado através do processo das áreas indicado na NBR (6118). Na figura 16, indica as reações verticais.

Figura 16 – Áreas em m² de contribuição para cálculo de reações verticais na laje 1.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

5.12.1.1 Viga01

$$r_{vn} = \frac{p_k * A_n}{l_i} = \frac{4,67 * 4,16}{5} = 3,89$$

5.12.1.2 Viga02

$$r_{vn} = \frac{p_k * A_n}{l_i} = \frac{4,67 * 7,21}{5} = 6,73$$

5.12.1.3 Viga04

$$r_{vn} = \frac{p_k * A_n}{l_i} = \frac{4,67 * 2,24}{3,5} = 2,99$$

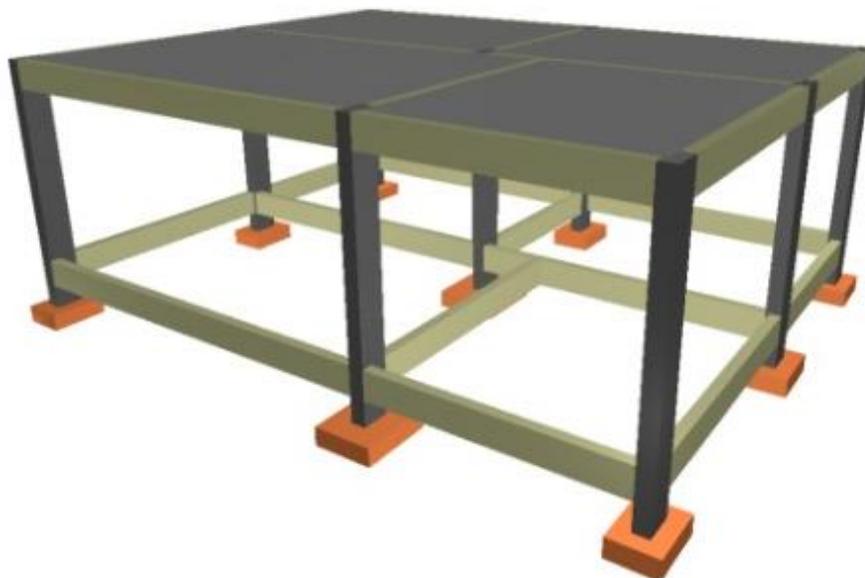
5.12.1.4 Viga05

$$r_{vn} = \frac{p_k * A_n}{l_i} = \frac{4,67 * 3,88}{3,5} = 5,18$$

5.13 Analogia de Grelha Software Eberick v10

Lançou-se no software Eberick V10 da empresa AltoQi, disponibilizado pela Universidade Tiradentes, o pórtico definido anteriormente. Dessa forma, tornou-se possível gerar o pórtico em uma visão 3D apresentado na figura 17 abaixo.

Figura 17- Pórtico em visão 3D (Eberick V10)

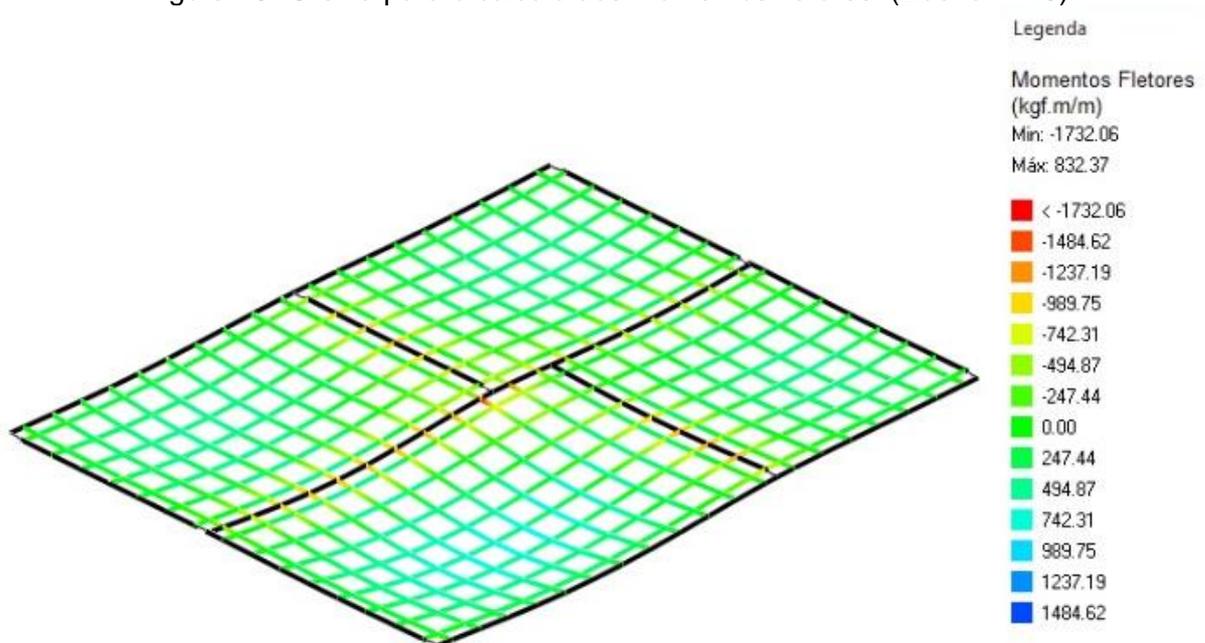


Fonte: Próprio Autor, (2018)

No desenvolvimento da implementação dos dados no software preencheram-se com os parâmetros do pórtico utilizados nos outros métodos de cálculo. Para melhor aproximação do método de analogia de grelha com a realidade o software leva em consideração a atuação do vento na estrutura.

O programa utilizado para o cálculo representa graficamente a grelha utilizado na obtenção dos momentos fletores em Kgf.m/m demonstrado na figura 18 abaixo.

Figura 18- Grelha para o cálculo dos momentos fletores. (Eberick V10)



Fonte: Próprio Autor (2018)

Os dados informados abaixo foram provenientes do extrato fornecido pelo Eberick após a determinação dos parâmetros do projeto definido para este trabalho.

$f_{ck} = 250.00 \text{ kgf/cm}^2$

$E = 24500 \text{ kgf/cm}^2$

Peso Espec = 2500.00 kgf/m^3

cobr = 2.00 cm

Quadro 1 – Extrato do Eberick

Seção (cm)						Cargas (kgf/m ²)			
Laje	Tipo	H	ee ec	enx eny	eex eey	Peso Próprio	Acidental Revestimento	Paredes Outras	Total
L1	Maciça	10				250.00	295.72 132.56	0.00 0.00	678.28
L2	Maciça	10				250.00	295.72 132.56	0.00 0.00	678.28
L3	Maciça	10				250.00	295.72 132.56	0.00 0.00	678.28
L4	Maciça	10				250.00	295.72 132.56	0.00 0.00	678.28

Fonte: Próprio Autor (2018)

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os momentos obtidos pelas diversas metodologias de cálculo foram organizados nas tabelas 4 e 5 a seguir:

Tabela 4- Momentos positivos KNm/m.

Lajes	Tabela de Marcus		Tabela de Bares		Tabela de Czerny		Eberick	
	Mx+	My+	Mx+	My+	Mx+	My+	Mx+	My+
Laje 01	3,8	1,86	3,36	1,94	3,84	2,14	5,22	4,86
Laje 02	4,01	2,18	3,33	2,05	3,83	2,35	4,93	4,61
Laje 03	6,66	2,31	5,77	2,87	4,4	2,04	8,14	5,88
Laje 04	3,17	2,16	2,81	2,17	2,99	2,42	4,89	3,54

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 5- Momentos negativos KNm/m.

Lajes	Tabela de Marcus		Tabela de Bares		Tabela de Czerny		Eberick	
	Mx-	My-	Mx-	My-	Mx-	My-	Mx-	My-
Laje 01	9,74	4,22	9,76	6,49	8,47	6,49	16,99	10,23
Laje 02	6,25	4,22	6,93	6,49	8,11	6,49	8,3	10,23
Laje 03	9,74	5,7	9,76	7,72	8,47	6,73	16,99	11,5
Laje 04	5,7	6,25	7,72	6,93	6,73	6,92	11,5	8,3

Fonte: Próprio Autor, (2018)

As próximas tabelas e gráficos mostram a comparação entre os diversos métodos de dimensionamento. Os momentos encontrados através do software Eberick sempre retornaram valores de momentos maiores que os métodos simplificados, como mostra nas tabelas 6, 7 e 8.

A comparação dos momentos na laje L01, pode ser facilmente identificada nas imagens 19, 20, 21 e 22.

Tabela 6- Variação de momentos entre o Eberick e a tabela de Marcus.

Variação entre Eberick e Marcus (%)				
Lajes	Mx+	My+	Mx-	My-
Laje 01	27,16	61,76	42,66	58,74
Laje 02	18,71	52,7	24,67	58,74
Laje 03	18,18	60,74	42,66	50,45
Laje 04	35,22	38,99	50,45	24,67

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 7- Variação de momentos entre o Eberick e a tabela de Bares.

Variação entre Eberick e Bares(%)				
Lajes	Mx+	My+	Mx-	My-
Laje 01	35,6	60,12	42,54	36,55
Laje 02	32,49	55,52	16,47	36,55
Laje 03	29,11	51,22	42,54	32,89
Laje 04	42,58	38,7	32,89	16,47

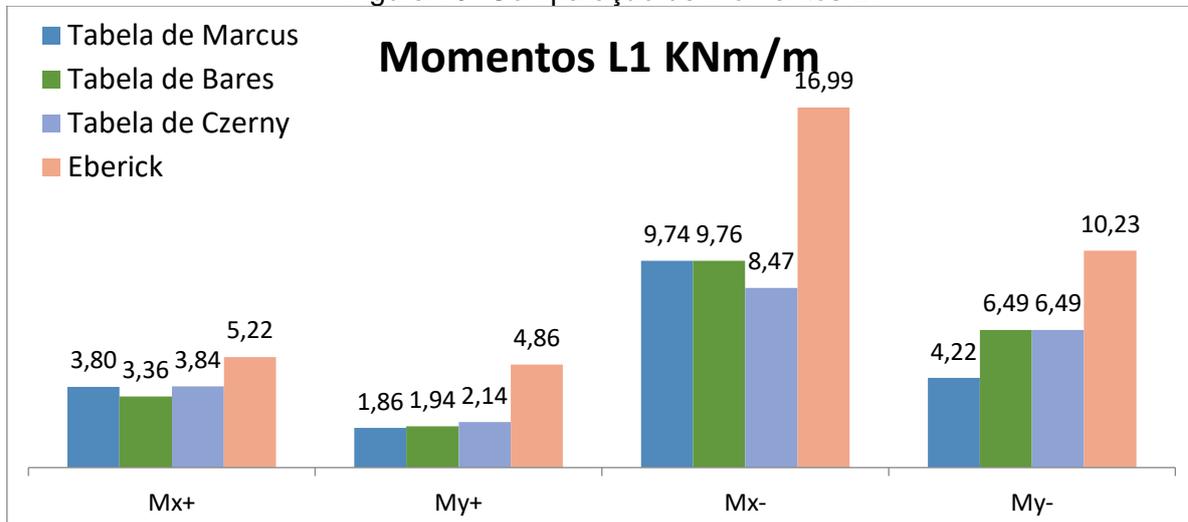
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 8- Variação de momentos entre o Eberick e a tabela de Czerny.

Variação entre Eberick e Cezar(%)				
Lajes	Mx+	My+	Mx-	My-
Laje 01	26,4	56	50,13	36,55
Laje 02	22,36	49,01	2,25	36,55
Laje 03	45,94	65,33	50,13	41,49
Laje 04	38,9	31,64	41,49	16,59

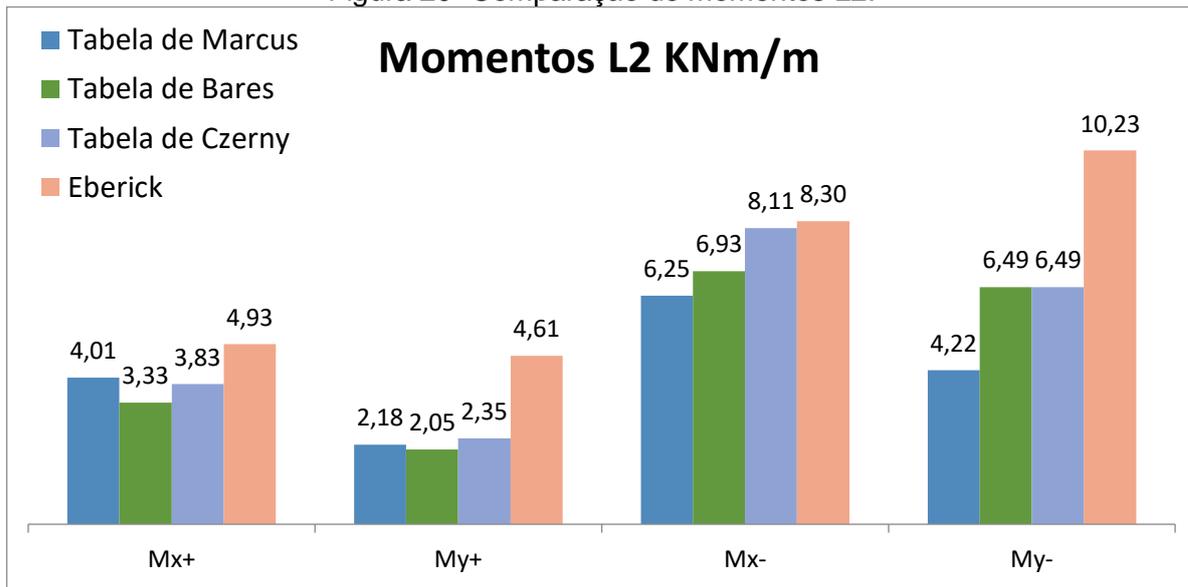
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 19- Comparação de momentos L1



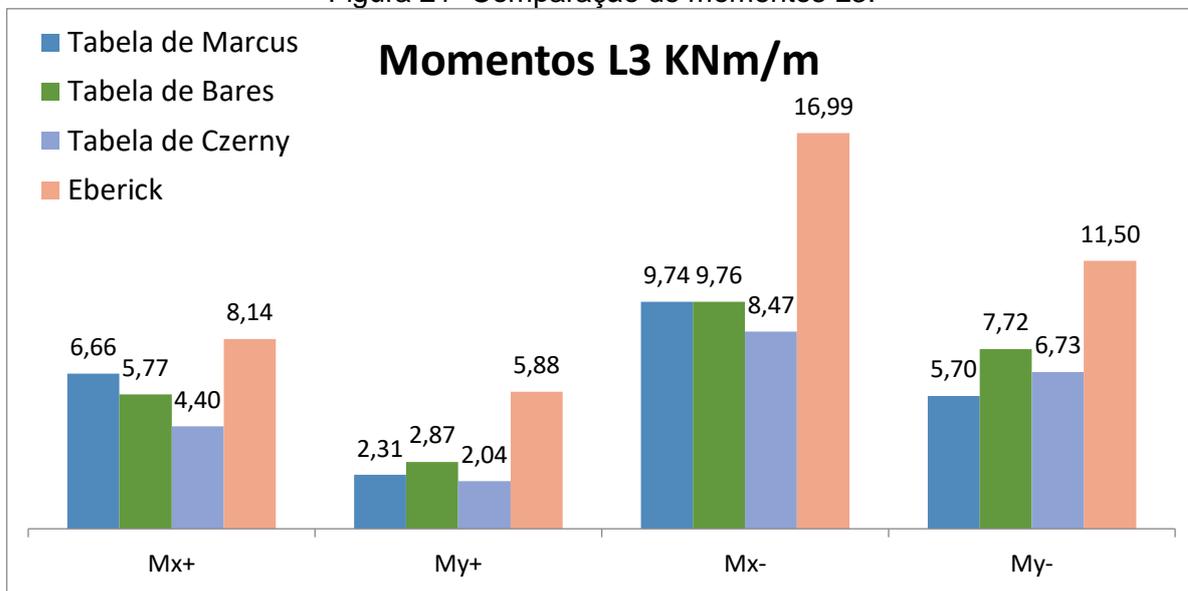
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 20- Comparação de momentos L2.



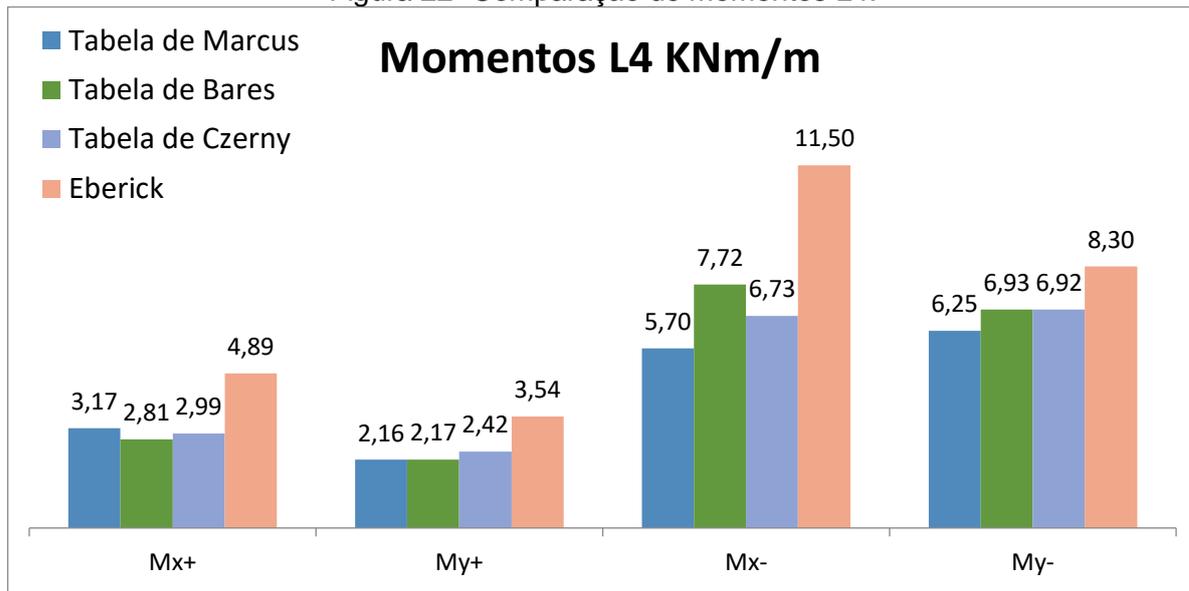
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 21- Comparação de momentos L3.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 22- Comparação de momentos L4.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

As reações transferidas para as vigas também estão organizadas nas tabelas a seguir, porém é possível detectar um comportamento mais padronizado entre as tabelas e o método de divisão de áreas presente na NBR 6118, quando é analisada a reação nas vigas localizadas no maior lado da laje, a tabela de bares apresenta valores maiores, seguida pelo método de divisão de áreas e a tabela de Marcus, já as vigas localizadas no menor lado da laje os resultados são diferentes, com a tabela de Marcus apresentando os maiores valores, seguida pela tabela de Bares e divisão de áreas, portanto o formato das lajes pode influenciar diretamente nos resultados sendo informada nas imagens 23, 24, 25 e 26, podendo diminuir ou aumentar os valores das reações a depender do método escolhido para o dimensionamento.

O Eberick não apresenta um padrão em relação aos valores encontrados pelas tabelas, portanto não é possível determinar uma tendência a obter valores de reações maiores ou menores em outros projetos.

Tabela 9- Reações de apoio para a tabela de Marcus KNm.

Tabela de Marcus				
Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	2,42	4,04	7,1	11,83
Laje 02	3	4,99	6,46	10,77
Laje 03	2,49	4,15	8,39	13,99
Laje 04	3,74	6,23	5,52	9,2

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 10- Reações de apoio para a tabela de Bares KNm.

Tabela de Bares				
Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	6,66	9,73	5,09	7,43
Laje 02	6,17	9,15	5,09	7,43
Laje 03	7,75	11,34	5,82	8,5
Laje 04	5,75	8,4	5,09	7,43

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 11- Reações de apoio para a divisão de áreas KNm.

Divisão de áreas				
Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	3,89	6,73	2,99	5,18
Laje 02	3,65	6,33	2,99	5,18
Laje 03	4,56	7,89	3,42	5,92
Laje 04	3,36	5,83	2,99	5,18

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 12- Reações de apoio para o Eberick KNm.

Eberick				
Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	5,21	11,96	4,97	5,95
Laje 02	4,76	8,73	5,48	8,03
Laje 03	6,25	13,07	5,46	5,49
Laje 04	5,12	8,42	3,11	9,33

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 13- Variação em % das reações Eberick e Marcus

Variação em % das reações Eberick e Marcus				
Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	53,46	66,21	-42,79	-98,78
Laje 02	37,06	42,8	-17,95	-34,15
Laje 03	60,2	68,28	-53,7	-154,76
Laje 04	26,98	26	-77,57	1,35

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 14- Variação em % das reações Eberick e Bares.

Variação em % das reações Eberick e Bares				
Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	-27,83	18,63	-2,39	-24,94
Laje 02	-29,57	-4,76	7,14	7,43
Laje 03	-23,92	13,26	-6,51	-54,75
Laje 04	-12,21	0,3	-63,62	20,33

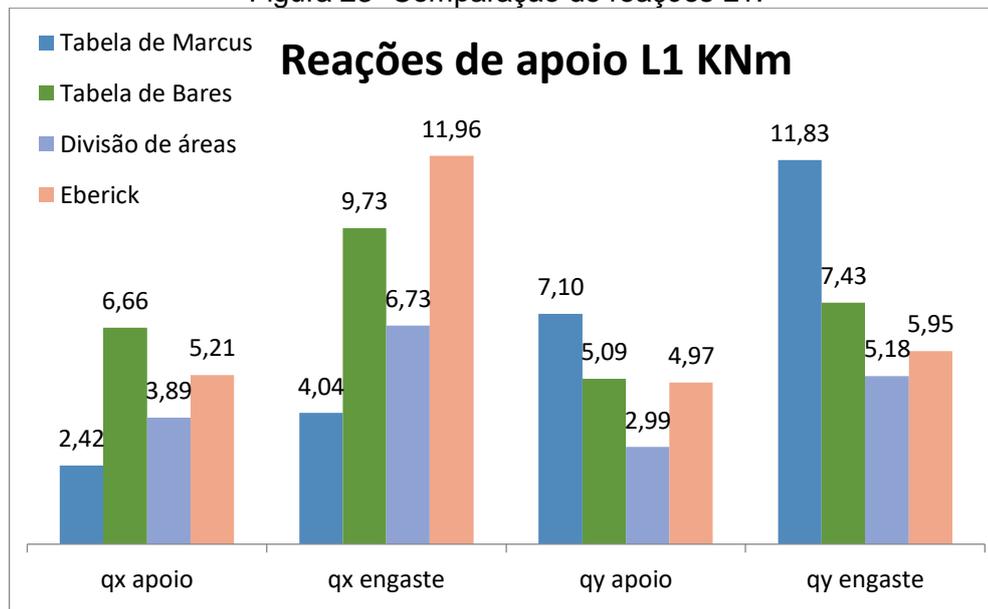
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 15- Variação em % das reações Eberick e Czerny.

Lajes	qx apoio	qx engaste	qy apoio	qy engaste
Laje 01	25,34	43,73	39,84	12,94
Laje 02	23,32	27,49	45,44	35,49
Laje 03	27,04	39,63	37,36	-7,83
Laje 04	34,38	30,76	3,86	44,48

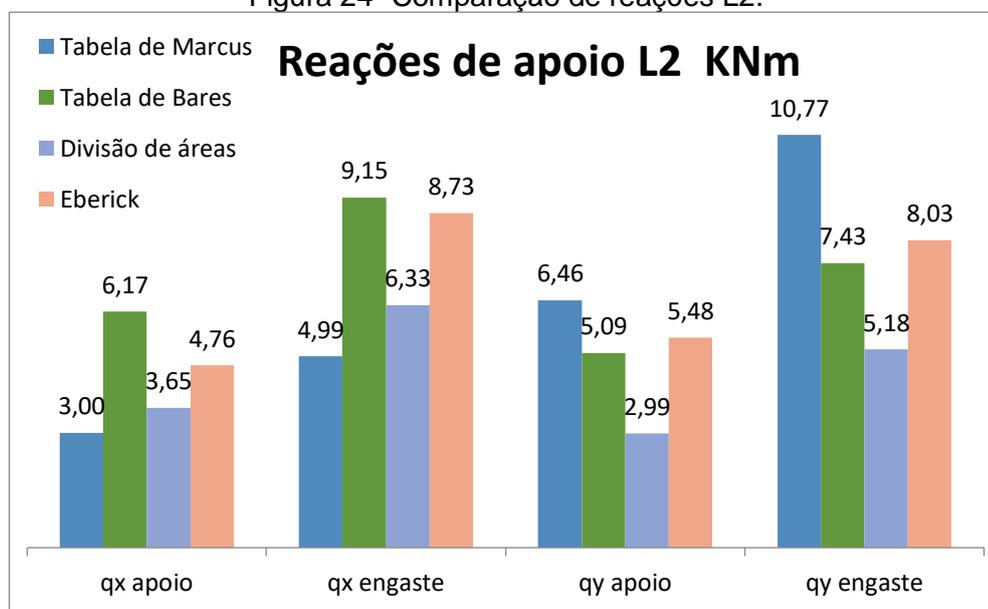
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 23- Comparação de reações L1.



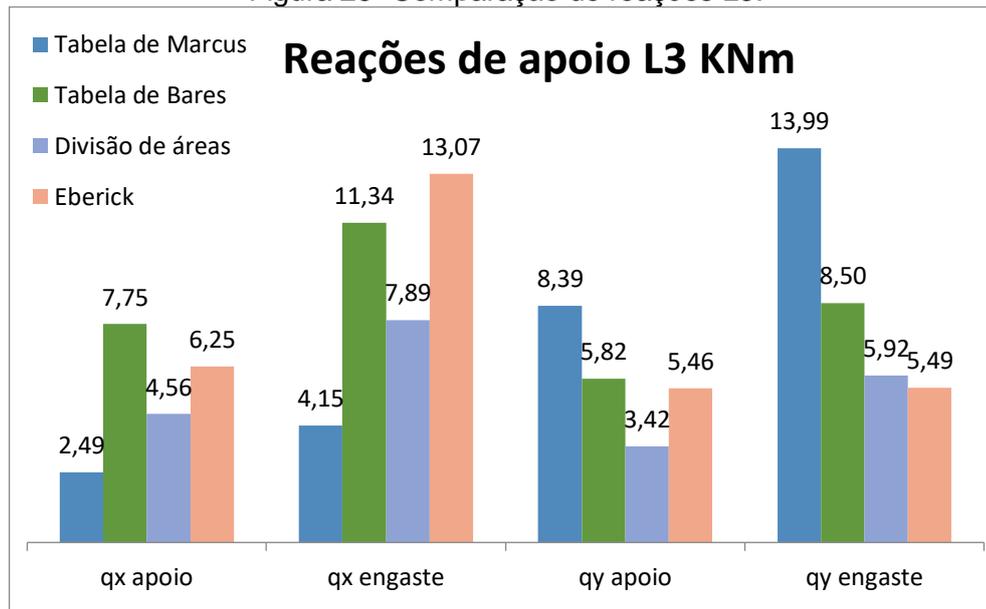
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 24- Comparação de reações L2.



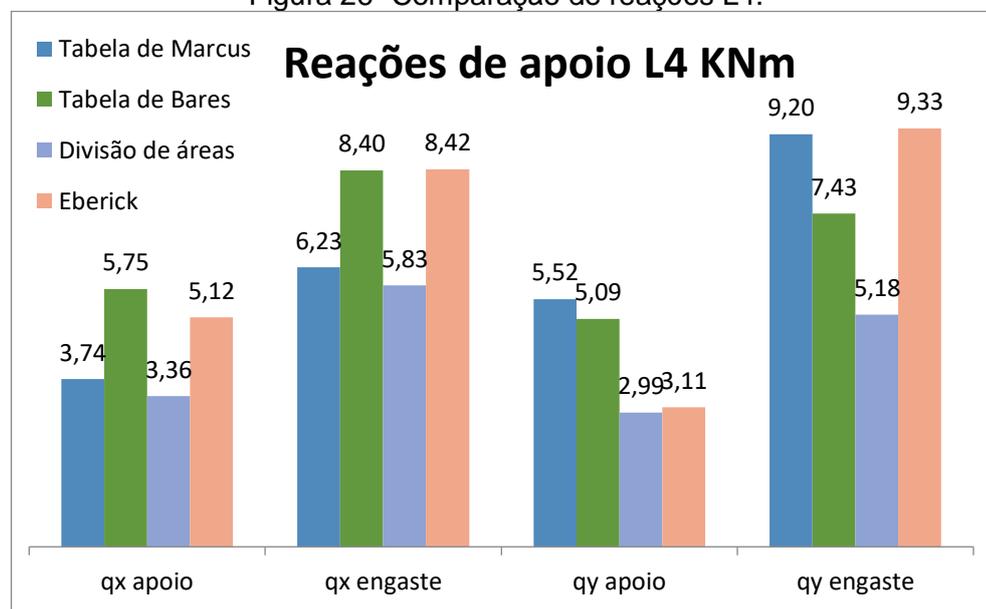
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 25- Comparação de reações L3.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 26- Comparação de reações L4.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

Além dos valores de momento e reações verticais, é necessário determinar os valores correspondentes às flechas nas lajes, porém como o método de Marcus não apresenta um procedimento para a obtenção desses valores, dessa forma, para Marcus as flechas foram determinadas pelo método de Bares. Os resultados encontrados nas duas tabelas foram muito próximos, não apresentando nenhuma característica que leve a escolha de uma delas em função dos resultados da flecha, porém os valores encontrados através do eberick foram muito maiores que os das

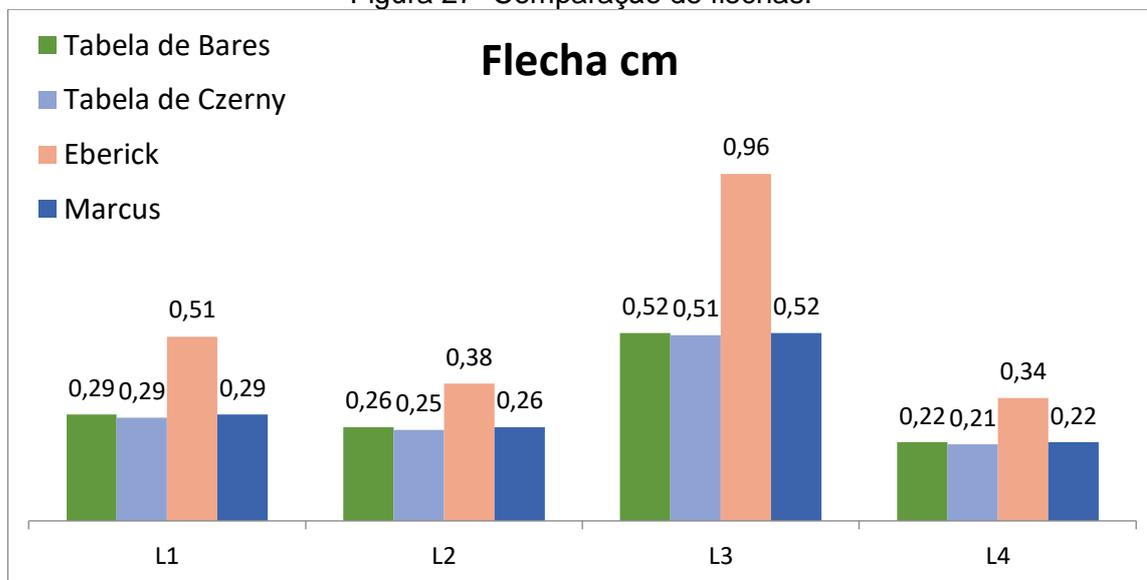
tabelas, chegando a quase o dobro em algumas lajes, os valores correspondentes às flechas estão dispostos na tabela 16 e a comparação das flechas na imagem 27 abaixo.

Tabela 16- Flecha em cm

Lajes	Flecha cm			
	Bares	Czerny	Eberick	Limite
L1	0,29	0,29	0,51	1,4
L2	0,26	0,25	0,38	1,4
L3	0,52	0,51	0,96	1,6
L4	0,22	0,21	0,34	1,4

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Figura 27- Comparação de flechas.



Fonte: Próprio Autor, (2018).

Através dos momentos calculados pelos diversos métodos de dimensionamento, foi possível determinar a área de aço necessária para cada laje, os valores correspondentes estão incluídos nas tabelas seguintes:

Tabela 17- Área de aço para tabela de Marcus.

Momentos	Área de aço cm ² /m Marcus			
	L1	L2	L3	L4
Mx+	1,69	1,78	3,04	1,4
My+	0,81	0,95	1,01	0,94
Mx-	4,58	2,84	4,58	2,57
My-	1,88	1,88	2,57	2,84

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 18- Área de aço para tabela de Bares.

Área de aço cm ² /m Bares				
Momentos	L1	L2	L3	L4
Mx+	1,51	1,49	2,97	1,26
My+	0,83	0,88	1,29	0,93
Mx-	4,55	3,1	4,55	3,6
My-	2,91	2,91	3,6	3,1

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 19- Área de aço para tabela de Czerny

Área de aço cm ² /m Czerny				
Momentos	L1	L2	L3	L4
Mx+	1,4	1,4	1,61	1,08
My+	1,08	1,08	1,08	1,08
Mx-	3,23	3,08	3,23	2,52
My-	2,43	2,43	2,52	2,6

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Tabela 20- Área de aço para o Eberick

Área de aço cm ² /m Eberick				
Momentos	L1	L2	L3	L4
Mx+	1,64	1,55	2,64	1,54
My+	1,38	1,58	2,1	0,99
Mx-	6	2,7	6	3,82
My-	3,33	3,33	3,82	2,7

Fonte: Próprio Autor, (2018)

A determinação da área de aço foi necessária, para realizar o detalhamento da armação das lajes e dessa forma comparar o valor gasto com aço para cada método de dimensionamento, o detalhamento da armação de todas as lajes está disponível no anexo 11. O peso total de aço utilizado e o custo para cada método de dimensionamento está listado a seguir:

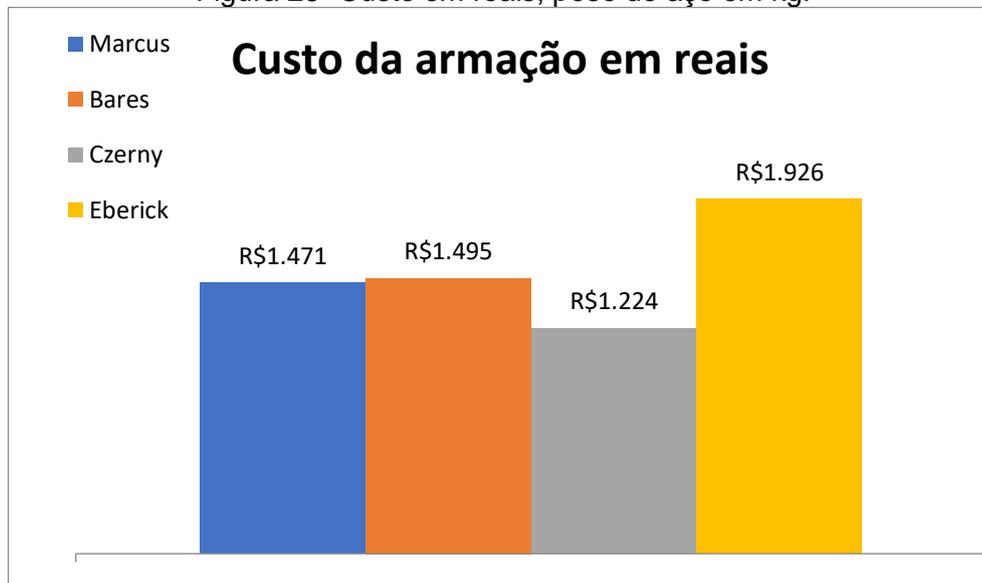
Tabela 21- Peso de aço em kg

Peso de aço em kg				
Bitola	Marcus	Bares	Czerny	Eberick
5 mm	76,201	121,67	114,79	63,27
6.3 mm	152,31	89,876	60,378	143,55
8 mm	0	58,61	45,461	96,66
10 mm	40,383	0	0	50,04
Peso total	268,9	270,16	220,62	353,52

Fonte: Próprio Autor, (2018)

Com o peso total do aço, e utilizando a tabela 21 de preço da empresa Gerdau em Aracaju no mês de novembro, foi possível determinar a custo com a armação para cada método de dimensionamento, este custo está ilustrado na figura 28 abaixo:

Figura 28- Custo em reais, peso de aço em kg.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

7 CONCLUSÃO

Observou-se que entre as comparações dos momentos fletores positivos e negativos o Software Eberick V10, que utiliza o método de cálculo de Analogia de Grelha, retornaram valores superiores em todas as lajes em comparação aos métodos de Marcus, Bares e Czerny, as variações máximas para cada método respectivamente, em relação ao Eberick, são de 62%, 60% e 65%. Esse comportamento deve-se ao fato de que o método de Analogia de Grelha possibilita uma análise com menos simplificações analisando o pórtico de forma integrada.

Na análise dos momentos entre os métodos de Marcus, Bares e Czerny percebeu-se, de maneira geral, pouca variação entre seus resultados. Entre Marcus e Bares a variação média obtida para o momento positivo foi de +4% e para o momento negativo -25% e quando Marcus é comparado com Czerny a variação média é de +5% para o momento positivo e -12% para o negativo, dessa maneira, nota-se que o método de Marcus tende a reduzir os valores dos momentos negativos e aumentar os momentos positivos. Na comparação entre Bares e Czerny vê-se uma variação média pequena, onde para os momentos positivos obteve-se o valor de +1% e para os momentos negativos +5%.

Nas reações destinadas as vigas, observa-se que as que estão localizadas no maior lado da laje, a tabela de Bares apresenta os maiores valores sendo que os menores valores são obtidos pelo método de Marcus. Contrastando, quando analisado as que estão localizadas no menor lado da laje Marcus apresenta os maiores valores. Dessa maneira, a disposições das lajes interferem nos resultados, diminuindo ou aumentando dependendo do método escolhido para o dimensionamento.

Na determinação das flechas os resultados encontrados nas tabelas foram próximos, não apresentando características que leve a optar um método ao outro em função dos resultados da flecha. Os valores encontrados através do Eberick foram maiores que os das tabelas, mas não ultrapassando a limite calculado.

Sabendo-se que o mercado oferta barras de aço com bitolas já definidas podendo a área de aço na hora de excursão ser um pouco maior do que a do projeto, afim de se adequar a oferta do material, calculou-se o peso total de aço para cada método identificando, para esse estudo de caso, uma variação de 24 % entre o Eberick e Marcus, 22% entre o Eberick e Bares e 36% em comparação a Czerny. Percebeu-

se uma pequena variação entre as áreas de aço dos métodos de Marcus em relação a Bares variando apenas 2%.

Diante dos resultados obtidos conclui-se que, os métodos de cálculos feitos pelas tabelas de Marcus, Bares e Czerny, utilizado para a obtenção dos esforços exercidos em uma estrutura, são eficientes por apresentarem valores, ainda que diferentes, não discrepantes. Dessa maneira, pode-se perceber a necessidade de, sempre que possível, recorrer a métodos onde são feitos menos simplificações na análise da estrutura para obter-se valores mais próximos da realidade.

Como sugestão para trabalhos futuros aconselha-se que seja desenvolvidos estudos similares ao desse trabalho, variando as disposições das lajes, objetivando verificar a repetições dos padrões aqui encontrados.

8 REFERÊNCIAS

AltoQI. Solução para seus projetos: como funciona o eberick?. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br/eberick>>. Acesso em: 28 set. 18.

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de Concreto Armado**. 2. Ed. Rio Grande: Dunas, 2003. 127 p. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto- Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto-procedimento**. ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65: Cimento Portland-Determinação dos tempos de pega-método de ensaio**. 2002.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto, Lajes de Concreto. **Curso de graduação em Engenharia Civil**. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2015.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Notas de Aula da disciplina de Estruturas de Concreto I – Lajes de Concreto**. Curso de graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2006.

BAUER, Luiz Alfredo Falcão. **Materiais de Construção Civil 1**. Vol. 1. 5ª Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda. São Paulo, 1994.

BORJA, Edilberto. **Construções em concreto armado**. Rio Grande do Norte, 2016. (Apostila).

CARVALHO, Roberto Chust; DE FIGUEIREDO FILHO, Jason Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado - segundo a NBR 6118: 2003**. EdUFSCar, 2010. Ed. São Carlos: UFSCar, 2004. 374 p. il.

CONSIDERAÇÕES SOBRE A RIGIDEZ À TORÇÃO DAS LAJES NERVURADAS DE CONCRETO ARMADO Departamento de Materiais e Construção – FURG – Rio Grande, RS.

CHUST, Carvalho R.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto armado. **Editora da UFSCar, São Carlos**, v. 1, 2004.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. Grupo Gen-LTC, 2010.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceito técnica e linguagem**. São Paulo Zigurate Editora.

FONTES, Fernando Fernandes; PINHEIRO, Libânio Miranda. **TIPOS DE ANÁLISE ESTRUTURAL PARA ELEMENTOS LINEARES SEGUNDO A NBR 6118: 2003.**

Fusco, Pericles Brasiliense. **Estruturas de concreto.** McGraw-Hill do Brasil, 1977.

LEONHARDT, FRITZ; MÖNNIG, E. **Construções de concreto:** princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, 1977. 29

MACHADO, Roberto; MARINO, Marcos. Concreto armado da UFPR volume II. Paraná, 2016. (Apostila).

MARIANO, Mayara. **Aplicação e análise da utilização do software eberick** em um projeto residencial popular. 2015. 80f. Trabalho de conclusão de curso- Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2015.

McCormac, Jack C. **Análise Estrutural: Usando Métodos Clássicos E Métodos Matriciais** . Grupo Gen-LTC, 2000.

PINHEIRO, Libânio M. Fundamentos do concreto e projeto de edifícios. 2007.

LEONHARDT, FRITZ; MÖNNIG, E. **Construções de concreto: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado.** Rio de Janeiro: Interciência, v. 1, 1977.

PINHEIRO, Libânio Miranda. **Análise elástica e plástica de lajes retangulares de edifícios.** 1988. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Kumar, MEHTA Povindar, and PJM MONTEIRO. "**Concreto: estrutura, propriedades e materiais.**" *São Paulo: Pini* (1994).

<https://www.passeidireto.com/arquivo/24643826/jose-milton-de-araujo-curso-de-concreto-armado-vol1-3-ed-2010>. > Acesso em: 03/10/2018 às 18:04

<https://www.passeidireto.com/disciplina/concreto-armado?ordem=3> > Acesso em: 03/10/2018 às 18:04

<http://www.profwillian.com/index.asp> > Acesso em: (03/10/2018 às 18:04)

ANEXOS

Anexo 1 - A sua classe de agressividade ambiental é:

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambientes para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana (a) (b)	Pequeno
III	Forte	Marinha (a)	Grande
		Industrial (a)(b)	
IV	Muito Forte	Industrial (a) (c)	Elevado
		Respingos de maré	
<p>a) Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, cozinhas e áreas de serviço de apartamento residenciais e conjuntos comerciais ou ambientais com concreto revestido com argamassa e pintura)</p> <p>b) Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominante secos ou regiões onde chove raramente.</p> <p>c) Ambientes quimicamente agressivos, tanques, industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazém de fertilizantes, indústrias químicas.</p>			

Fonte: NBR 6118, (2014)

Anexo 2 - Tabela da NRB 6118-2014, Coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} * \gamma_{f3}$.

Combinações De ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalque de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
Normais	1,4 ^a	1,0	0,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	0,2	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, (2014)

Anexo 3 - Tabela da NRB 6118-2014, γf_2

Ações		γf_2		
		Ψ_0	Ψ_1^a	Ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de peso de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas. (b)	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas (c)	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica uniformes 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) Para os valores de Ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga.				
(b) Edifícios residenciais.				
(c) Edifícios comerciais, de escritórios e edifícios públicos.				

Fonte: NBR 6118, (2014)

Anexo 4 - Combinações último

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado (a)	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de Protensão como carregamento externo de valores $P_{k\max}$ e $P_{k\min}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme a seção 9
	Perda de equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_g S_{gsk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_g n G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s, \min}$ Onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$
Especiais ou de construção (b)		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
Excepcionais (b)		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q 1_{exc} + \gamma_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{0\varepsilon} F_{\varepsilon qk}$
Onde: F_d é o valor de cálculo das ações para combinação última; F_{gk} representa as ações permanentes diretas; $F_{\varepsilon k}$ representa as ações indiretas permanentes como a retração $F_{\varepsilon gk}$ e variáveis como a temperatura $F_{\varepsilon qk}$; F_{qk} representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal.		

Fonte: NRB 6118, (2014)

Anexo 5 - Combinações normais

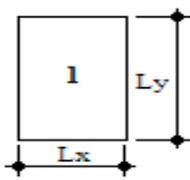
Combinações de Serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de Serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\Psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \Psi_2 j F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\Psi_1 F_{q1k}$ e toda as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\Psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \Sigma \Psi_1 j F_{q1k} + \Sigma \Psi_2 j F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\Psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \Sigma F_{q1k} + \Sigma \Psi_1 j F_{qjk}$
<p>Onde:</p> <p>$F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço;</p> <p>F_{q1k} é o valor característicos das ações variáveis diretas;</p> <p>Ψ_1 é o fator de redução de combinações frequentes para ELS;</p> <p>Ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.</p>		

Tabela da NRB 6118, (2014)

Anexo 6 - Cargas Variáveis

Local		Carga uniformemente distribuída (KN/m ²)
Edifícios Residências	-Dormitório	1,5
	-Sala, copa, Cozinha	1,5
	-Sanitários	1,5
	-Dispensa, área de serviço e lavanderia	2
	-Quadras esportivas	
	-Salão de festas/jogos	5
	-Área de uso comum	3
	-Academia	3
	-Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	3
	-Sótão	
	Corredores dentro de unidades autônomas	0,5
	-Corredores de uso comum	
	-Depósitos	2
	-Área técnicas	1,5
-Jardins	3	
Edifícios Comercias		3
	-Salas de uso geral e sanitários	2,5
	-Regiões de arquivos deslizantes	5
	-Call center	3
	-Corredores dentro de unidades autônomas	2,5
	-Corredores de uso comum	
	Áreas técnicas	3
Jardins		

Fonte: NBR 6120, (2017)



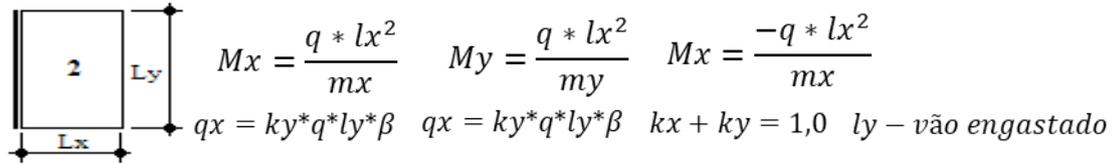
Anexo 7-Tabela de Marcus

$$M_x = \frac{q * l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{q * l_x^2}{m_y}$$

$$q_x = k_y * q * l_y * \beta \quad q_y = k_x * q * l_x * \beta \quad k_x + k_y = 1,0 \quad l_x - \text{menor vão}$$

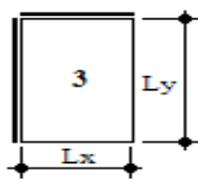
ly/lx	kx	mx	my	ly/lx	kx	mx	my	ly/lx	kx	mx	my
0,50	0,059	169,18	42,29	1,00	0,5	27,43	27,43	1,50	0,835	13,87	31,21
0,51	0,063	158,42	41,2	1,01	0,51	26,89	26,89	1,51	0,839	13,75	31,36
0,52	0,068	148,64	40,19	1,02	0,52	26,37	26,37	1,52	0,842	13,64	31,52
0,53	0,073	139,7	39,24	1,03	0,529	25,87	25,87	1,53	0,846	13,53	31,68
0,54	0,078	131,55	38,36	1,04	0,539	25,38	25,38	1,54	0,849	13,43	31,85
0,55	0,084	124,1	37,53	1,05	0,549	24,91	24,91	1,55	0,852	13,32	32,01
0,56	0,089	117,25	36,77	1,06	0,558	24,46	24,46	1,56	0,855	13,22	32,18
0,57	0,095	110,96	36,05	1,07	0,567	24,02	24,02	1,57	0,859	13,13	32,36
0,58	0,102	105,19	35,38	1,08	0,576	23,6	23,6	1,58	0,862	13,03	32,53
0,59	0,108	99,86	34,76	1,09	0,585	23,19	23,19	1,59	0,865	12,94	32,71
0,60	0,115	94,94	34,18	1,10	0,594	22,79	22,79	1,60	0,868	12,85	32,8
0,61	0,122	90,4	33,64	1,11	0,603	22,41	22,41	1,61	0,87	12,76	33,08
0,62	0,129	86,2	33,13	1,12	0,611	22,03	22,03	1,62	0,873	12,68	33,27
0,63	0,136	82,3	32,66	1,13	0,62	21,67	21,67	1,63	0,876	12,59	33,46
0,64	0,144	78,68	32,23	1,14	0,628	21,32	21,32	1,64	0,878	12,51	33,65
0,65	0,151	75,32	31,82	1,15	0,636	20,99	20,99	1,65	0,881	12,43	33,85
0,66	0,159	72,19	31,44	1,16	0,644	20,66	20,66	1,66	0,884	12,35	34,04
0,67	0,168	69,27	31,09	1,17	0,652	20,34	20,34	1,67	0,886	12,28	34,24
0,68	0,176	66,54	30,99	1,18	0,66	20,04	20,04	1,68	0,888	12,21	34,45
0,69	0,185	63,99	30,46	1,19	0,667	19,74	19,74	1,69	0,891	12,13	34,65
0,70	0,194	61,6	30,18	1,20	0,675	19,45	19,45	1,70	0,893	12,06	34,87
0,71	0,203	59,37	29,93	1,21	0,682	19,17	19,17	1,71	0,895	12	35,08
0,72	0,212	57,27	29,69	1,22	0,689	18,9	18,9	1,72	0,897	11,93	35,29
0,73	0,221	55,29	29,47	1,23	0,696	18,64	18,64	1,73	0,899	11,86	35,51
0,74	0,231	53,44	29,26	1,24	0,703	18,39	18,39	1,74	0,902	11,8	35,73
0,75	0,24	51,69	29,07	1,25	0,709	18,14	18,14	1,75	0,904	11,74	35,95
0,76	0,25	50,04	28,9	1,26	0,716	17,9	17,9	1,76	0,906	11,68	36,17
0,77	0,26	48,48	28,74	1,27	0,722	17,67	17,67	1,77	0,907	11,62	36,4
0,78	0,27	47,01	28,6	1,28	0,729	17,44	17,44	1,78	0,909	11,56	36,63
0,79	0,28	45,61	28,46	1,29	0,735	17,23	17,23	1,79	0,911	11,51	36,86
0,80	0,29	44,29	28,34	1,30	0,741	17,01	17,01	1,80	0,913	11,45	37,1
0,81	0,301	43,03	28,23	1,31	0,746	16,81	16,81	1,81	0,915	11,4	37,33
0,82	0,311	41,84	28,13	1,32	0,752	16,61	16,61	1,82	0,916	11,34	37,58
0,83	0,322	40,7	28,04	1,33	0,758	16,42	16,42	1,83	0,918	11,29	37,82
0,84	0,332	39,62	27,96	1,34	0,763	16,23	16,23	1,84	0,92	11,24	38,06
0,85	0,343	38,59	27,88	1,35	0,769	16,05	16,05	1,85	0,921	11,19	38,31
0,86	0,354	37,61	27,81	1,36	0,774	15,87	15,87	1,86	0,923	11,15	38,56
0,87	0,364	36,67	27,75	1,37	0,779	15,7	15,7	1,87	0,924	11,1	38,81
0,88	0,375	35,77	27,7	1,38	0,784	15,53	15,53	1,88	0,926	11,05	39,07
0,89	0,385	34,91	27,65	1,39	0,789	15,37	15,37	1,89	0,927	11,01	39,32
0,90	0,396	34,09	27,61	1,40	0,793	15,21	15,21	1,90	0,929	10,96	39,58
0,91	0,407	33,3	27,57	1,41	0,798	15,06	15,06	1,91	0,93	10,92	39,84
0,92	0,417	32,54	27,54	1,42	0,803	14,91	14,91	1,92	0,931	10,88	40,1
0,93	0,428	31,81	27,51	1,43	0,807	14,77	14,77	1,93	0,933	10,84	40,37
0,94	0,438	31,11	27,49	1,44	0,811	14,63	14,63	1,94	0,934	10,8	40,63
0,95	0,449	30,44	27,47	1,45	0,815	14,49	14,49	1,95	0,935	10,76	40,91
0,96	0,459	29,79	27,45	1,46	0,82	14,36	14,36	1,96	0,936	10,72	41,18
0,97	0,469	29,17	27,44	1,47	0,824	14,23	14,23	1,97	0,938	10,68	41,45
0,98	0,48	28,57	27,43	1,48	0,827	14,11	14,11	1,98	0,939	10,64	41,73
0,99	0,49	27,99	27,43	1,49	0,831	13,99	13,99	1,99	0,94	10,6	42,01
								2,00	0,941	10,57	42,29

Fonte: Prof. Willian, (2013)



ly/lx	kx	mx	nx	my	ly/lx	kx	mx	nx	my
0,50	0,135	140,93	59,2	45,13	1,01	0,714	29,93	11,2	36,74
0,51	0,145	132,95	55,31	44,11	1,02	0,73	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	41,6	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	102,2	40,54	40,21	1,12	0,797	25,4	10,03	39,92
0,57	0,209	97,46	38,32	39,6	1,11	0,808	24,83	9,89	40,55
0,58	0,22	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	41,9
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	37,6	1,22	0,847	22,89	9,44	43,36
0,62	0,27	78,55	29,66	37,2	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	0,87	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	67,6	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	63,1	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	50,2
0,70	0,375	59,12	21,33	35,07	1,40	0,906	20,04	8,83	51,15
0,71	0,388	57,3	20,59	34,92	1,42	0,91	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	8,7	54,16
0,74	0,428	52,41	18,67	34,57	1,48	0,923	19,2	8,67	55,21
0,75	0,442	50,94	18,11	34,5	1,50	0,927	19,01	8,63	56,28
0,76	0,455	49,56	17,59	34,44	1,52	0,93	18,84	8,6	57,36
0,77	0,468	48,24	17,1	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	59,6
0,79	0,493	45,79	16,21	34,35	1,58	0,94	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	18,1	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	0,95	17,85	8,42	65,53
0,84	0,554	40,6	14,43	34,48	1,68	0,952	17,74	8,4	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	34,7	1,74	0,958	17,42	8,35	70,63
0,88	0,6	97,22	13,34	34,8	1,76	0,96	17,33	8,33	71,96
0,89	0,611	96,46	13,1	34,91	1,78	0,962	17,25	8,32	73,3
0,90	0,621	95,73	12,88	35,03	1,80	0,963	17,15	8,3	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	12,1	35,6	1,88	0,969	16,84	8,26	80,27
0,95	0,671	32,53	11,93	35,77	1,90	0,97	16,77	8,24	81,73
0,96	0,68	31,97	11,77	35,95	1,92	0,971	16,7	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	87,7
1,00	0,714	29,93	11,2	36,74	2,00	0,976	16,46	8,2	89,22

Fonte Prof. Willian, (2013)

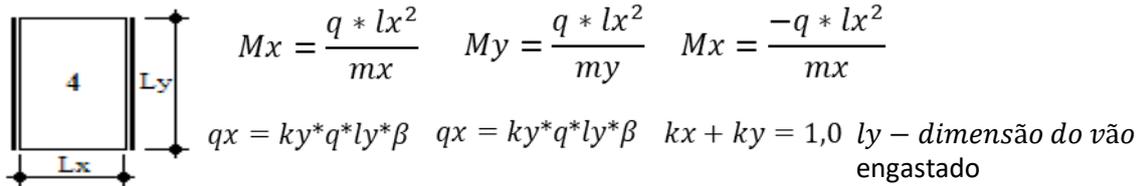


$$M_x = \frac{q * l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{q * l_x^2}{m_y} \quad M_x = \frac{-q * l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{-q * l_x^2}{m_y}$$

$$q_x = k_y * q * l_y * \beta \quad q_x = k_y * q * l_y * \beta \quad k_x + k_y = 1,0 \quad l_y - \text{dimensão do maior vão}$$

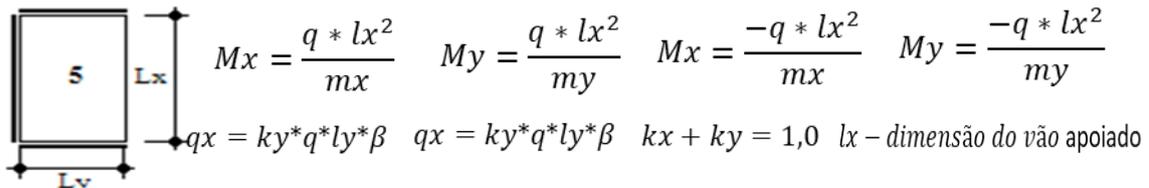
ly/lx	kx	mx	nx	my	ny	ly/lx	kx	mx	nx	my	ny
1,00	0,5	37,14	16	37,14	16	1,51	0,835	20,61	9,58	46,38	21,55
1,01	0,51	36,42	15,69	37,15	16	1,52	0,839	20,49	9,54	46,71	21,75
1,02	0,52	35,72	15,39	37,16	16,01	1,53	0,842	20,36	9,5	47,05	21,94
1,03	0,529	35,05	15,11	37,19	16,03	1,54	0,846	20,24	9,46	47,38	22,14
1,04	0,539	34,42	14,84	37,22	16,05	1,55	0,849	20,12	9,42	47,73	22,34
1,05	0,549	33,81	14,58	37,27	16,08	1,56	0,852	20,01	9,39	48,07	22,55
1,06	0,558	33,21	14,34	37,32	16,11	1,57	0,855	19,9	9,35	48,43	22,76
1,07	0,567	32,65	14,1	37,38	16,15	1,58	0,859	19,79	9,32	48,78	22,96
1,08	0,576	32,11	13,88	37,45	16,19	1,59	0,862	19,69	9,28	49,14	23,17
1,09	0,585	31,59	13,67	37,53	16,24	1,60	0,865	19,58	9,25	49,51	23,09
1,10	0,594	31,09	13,46	37,61	16,29	1,61	0,868	19,48	9,22	49,88	23,6
1,11	0,603	30,61	13,27	37,71	16,35	1,62	0,87	19,39	9,19	50,25	23,82
1,12	0,611	30,14	13,08	37,81	16,41	1,63	0,873	19,29	9,16	52,63	24,04
1,13	0,62	29,7	12,91	37,92	16,48	1,64	0,876	19,2	9,13	51,01	24,26
1,14	0,628	29,27	12,74	38,04	16,55	1,65	0,878	19,11	9,11	51,4	24,49
1,15	0,636	28,85	12,57	38,16	16,63	1,66	0,881	19,02	9,08	51,79	24,72
1,16	0,644	28,46	12,42	38,29	16,71	1,67	0,884	18,94	9,05	52,19	24,95
1,17	0,652	28,08	12,27	38,43	16,79	1,68	0,886	18,86	9,03	52,58	25,18
1,18	0,66	27,71	12,13	38,58	16,88	1,69	0,888	18,77	9	52,99	25,41
1,19	0,667	27,35	11,99	38,73	16,98	1,70	0,891	18,7	8,98	53,39	25,65
1,20	0,674	27	11,85	38,89	17,07	1,71	0,893	18,62	8,96	53,81	25,89
1,21	0,682	26,68	11,73	39,06	17,18	1,72	0,895	18,54	8,93	54,22	26,13
1,22	0,69	26,36	11,61	39,23	17,28	1,73	0,897	18,47	8,91	54,64	26,37
1,23	0,696	26,05	11,49	39,41	17,39	1,74	0,899	18,4	8,89	55,07	26,61
1,24	0,703	25,75	11,38	39,59	17,5	1,75	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	56,8	27,61
1,28	0,729	24,66	10,98	40,4	17,99	1,78	0,909	18,07	8,8	57,24	27,87
1,29	0,735	24,4	10,89	40,61	18,12	1,79	0,911	18	8,78	57,68	28,13
1,30	0,741	24,16	10,8	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	23,7	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	0,92	17,72	8,7	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	42,8	19,43	1,88	0,926	17,51	8,64	61,88	30,54
1,39	0,789	22,29	10,14	43,07	19,6	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	0,93	17,36	8,6	63,34	31,38
1,42	0,803	21,78	9,97	43,92	20,1	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	44,5	20,45	1,94	0,934	17,23	8,56	64,83	32,23
1,45	0,815	21,31	9,81	44,8	20,62	1,95	0,935	17,18	8,55	65,34	32,52
1,46	0,82	21,16	9,76	45,11	20,8	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	17,1	8,53	66,36	33,1
1,48	0,827	20,88	9,67	45,74	21,17	1,98	0,939	17,06	8,52	66,88	33,4
1,49	0,831	20,75	9,62	46,06	21,36	1,99	0,94	17,02	8,51	67,39	33,7
1,50	0,835	20,61	9,38	46,38	21,55	2,00	0,941	16,93	8,5	67,92	34

Fonte: Prof. Willian, (2013)



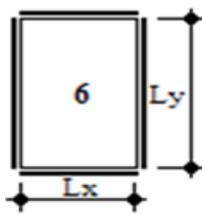
ly/lx	kx	mx	nx	my	ly/lx	kx	mx	nx	my
0,50	0,238	137,06	50,4	49,92	1,02	0,833	37,47	14,4	55,74
0,51	0,253	130,06	47,48	49,11	1,04	0,844	36,71	14,22	57,01
0,52	0,268	123,66	44,83	48,38	1,06	0,854	36	14,05	58,33
0,53	0,283	117,79	42,42	47,72	1,08	0,863	35,34	13,9	59,7
0,54	0,298	112,39	40,23	47,13	1,10	0,872	34,74	13,76	61,12
0,55	0,314	107,42	38,23	46,6	1,12	0,88	34,18	13,64	62,59
0,56	0,33	102,83	36,4	46,13	1,14	0,887	33,66	13,52	64,1
0,57	0,345	98,59	34,74	45,72	1,16	0,894	33,18	13,42	65,66
0,58	0,361	94,67	33,21	45,35	1,18	0,9	32,74	13,32	67,26
0,59	0,377	91,02	31,81	45,04	1,20	0,906	32,32	13,24	68,91
0,60	0,393	87,62	30,52	44,77	1,22	0,912	31,93	13,16	70,6
0,61	0,409	84,46	29,33	44,54	1,24	0,917	31,57	13,08	72,33
0,62	0,425	81,51	28,24	44,35	1,26	0,922	31,23	13,01	74,11
0,63	0,441	78,76	27,24	44,21	1,28	0,926	30,92	12,95	75,92
0,64	0,456	76,18	26,3	44,1	1,30	0,931	30,62	12,89	77,78
0,65	0,472	73,76	25,45	44,02	1,32	0,934	30,34	12,84	79,66
0,66	0,487	71,49	24,65	43,98	1,34	0,938	30,08	12,79	81,6
0,67	0,502	69,36	23,91	43,97	1,36	0,942	29,83	12,74	83,58
0,68	0,517	67,36	23,22	43,98	1,38	0,945	29,6	12,7	85,58
0,69	0,531	65,47	22,59	44,03	1,40	0,948	29,39	12,66	87,63
0,70	0,545	63,69	22	44,11	1,42	0,95	29,18	12,62	89,72
0,71	0,559	62,01	21,44	44,21	1,44	0,953	28,99	12,59	91,84
0,72	0,573	60,42	20,93	44,34	1,46	0,955	28,8	12,56	94,01
0,73	0,587	58,92	20,45	44,49	1,48	0,958	28,63	12,53	96,2
0,74	0,6	57,51	20	44,66	1,50	0,96	28,47	12,5	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	12,4	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	0,97	27,64	12,37	112,61
0,81	0,683	49,44	17,57	46,3	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	47,2	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	12,3	122,76
0,85	0,723	45,97	16,6	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	0,75	43,78	16	49,25	1,76	0,8	26,86	12,25	133,5
0,89	0,758	43,12	15,82	49,71	1,78	0,98	26,78	12,24	136,24
0,90	0,766	42,48	15,66	50,19	1,80	0,981	26,7	12,23	139,05
0,91	0,774	41,87	15,5	50,68	1,82	0,982	26,63	12,22	141,85
0,92	0,782	41,3	15,35	51,18	1,84	0,983	26,56	12,21	144,78
0,93	0,789	40,74	15,21	51,5	1,86	0,983	26,49	12,2	147,65
0,94	0,796	40,21	15,07	52,24	1,88	0,984	26,43	12,19	150,6
0,95	0,803	39,7	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	14,6	54,52	1,96	0,987	26,19	12,16	162,6
0,99	0,828	37,88	14,5	55,12	1,98	0,987	26,14	12,16	165,75
1,00	0,833	37,47	14,4	55,74	2,00	0,988	26,09	12,15	168,89

Fonte Prof. Willian, (2013)



ly/lx	kx	mx	nx	my	ny	ly/lx	kx	mx	nx	my	ny
0,50	0,111	246,52	108	71,43	36	1,02	0,684	42,92	17,54	51,14	24,33
0,51	0,119	230,76	100,7	69,53	34,92	1,04	0,7	41,77	17,13	51,76	24,7
0,52	0,127	216,51	95,07	67,77	33,91	1,06	0,716	40,71	16,75	52,44	25,1
0,53	0,136	203,52	88,05	66,13	32,97	1,08	0,731	39,74	16,41	53,18	25,52
0,54	0,145	191,66	82,56	64,6	32,1	1,10	0,745	38,84	16,1	53,95	25,97
0,55	0,155	180,83	77,57	63,18	31,29	1,12	0,759	38,01	15,81	54,78	26,45
0,56	0,164	170,91	73,01	61,86	30,53	1,14	0,772	37,25	15,55	55,64	26,95
0,57	0,174	161,79	68,84	60,63	29,82	1,16	0,784	36,54	15,31	56,55	27,47
0,58	0,184	153,42	65,02	59,49	29,16	1,18	0,795	35,88	15,09	57,5	28,02
0,59	0,195	145,72	61,52	58,42	28,55	1,20	0,806	35,27	14,89	58,5	28,59
0,60	0,206	138,61	58,3	57,43	27,98	1,22	0,816	34,7	14,71	59,53	29,19
0,61	0,217	132,05	55,34	56,52	27,45	1,24	0,825	34,17	14,54	60,6	29,8
0,62	0,228	125,98	52,61	55,67	26,96	1,26	0,834	33,68	14,38	61,71	30,44
0,63	0,239	120,36	50,09	54,88	26,51	1,28	0,843	33,22	14,23	62,85	31,1
0,64	0,251	115,15	47,76	54,15	26,08	1,30	0,851	32,79	14,1	64,03	31,77
0,65	0,263	110,3	45,61	53,48	25,69	1,32	0,859	32,38	13,98	65,25	32,47
0,66	0,275	105,81	43,62	52,85	25,33	1,34	0,866	32,01	13,86	66,5	33,18
0,67	0,287	101,61	41,77	52,28	25	1,36	0,872	31,65	13,75	66,78	33,92
0,68	0,299	97,7	40,06	51,76	24,7	1,38	0,879	31,02	13,65	69,1	34,67
0,69	0,312	94,06	38,47	51,28	24,42	1,40	0,885	31,01	13,56	70,45	35,44
0,70	0,324	90,65	36,99	50,84	24,17	1,42	0,89	30,72	13,47	71,83	36,23
0,71	0,337	87,46	35,61	50,45	23,93	1,44	0,896	30,44	13,39	73,24	37,03
0,72	0,349	84,48	34,33	50,09	23,73	1,46	0,901	30,18	13,32	74,69	37,86
0,73	0,362	81,68	33,13	49,77	23,54	1,48	0,906	29,94	13,25	76,17	38,7
0,74	0,375	82,05	32,48	49,05	23,37	1,50	0,91	29,71	13,18	77,67	39,55
0,75	0,387	76,58	30,96	49,23	23,22	1,52	0,914	29,49	13,12	79,2	40,43
0,76	0,4	74,26	29,98	49	23,09	1,54	0,918	29,28	13,07	80,77	41,32
0,77	0,413	72,08	29,07	48,81	22,98	1,56	0,922	29,09	13,01	82,36	42,22
0,78	0,425	70,02	28,21	48,65	22,88	1,58	0,926	28,9	12,96	83,98	43,14
0,79	0,438	68,08	27,4	48,51	22,8	1,60	0,929	28,73	12,91	85,64	44,08
0,80	0,45	66,24	26,65	48,4	22,74	1,62	0,932	28,56	12,87	87,31	45,03
0,81	0,463	64,51	25,94	48,32	22,69	1,64	0,935	28,4	12,83	89,02	46
0,82	0,475	62,88	25,27	48,26	22,65	1,66	0,938	28,25	12,79	90,77	46,99
0,83	0,487	61,33	24,64	48,22	22,63	1,68	0,941	28,11	12,75	92,52	47,98
0,84	0,499	59,86	24,05	48,21	22,63	1,70	0,943	27,97	12,72	94,32	49
0,85	0,511	58,47	23,49	48,22	22,63	1,72	0,946	27,84	12,68	96,13	50,03
0,86	0,522	57,15	22,97	48,25	22,65	1,74	0,948	27,72	12,65	97,98	51,08
0,87	0,543	55,9	22,47	48,3	22,68	1,76	0,95	27,6	12,62	99,86	52,14
0,88	0,545	54,71	22	48,37	22,72	1,78	0,952	27,49	12,6	101,75	53,21
0,89	0,558	53,58	21,56	48,46	22,77	1,80	0,954	27,38	12,57	103,68	54,3
0,90	0,567	52,51	21,14	48,57	22,84	1,82	0,956	27,28	12,55	105,63	55,41
0,91	0,578	51,49	20,75	48,69	22,91	1,84	0,958	27,18	12,52	107,62	56,63
0,92	0,589	50,51	20,37	48,83	22,99	1,86	0,96	27,09	12,5	109,63	57,67
0,93	0,599	49,59	20,02	48,99	23,09	1,88	0,961	27	12,48	111,65	58,81
0,94	0,61	48,7	19,68	49,17	23,19	1,90	0,963	26,91	12,46	110,71	59,97
0,95	0,62	47,86	19,37	49,06	13,3	1,92	0,964	26,83	12,44	115,79	61,15
0,96	0,629	47,06	19,06	49,57	23,42	1,94	0,966	26,75	12,42	117,89	62,33
0,97	0,639	46,29	18,78	49,8	23,56	1,96	0,967	26,68	12,41	120,04	63,55
0,98	0,648	45,55	18,5	50,04	23,7	1,98	0,968	26,61	12,39	122,19	64,76
0,99	0,658	44,85	18,25	50,29	23,84	2,00	0,97	26,54	12,37	124,35	65,98
1,00	0,667	44,18	18	50,56	24						

Fonte Prof. Willian, (2013)



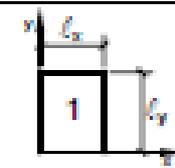
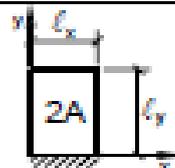
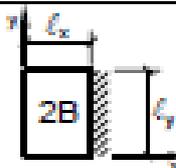
$$M_x = \frac{q * l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{q * l_x^2}{m_y} \quad M_x = \frac{-q * l_x^2}{m_x} \quad M_y = \frac{-q * l_x^2}{m_y}$$

$$q_x = k_y * q * l_y * \beta \quad q_y = k_x * q * l_x * \beta \quad k_x + k_y = 1,0 \quad l_y - \text{dimensão do maior vão}$$

ly/lx	kx	mx	nx	my	ny	ly/lx	kx	mx	nx	my	ny
1,00	0,5	55,74	24	55,74	24	1,51	0,839	31,87	14,31	72,67	32,62
1,01	0,51	54,65	32,53	55,75	24	1,52	0,842	31,71	14,25	73,25	32,92
1,02	0,52	53,61	32,09	55,78	24,02	1,53	0,846	31,54	14,19	73,84	33,22
1,03	0,529	52,62	22,66	55,82	24,04	1,54	0,849	31,39	14,13	74,44	33,52
1,04	0,539	51,76	22,26	55,88	24,07	1,55	0,852	31,24	14,08	75,04	33,82
1,05	0,549	50,76	21,87	55,96	24,11	1,56	0,855	31,09	14,03	75,65	34,13
1,06	0,558	49,89	21,5	56,06	24,16	1,57	0,859	30,94	13,97	76,27	34,45
1,07	0,567	49,06	21,15	56,17	24,22	1,58	0,862	30,8	13,92	76,9	34,79
1,08	0,576	48,27	20,82	56,3	24,28	1,59	0,865	30,67	13,88	77,52	35,08
1,09	0,585	47,5	20,5	56,44	24,36	1,60	0,868	30,54	13,83	78,17	35,41
1,10	0,594	46,77	20,2	56,59	24,44	1,61	0,87	30,41	13,79	78,81	35,73
1,11	0,603	46,07	19,9	56,76	24,52	1,62	0,873	30,28	13,74	79,47	36,06
1,12	0,611	45,4	19,63	56,95	24,62	1,63	0,876	30,16	13,7	80,13	36,4
1,13	0,62	44,75	19,36	57,14	24,72	1,64	0,878	30,04	13,66	80,8	36,74
1,14	0,628	44,13	19,1	57,36	24,83	1,65	0,881	29,93	13,62	81,48	37,08
1,15	0,636	43,54	18,86	57,58	24,94	1,66	0,884	29,82	13,58	82,16	37,42
1,16	0,644	42,97	18,63	57,82	25,06	1,67	0,886	29,71	13,54	82,84	37,77
1,17	0,652	42,42	18,4	58,07	25,19	1,68	0,888	29,6	13,51	83,54	38,12
1,18	0,66	41,89	18,19	58,33	25,33	1,69	0,891	29,5	13,47	84,24	38,47
1,19	0,667	41,38	17,98	58,6	25,47	1,70	0,893	29,4	13,44	84,95	38,83
1,20	0,675	40,9	17,79	58,89	25,61	1,71	0,895	29,3	13,4	85,67	39,19
1,21	0,682	40,42	17,6	59,19	25,76	1,72	0,897	29,2	13,37	86,38	39,55
1,22	0,689	39,97	17,42	59,49	25,92	1,73	0,899	29,11	13,34	87,12	39,92
1,23	0,696	39,54	17,24	59,81	26,09	1,74	0,902	29,02	13,31	87,85	40,29
1,24	0,703	39,12	17,07	60,15	26,25	1,75	0,904	28,93	13,28	88,6	40,67
1,25	0,709	38,71	16,91	60,49	26,43	1,76	0,906	28,84	13,25	89,34	41,04
1,26	0,716	38,32	16,76	60,84	26,61	1,77	0,907	28,76	13,22	90,09	41,42
1,27	0,722	37,95	16,61	61,2	26,79	1,78	0,909	28,68	13,19	90,86	41,81
1,28	0,729	37,58	16,47	61,57	26,98	1,79	0,911	28,6	13,17	91,61	42,19
1,29	0,735	37,23	16,33	61,96	27,18	1,80	0,913	28,52	13,14	92,39	42,58
1,30	0,741	36,89	16,2	62,05	27,38	1,81	0,915	28,44	13,12	93,17	42,97
1,31	0,746	36,57	16,07	62,75	27,58	1,82	0,916	28,37	13,09	93,96	43,37
1,32	0,752	36,25	15,95	63,16	27,79	1,83	0,918	28,29	13,07	94,75	43,77
1,33	0,758	35,95	15,83	63,59	28,01	1,84	0,92	28,22	13,05	95,54	44,17
1,34	0,763	35,65	15,72	64,02	28,23	1,85	0,921	28,15	13,02	96,35	44,57
1,35	0,769	35,37	15,61	64,46	28,45	1,86	0,923	28,09	13	97,16	44,98
1,36	0,774	35,09	15,51	64,91	28,68	1,87	0,924	28,02	12,98	97,98	45,09
1,37	0,779	34,83	15,41	65,36	28,91	1,88	0,926	27,95	12,96	98,8	45,81
1,38	0,784	34,57	15,31	65,83	29,15	1,89	0,927	27,89	12,94	99,62	46,22
1,39	0,789	34,32	15,21	66,31	29,39	1,90	0,929	27,83	12,92	100,46	46,64
1,40	0,793	34,08	15,12	66,79	29,64	1,91	0,93	27,77	12,9	101,3	47,06
1,41	0,798	33,85	15,04	67,29	29,89	1,92	0,931	27,71	12,88	102,14	47,49
1,42	0,803	33,62	14,95	67,79	30,15	1,93	0,933	27,65	12,86	103	47,92
1,43	0,807	33,4	14,87	68,3	30,4	1,94	0,934	27,6	12,85	103,85	48,35
1,44	0,811	33,19	14,79	68,82	30,67	1,95	0,935	27,54	12,83	104,72	48,78
1,45	0,815	32,98	14,71	69,34	30,94	1,96	0,936	27,49	12,81	105,58	49,21
1,46	0,82	32,78	14,64	69,88	31,21	1,97	0,938	27,43	12,8	106,45	49,65
1,47	0,824	32,59	14,57	70,42	31,48	1,98	0,939	27,38	12,78	107,35	50,1
1,48	0,827	32,4	14,5	70,97	31,76	1,99	0,94	27,33	12,76	108,23	50,55
1,49	0,831	32,22	14,43	71,53	32,04	2,00	0,941	27,28	12,75	109,12	50,99
1,50	0,835	32,04	14,37	72,1	32,33						

Fonte Prof. Willian, (2013)

Anexo 8 - Tabelas de Bares

Tabela 2.3a										
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME										
Tipo										Tipo
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	μ_x	μ_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	
1,00	4,23	4,23	2,91	3,54	8,40	3,54	8,40	2,91	1,00	
1,05	4,62	4,25	3,26	3,64	8,79	3,77	8,79	2,84	1,05	
1,10	5,00	4,27	3,61	3,74	9,18	3,99	9,17	2,76	1,10	
1,15	5,38	4,25	3,98	3,80	9,53	4,19	9,49	2,68	1,15	
1,20	5,75	4,22	4,35	3,86	9,88	4,38	9,80	2,59	1,20	
1,25	6,10	4,17	4,72	3,89	10,16	4,55	10,06	2,51	1,25	
1,30	6,44	4,12	5,09	3,92	10,41	4,71	10,32	2,42	1,30	
1,35	6,77	4,06	5,44	3,93	10,64	4,86	10,54	2,34	1,35	
1,40	7,10	4,00	5,79	3,94	10,86	5,00	10,75	2,25	1,40	
1,45	7,41	3,95	6,12	3,91	11,05	5,12	10,92	2,19	1,45	
1,50	7,72	3,89	6,45	3,88	11,23	5,24	11,09	2,12	1,50	
1,55	7,99	3,82	6,76	3,85	11,39	5,34	11,23	2,04	1,55	
1,60	8,26	3,74	7,07	3,81	11,55	5,44	11,36	1,95	1,60	
1,65	8,50	3,66	7,28	3,78	11,67	5,53	11,48	1,87	1,65	
1,70	8,74	3,58	7,49	3,74	11,79	5,61	11,60	1,79	1,70	
1,75	8,95	3,53	7,53	3,69	11,88	5,68	11,72	1,74	1,75	
1,80	9,16	3,47	7,56	3,63	11,96	5,75	11,84	1,68	1,80	
1,85	9,35	3,38	8,10	3,58	12,05	5,81	11,94	1,67	1,85	
1,90	9,54	3,29	8,63	3,53	12,14	5,86	12,03	1,59	1,90	
1,95	9,73	3,23	8,86	3,45	12,17	5,90	12,08	1,54	1,95	
2,00	9,91	3,16	9,08	3,36	12,20	5,94	12,13	1,48	2,00	
> 2,00	12,50	3,16	12,50	3,36	12,20	7,03	12,50	1,48	> 2,00	

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell_x^3}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

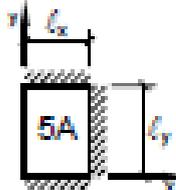
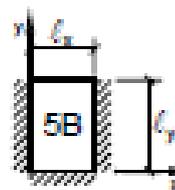
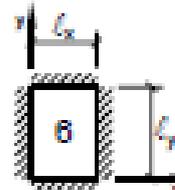
Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.3b												
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME												
Tipo											Tipo	
	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x		μ_y
1,00	2,69	6,99	2,69	6,99	2,01	3,09	6,99	3,09	6,99	2,01	1,00	
1,05	2,94	7,43	2,68	7,18	2,32	3,23	7,43	3,22	7,20	1,92	1,05	
1,10	3,19	7,87	2,67	7,36	2,63	3,36	7,87	3,35	7,41	1,83	1,10	
1,15	3,42	8,28	2,65	7,50	2,93	3,46	8,26	3,46	7,56	1,73	1,15	
1,20	3,65	8,69	2,62	7,63	3,22	3,56	8,65	3,57	7,70	1,63	1,20	
1,25	3,86	9,03	2,56	7,72	3,63	3,64	9,03	3,66	7,82	1,56	1,25	
1,30	4,06	9,37	2,50	7,81	3,99	3,72	9,33	3,74	7,93	1,49	1,30	
1,35	4,24	9,65	2,45	7,88	4,34	3,77	9,69	3,80	8,02	1,41	1,35	
1,40	4,42	9,93	2,39	7,94	4,69	3,82	10,00	3,86	8,11	1,33	1,40	
1,45	4,58	10,17	2,32	8,00	5,03	3,86	10,25	3,91	8,13	1,26	1,45	
1,50	4,73	10,41	2,25	8,06	5,37	3,90	10,49	3,96	8,15	1,19	1,50	
1,55	4,86	10,62	2,16	8,09	5,70	3,90	10,70	4,00	8,20	1,14	1,55	
1,60	4,99	10,82	2,07	8,12	6,03	3,89	10,91	4,04	8,25	1,08	1,60	
1,65	5,10	10,99	1,99	8,14	6,35	3,85	11,08	4,07	8,28	1,03	1,65	
1,70	5,21	11,16	1,91	8,15	6,67	3,81	11,24	4,10	8,30	0,98	1,70	
1,75	5,31	11,30	1,85	8,16	6,97	3,79	11,39	4,12	8,31	0,95	1,75	
1,80	5,40	11,43	1,78	8,17	7,27	3,76	11,53	4,14	8,32	0,91	1,80	
1,85	5,48	11,55	1,72	8,17	7,55	3,72	11,65	4,15	8,33	0,87	1,85	
1,90	5,56	11,67	1,66	8,18	7,82	3,67	11,77	4,16	8,33	0,83	1,90	
1,95	5,63	11,78	1,63	8,19	8,09	3,60	11,83	4,16	8,33	0,80	1,95	
2,00	5,70	11,89	1,60	8,20	8,35	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	2,00	
> 2,00	7,03	12,50	1,60	8,20	12,50	3,52	11,88	4,17	8,33	0,76	> 2,00	

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p l_x^3}{100}$ $p =$ carga uniforme $l_x =$ menor vão

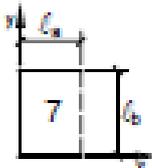
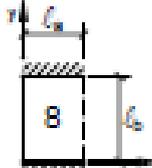
Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.3c													
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME													
Tipo													Tipo
	$\lambda = \frac{l_y}{l_x}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	μ'_y	μ_x	μ'_x	μ_y	
1,00	2,02	5,46	2,52	6,17	2,52	6,17	2,02	5,46	2,02	5,15	2,02	5,15	1,00
1,05	2,27	5,98	2,56	6,46	2,70	6,47	1,97	5,56	2,22	5,50	2,00	5,29	1,05
1,10	2,52	6,50	2,60	6,75	2,87	6,76	1,91	5,65	2,42	5,85	1,98	5,43	1,10
1,15	2,76	7,11	2,63	6,97	3,02	6,99	1,84	5,70	2,65	6,14	1,94	5,51	1,15
1,20	3,00	7,72	2,65	7,19	3,16	7,22	1,77	5,75	2,87	6,43	1,89	5,59	1,20
1,25	3,23	8,31	2,64	7,36	3,28	7,40	1,70	5,75	2,97	6,67	1,83	5,64	1,25
1,30	3,45	8,59	2,61	7,51	3,40	7,57	1,62	5,76	3,06	6,90	1,77	5,68	1,30
1,35	3,66	8,74	2,57	7,63	3,50	7,70	1,55	5,75	3,19	7,09	1,71	5,69	1,35
1,40	3,86	8,88	2,53	7,74	3,59	7,82	1,47	5,74	3,32	7,28	1,65	5,70	1,40
1,45	4,05	9,16	2,48	7,83	3,67	7,91	1,41	5,73	3,43	7,43	1,57	5,71	1,45
1,50	4,23	9,44	2,43	7,91	3,74	8,00	1,35	5,72	3,53	7,57	1,49	5,72	1,50
1,55	4,39	9,68	2,39	7,98	3,80	8,07	1,29	5,69	3,61	7,68	1,43	5,72	1,55
1,60	4,55	9,91	2,34	8,02	3,86	8,14	1,23	5,66	3,69	7,79	1,38	5,72	1,60
1,65	4,70	10,13	2,28	8,03	3,91	8,20	1,18	5,62	3,76	7,88	1,29	5,72	1,65
1,70	4,84	10,34	2,22	8,10	3,95	8,25	1,13	5,58	3,83	7,97	1,21	5,72	1,70
1,75	4,97	10,53	2,15	8,13	3,99	8,30	1,07	5,56	3,88	8,05	1,17	5,72	1,75
1,80	5,10	10,71	2,08	8,17	4,02	8,34	1,00	5,54	3,92	8,12	1,13	5,72	1,80
1,85	5,20	10,88	2,02	8,16	4,05	8,38	0,97	5,55	3,96	8,18	1,07	5,72	1,85
1,90	5,30	11,04	1,96	8,14	4,08	8,42	0,94	5,56	3,99	8,24	1,01	5,72	1,90
1,95	5,40	11,20	1,88	8,13	4,10	8,45	0,91	5,60	4,02	8,29	0,99	5,72	1,95
2,00	5,50	11,35	1,80	8,12	4,12	8,47	0,88	5,64	4,05	8,33	0,96	5,72	2,00
> 2,00	7,03	12,50	1,80	8,12	4,17	8,33	0,88	5,64	4,17	8,33	0,96	5,72	> 2,00

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell_x^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

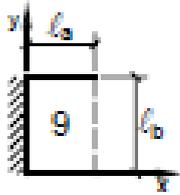
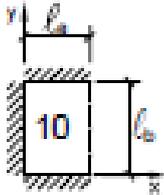
Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.3d									
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
Tipo									Tipo
	$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$	μ_x	μ_y	μ_{yb}	μ_x	μ_y	μ_{yb}	μ'_y	
0,30	11,33	15,89	28,44	10,44	14,22	25,55	41,89	77,00	0,30
0,35	10,63	15,60	27,19	8,85	12,86	22,37	35,69	62,94	0,35
0,40	9,94	15,31	25,94	7,25	11,50	19,19	29,50	48,88	0,40
0,45	9,13	14,48	24,47	6,22	10,39	16,82	25,89	41,36	0,45
0,50	8,32	13,64	23,00	5,20	9,28	14,44	22,28	33,84	0,50
0,55	7,58	12,95	21,56	4,57	8,35	12,82	19,64	28,76	0,55
0,60	6,83	12,25	20,11	3,94	7,42	11,19	17,00	23,67	0,60
0,65	6,21	11,59	18,71	3,45	6,76	9,94	15,26	20,55	0,65
0,70	5,59	10,92	17,31	2,98	6,10	8,69	13,51	17,43	0,70
0,75	5,09	10,24	15,86	2,51	5,54	7,77	12,28	15,38	0,75
0,80	4,59	9,55	14,41	2,23	4,98	6,84	11,05	13,33	0,80
0,85	4,16	9,09	13,61	1,95	4,65	6,15	10,12	11,91	0,85
0,90	3,73	8,63	12,80	1,68	4,31	5,46	9,19	10,49	0,90
0,95	3,39	8,14	11,94	1,47	3,97	4,96	8,45	9,49	0,95
1,00	3,05	7,64	11,08	1,26	3,62	4,45	7,71	8,48	1,00
1,05	3,05	7,94	11,31	1,23	3,68	4,45	7,80	8,48	1,05
1,10	3,06	8,24	11,55	1,19	3,74	4,46	7,88	8,47	1,10
1,15	3,06	8,53	11,78	1,16	3,80	4,47	7,97	8,46	1,15
1,20	3,07	8,83	12,01	1,12	3,86	4,47	8,05	8,46	1,20
1,25	3,03	9,01	12,12	1,09	3,90	4,47	8,09	8,46	1,25
1,30	3,00	9,19	12,22	1,06	3,93	4,47	8,13	8,46	1,30
1,35	2,97	9,38	12,33	1,03	3,97	4,48	8,17	8,46	1,35
1,40	2,94	9,56	12,43	0,99	4,01	4,48	8,20	8,45	1,40
1,45	2,91	9,74	12,54	0,96	4,05	4,49	8,24	8,45	1,45
1,50	2,88	9,92	12,64	0,92	4,08	4,49	8,28	8,45	1,50
1,55	2,84	10,04	12,69	0,90	4,09	4,49	8,29	8,45	1,55
1,60	2,81	10,15	12,74	0,88	4,10	4,49	8,29	8,45	1,60
1,65	2,77	10,29	12,80	0,86	4,11	4,49	8,30	8,45	1,65
1,70	2,74	10,41	12,85	0,84	4,12	4,49	8,30	8,45	1,70
1,75	2,70	10,53	12,90	0,82	4,13	4,50	8,31	8,45	1,75
1,80	2,66	10,65	12,95	0,80	4,13	4,50	8,31	8,45	1,80
1,85	2,63	10,77	13,00	0,78	4,14	4,50	8,32	8,45	1,85
1,90	2,59	10,90	13,06	0,76	4,15	4,50	8,32	8,45	1,90
1,95	2,56	11,02	13,11	0,74	4,16	4,50	8,33	8,45	1,95
2,00	2,52	11,14	13,16	0,72	4,17	4,50	8,33	8,45	2,00
> 2,00	2,52	12,50	13,16	0,72	4,17	4,50	8,33	8,45	> 2,00

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell =$ menor valor entre ℓ_a e ℓ_b

Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.3e												
MOMENTOS FLETORES EM LAJES COM CARGA UNIFORME												
Tipo									Tipo			
$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$	μ_x	μ'_x	μ_y	μ_{yb}	μ_x	μ'_x	μ_y	μ_{yb}	μ'_y	μ'_{yb}	$\gamma = \frac{l_a}{l_b}$	
< 0,30	-12,50	50,00	0,78	6,22	-12,50	50,00	2,11	8,67	14,56	37,00	< 0,30	
0,30	-7,33	43,08	0,78	6,22	-4,89	38,33	2,11	8,67	14,56	37,00	0,30	
0,35	-5,17	39,98	1,89	7,89	-2,57	33,08	3,18	9,74	14,84	35,53	0,35	
0,40	-3,00	36,87	3,00	9,56	-0,25	27,83	4,25	10,81	15,13	34,06	0,40	
0,45	-1,78	33,89	3,62	10,54	0,54	23,94	4,53	10,77	14,26	31,21	0,45	
0,50	-0,56	30,91	4,24	11,52	1,32	20,04	4,80	10,72	13,40	28,36	0,50	
0,55	0,25	28,02	4,62	11,82	1,62	17,40	4,86	9,99	12,48	25,26	0,55	
0,60	1,06	25,13	5,00	12,11	1,92	14,76	4,92	9,25	11,56	22,17	0,60	
0,65	1,47	22,90	5,25	12,12	1,91	12,91	4,68	8,55	10,81	19,63	0,65	
0,70	1,88	20,66	5,49	12,12	1,90	11,06	4,43	7,84	10,06	17,08	0,70	
0,75	2,06	18,84	5,61	11,81	1,82	9,86	4,14	7,15	9,42	15,17	0,75	
0,80	2,23	17,02	5,72	11,50	1,73	8,65	3,86	6,45	8,77	13,25	0,80	
0,85	2,26	15,59	5,66	11,05	1,64	7,78	3,59	5,86	8,19	11,87	0,85	
0,90	2,28	14,16	5,60	10,59	1,54	6,91	3,33	5,26	7,60	10,49	0,90	
0,95	2,25	12,99	5,48	10,07	1,40	6,25	3,11	4,81	7,12	9,50	0,95	
1,00	2,21	11,82	5,36	9,55	1,25	5,59	2,88	4,35	6,64	8,51	1,00	
1,05	2,33	11,91	5,72	9,91	1,25	5,59	2,98	4,37	6,82	8,50	1,05	
1,10	2,45	12,00	6,08	10,27	1,24	5,58	3,08	4,39	6,99	8,50	1,10	
1,15	2,57	12,08	6,44	10,62	1,24	5,58	3,18	4,41	7,17	8,49	1,15	
1,20	2,69	12,17	6,80	10,98	1,24	5,57	3,27	4,43	7,34	8,48	1,20	
1,25	2,67	12,20	7,09	11,20	1,20	5,57	3,34	4,44	7,44	8,48	1,25	
1,30	2,64	12,22	7,37	11,42	1,17	5,57	3,41	4,45	7,54	8,47	1,30	
1,35	2,62	12,25	7,55	11,54	1,14	5,57	3,49	4,46	7,64	8,47	1,35	
1,40	2,59	12,28	7,93	11,85	1,11	5,58	3,56	4,47	7,73	8,47	1,40	
1,45	2,57	12,31	8,22	12,07	1,09	5,58	3,63	4,48	7,83	8,46	1,45	
1,50	2,54	12,33	8,50	12,29	1,06	5,58	3,70	4,49	7,93	8,46	1,50	
1,55	2,56	12,35	8,68	12,37	1,04	5,58	3,74	4,49	7,97	8,46	1,55	
1,60	2,58	12,36	8,86	12,45	1,01	5,58	3,77	4,49	8,00	8,46	1,60	
1,65	2,59	12,38	9,04	12,53	0,99	5,57	3,81	4,49	8,04	8,46	1,65	
1,70	2,61	12,39	9,22	12,61	0,97	5,57	3,84	4,49	8,08	8,46	1,70	
1,75	2,63	12,41	9,41	12,68	0,95	5,57	3,88	4,50	8,12	8,46	1,75	
1,80	2,65	12,42	9,59	12,76	0,93	5,57	3,92	4,50	8,15	8,45	1,80	
1,85	2,67	12,44	9,76	12,84	0,91	5,57	3,95	4,50	8,19	8,45	1,85	
1,90	2,68	12,45	9,94	12,92	0,88	5,56	3,99	4,50	8,23	8,45	1,90	
1,95	2,70	12,47	10,13	13,00	0,86	5,56	4,02	4,50	8,26	8,45	1,95	
2,00	2,72	12,48	10,31	13,08	0,84	5,56	4,06	4,50	8,30	8,45	2,00	
> 2,00	2,72	12,48	12,50	13,08	0,84	5,56	4,17	4,50	8,33	8,45	> 2,00	

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$m = \mu \frac{p \ell^2}{100}$ $p =$ carga uniforme $\ell =$ menor valor entre l_a e l_b

Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.5a									
FLECHAS EM LAJES COM CARGA UNIFORME – VALORES DE α									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo de Laje								
	1	2A	2B	3	4A	4B	5A	5B	6
1,00	4,76	3,26	3,26	2,46	2,25	2,25	1,84	1,84	1,49
1,05	5,26	3,68	3,48	2,72	2,60	2,35	2,08	1,96	1,63
1,10	5,74	4,11	3,70	2,96	2,97	2,45	2,31	2,08	1,77
1,15	6,20	4,55	3,89	3,18	3,35	2,53	2,54	2,18	1,90
1,20	6,64	5,00	4,09	3,40	3,74	2,61	2,77	2,28	2,02
1,25	7,08	5,44	4,26	3,61	4,14	2,68	3,00	2,37	2,14
1,30	7,49	5,88	4,43	3,80	4,56	2,74	3,22	2,46	2,24
1,35	7,90	6,32	4,58	3,99	5,01	2,77	3,42	2,53	2,34
1,40	8,29	6,74	4,73	4,15	5,41	2,80	3,62	2,61	2,41
1,45	8,67	7,15	4,87	4,31	5,83	2,85	3,80	2,67	2,49
1,50	9,03	7,55	5,01	4,46	6,25	2,89	3,98	2,73	2,56
1,55	9,39	7,95	5,09	4,61	6,66	2,91	4,14	2,78	2,62
1,60	9,71	8,32	5,18	4,73	7,06	2,92	4,30	2,82	2,68
1,65	10,04	8,68	5,22	4,86	7,46	2,92	4,45	2,83	2,73
1,70	10,34	9,03	5,26	4,97	7,84	2,93	4,59	2,84	2,77
1,75	10,62	9,36	5,36	5,06	8,21	2,93	4,71	2,86	2,81
1,80	10,91	9,69	5,46	5,16	8,58	2,94	4,84	2,88	2,85
1,85	11,16	10,00	5,53	5,25	8,93	2,94	4,96	2,90	2,88
1,90	11,41	10,29	5,60	5,33	9,25	2,95	5,07	2,92	2,90
1,95	11,65	10,58	5,68	5,41	9,58	2,95	5,17	2,94	2,93
2,00	11,89	10,87	5,76	5,49	9,90	2,96	5,28	2,96	2,96
∞	15,63	15,63	6,50	6,50	15,63	3,13	6,50	3,13	3,13

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$$\alpha = \frac{a}{100} \frac{b}{12} \frac{p \ell_x^4}{E_c I}$$

b = largura da seção ℓ_x = menor vão E_c = módulo de elasticidade
p = carga uniforme ℓ_y = maior vão I = momento de inércia

Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.5b									
FLECHAS EM LAJES COM CARGA UNIFORME – VALORES DE α E α_B									
$\gamma = \frac{\ell_x}{\ell_y}$	Tipo								$\gamma = \frac{\ell_x}{\ell_y}$
	7		8		9		10		
	α	α_B	α	α_B	α	α_B	α	α_B	
< 0,30	-	-	-	-	53,13	150,00	53,13	150,00	< 0,30
0,30	215,71	412,59	134,54	231,53	41,98	110,02	37,54	97,00	0,30
0,35	163,97	309,59	95,26	164,37	37,48	96,70	31,65	78,05	0,35
0,40	122,22	206,59	55,88	97,11	32,98	83,37	25,65	59,09	0,40
0,45	88,76	160,99	41,73	71,35	29,06	71,61	20,89	46,71	0,45
0,50	65,29	115,39	27,58	45,59	25,14	59,85	16,13	34,33	0,50
0,55	52,96	92,40	21,35	34,38	22,12	51,42	13,22	27,07	0,55
0,60	40,63	69,40	15,11	23,16	19,09	42,98	10,31	19,81	0,60
0,65	33,58	56,48	12,07	18,03	16,80	37,00	8,53	15,96	0,65
0,70	26,52	43,56	9,03	12,89	14,50	31,01	6,74	12,11	0,70
0,75	22,14	35,64	7,41	10,31	12,79	26,67	5,63	9,82	0,75
0,80	17,75	27,71	5,78	7,73	11,08	22,33	4,52	7,53	0,80
0,85	15,23	23,54	4,82	6,32	9,78	19,25	3,84	6,19	0,85
0,90	12,71	19,37	3,86	4,90	8,47	16,16	3,15	4,84	0,90
0,95	10,92	16,48	3,26	4,08	7,49	13,96	2,71	4,04	0,95
1,00	9,13	13,58	2,66	3,25	6,50	11,76	2,26	3,24	1,00
1,05	9,46	13,85	2,71	3,26	6,91	12,19	2,34	3,26	1,05
1,10	9,79	14,11	2,76	3,28	7,32	12,60	2,42	3,27	1,10
1,15	10,12	14,38	2,81	3,29	7,72	13,01	2,49	3,29	1,15
1,20	10,45	14,64	2,86	3,30	8,13	13,46	2,57	3,30	1,20
1,25	10,69	14,77	2,88	3,31	8,46	13,72	2,61	3,31	1,25
1,30	10,93	14,91	2,90	3,31	8,80	13,97	2,64	3,31	1,30
1,35	11,18	15,04	2,93	3,32	9,13	14,23	2,68	3,32	1,35
1,40	11,42	15,17	2,95	3,33	9,46	14,48	2,71	3,33	1,40
1,45	11,66	15,31	2,97	3,33	9,80	14,74	2,75	3,33	1,45
1,50	11,90	15,44	2,99	3,34	10,13	14,99	2,78	3,34	1,50
1,55	12,04	15,50	3,00	3,34	10,36	15,09	2,79	3,34	1,55
1,60	12,18	15,55	3,00	3,34	10,57	15,19	2,80	3,34	1,60
1,65	12,31	15,61	3,01	3,35	10,79	15,29	2,81	3,35	1,65
1,70	12,45	15,66	3,01	3,35	11,01	15,39	2,82	3,35	1,70
1,75	12,59	15,72	3,02	3,35	12,23	15,50	2,83	3,35	1,75
1,80	12,73	15,78	3,02	3,35	11,44	15,60	2,84	3,35	1,80
1,85	12,87	15,83	3,03	3,35	11,66	15,70	2,85	3,35	1,85
1,90	13,00	15,89	3,03	3,36	11,88	15,80	2,86	3,36	1,90
1,95	13,14	15,94	3,04	3,36	12,10	15,90	2,87	3,36	1,95
2,00	13,28	16,00	3,04	3,36	12,32	16,00	2,88	3,36	2,00
∞	15,63	16,00	3,13	3,36	15,63	16,00	3,13	3,36	∞

Valores extraídos de BARES (1972) e adaptados por L.M. Pinheiro.

$$\alpha = \frac{a}{100} \frac{b}{12} \frac{p \ell_x^4}{E_c I}$$

b = largura da seção ℓ_x = menor vão E_c = módulo de elasticidade
 p = carga uniforme ℓ_y = maior vão I = momento de inércia

Fonte: Pinheiro, (2007)

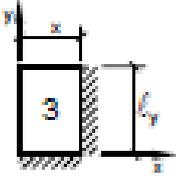
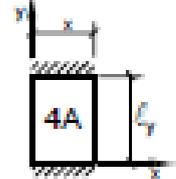
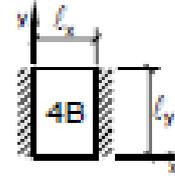
Tabela 2.2a									
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
	1		2A			2B			
	v_x	v_y	v_x	v_y	v'_y	v_x	v'_x	v_y	
1,00	2,50	2,50	1,83	2,75	4,02	2,75	4,02	1,83	1,00
1,05	2,62	2,50	1,82	2,80	4,10	2,82	4,13	1,83	1,05
1,10	2,73	2,50	2,01	2,85	4,17	2,89	4,23	1,83	1,10
1,15	2,83	2,50	2,10	2,88	4,22	2,95	4,32	1,83	1,15
1,20	2,92	2,50	2,20	2,91	4,27	3,01	4,41	1,83	1,20
1,25	3,00	2,50	2,29	2,94	4,30	3,06	4,48	1,83	1,25
1,30	3,08	2,50	2,38	2,95	4,32	3,11	4,55	1,83	1,30
1,35	3,15	2,50	2,47	2,96	4,33	3,16	4,62	1,83	1,35
1,40	3,21	2,50	2,56	2,96	4,33	3,20	4,68	1,83	1,40
1,45	3,28	2,50	2,64	2,96	4,33	3,24	4,74	1,83	1,45
1,50	3,33	2,50	2,72	2,96	4,33	3,27	4,79	1,83	1,50
1,55	3,39	2,50	2,80	2,96	4,33	3,31	4,84	1,83	1,55
1,60	3,44	2,50	2,87	2,96	4,33	3,34	4,89	1,83	1,60
1,65	3,48	2,50	2,93	2,96	4,33	3,37	4,93	1,83	1,65
1,70	3,53	2,50	2,99	2,96	4,33	3,40	4,97	1,83	1,70
1,75	3,57	2,50	3,05	2,96	4,33	3,42	5,01	1,83	1,75
1,80	3,61	2,50	3,10	2,96	4,33	3,45	5,05	1,83	1,80
1,85	3,65	2,50	3,15	2,96	4,33	3,47	5,09	1,83	1,85
1,90	3,68	2,50	3,20	2,96	4,33	3,50	5,12	1,83	1,90
1,95	3,72	2,50	3,25	2,96	4,33	3,52	5,15	1,83	1,95
2,00	3,75	2,50	3,29	2,96	4,33	3,54	5,18	1,83	2,00
> 2,00	5,00	2,50	5,00	2,96	4,33	4,38	6,25	1,83	> 2,00

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.2b										
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME										
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	
										
	v_x	v'_x	v_y	v'_y	v_x	v'_y	v'_x	v_y		
1,00	2,17	3,17	2,17	3,17	1,44	3,56	3,56	1,44	1,00	
1,05	2,27	3,32	2,17	3,17	1,52	3,66	3,63	1,44	1,05	
1,10	2,36	3,46	2,17	3,17	1,59	3,75	3,69	1,44	1,10	
1,15	2,45	3,58	2,17	3,17	1,66	3,84	3,74	1,44	1,15	
1,20	2,53	3,70	2,17	3,17	1,73	3,92	3,80	1,44	1,20	
1,25	2,60	3,80	2,17	3,17	1,80	3,99	3,85	1,44	1,25	
1,30	2,63	3,90	2,17	3,17	1,88	4,06	3,89	1,44	1,30	
1,35	2,73	3,99	2,17	3,17	1,95	4,12	3,93	1,44	1,35	
1,40	2,78	4,08	2,17	3,17	2,02	4,17	3,97	1,44	1,40	
1,45	2,84	4,15	2,17	3,17	2,09	4,22	4,00	1,44	1,45	
1,50	2,89	4,23	2,17	3,17	2,17	4,25	4,04	1,44	1,50	
1,55	2,93	4,29	2,17	3,17	2,24	4,28	4,07	1,44	1,55	
1,60	2,98	4,36	2,17	3,17	2,31	4,30	4,10	1,44	1,60	
1,65	3,02	4,42	2,17	3,17	2,38	4,32	4,13	1,44	1,65	
1,70	3,06	4,48	2,17	3,17	2,45	4,33	4,15	1,44	1,70	
1,75	3,09	4,53	2,17	3,17	2,53	4,33	4,18	1,44	1,75	
1,80	3,13	4,58	2,17	3,17	2,59	4,33	4,20	1,44	1,80	
1,85	3,16	4,63	2,17	3,17	2,63	4,33	4,22	1,44	1,85	
1,90	3,19	4,67	2,17	3,17	2,72	4,33	4,24	1,44	1,90	
1,95	3,22	4,71	2,17	3,17	2,78	4,33	4,26	1,44	1,95	
2,00	3,25	4,75	2,17	3,17	2,83	4,33	4,28	1,44	2,00	
> 2,00	4,38	6,25	2,17	3,17	5,00	4,33	5,00	1,44	> 2,00	

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: Pinheiro, (2007)

Tabela 2.2c									
REAÇÕES DE APOIO EM LAJES COM CARGA UNIFORME									
$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$	Tipo								$\lambda = \frac{\ell_y}{\ell_x}$
	v_x	v'_x	v'_y	v'_x	v_y	v'_y	v'_x	v'_y	
1,00	1,71	2,50	3,03	3,03	1,71	2,50	2,50	2,50	1,00
1,05	1,79	2,63	3,08	3,12	1,71	2,50	2,62	2,50	1,05
1,10	1,88	2,75	3,11	3,21	1,71	2,50	2,73	2,50	1,10
1,15	1,96	2,88	3,14	3,29	1,71	2,50	2,83	2,50	1,15
1,20	2,05	3,00	3,16	3,36	1,71	2,50	2,92	2,50	1,20
1,25	2,13	3,13	3,17	3,42	1,71	2,50	3,00	2,50	1,25
1,30	2,22	3,25	3,17	3,48	1,71	2,50	3,08	2,50	1,30
1,35	2,30	3,36	3,17	3,54	1,71	2,50	3,15	2,50	1,35
1,40	2,37	3,47	3,17	3,59	1,71	2,50	3,21	2,50	1,40
1,45	2,44	3,57	3,17	3,64	1,71	2,50	3,28	2,50	1,45
1,50	2,50	3,66	3,17	3,69	1,71	2,50	3,33	2,50	1,50
1,55	2,56	3,75	3,17	3,73	1,71	2,50	3,39	2,50	1,55
1,60	2,61	3,83	3,17	3,77	1,71	2,50	3,44	2,50	1,60
1,65	2,67	3,90	3,17	3,81	1,71	2,50	3,48	2,50	1,65
1,70	2,72	3,98	3,17	3,84	1,71	2,50	3,53	2,50	1,70
1,75	2,76	4,04	3,17	3,87	1,71	2,50	3,57	2,50	1,75
1,80	2,80	4,11	3,17	3,90	1,71	2,50	3,61	2,50	1,80
1,85	2,85	4,17	3,17	3,93	1,71	2,50	3,65	2,50	1,85
1,90	2,89	4,22	3,17	3,96	1,71	2,50	3,68	2,50	1,90
1,95	2,92	4,28	3,17	3,99	1,71	2,50	3,72	2,50	1,95
2,00	2,96	4,33	3,17	4,01	1,71	2,50	3,75	2,50	2,00
> 2,00	4,38	6,25	3,17	5,00	1,71	2,50	5,00	2,50	> 2,00

Elaborada por L.M. Pinheiro, conforme o processo das áreas da NBR 6118.

$v = v \frac{p \ell_x}{10}$ $p =$ carga uniforme $\ell_x =$ menor vão

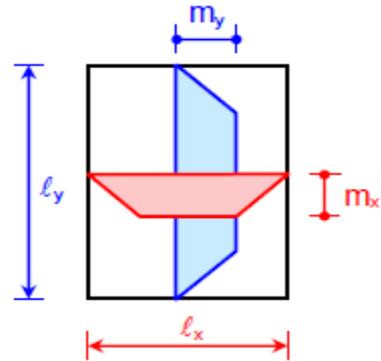
(*) Alívios considerados pela metade, prevendo a possibilidade de engastes parciais.

Fonte: Pinheiro, (2007)

Anexo 9 - Czerny

Tipo 1

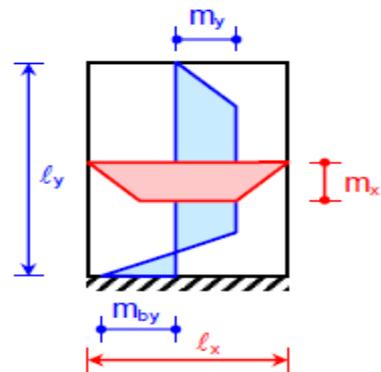
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	22,7	22,7			21,4
1,05	20,8	22,5			19,4
1,10	19,3	22,3			17,8
1,15	18,1	22,3			16,5
1,20	16,9	22,3			15,4
1,25	15,9	22,4			14,3
1,30	15,2	22,7			13,6
1,35	14,4	22,9			12,9
1,40	13,8	23,1			12,3
1,45	13,2	23,3			11,7
1,50	12,7	23,5			11,2
1,55	12,3	23,5			10,8
1,60	11,9	23,5			10,4
1,65	11,5	23,5			10,1
1,70	11,2	23,5			9,8
1,75	10,8	23,5			9,5
1,80	10,7	23,5			9,3
1,85	10,4	23,5			9,1
1,90	10,2	23,5			8,9
1,95	10,1	23,5			8,7
2,00	9,9	23,5			8,6
>2	8,0	23,5			6,7



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 2

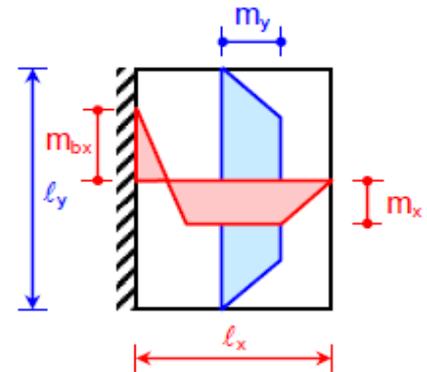
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	32,4	26,5		11,9	31,2
1,05	29,2	25,0		11,3	27,6
1,10	26,1	24,4		10,9	24,7
1,15	23,7	23,9		10,4	22,3
1,20	22,0	23,8		10,1	20,3
1,25	20,2	23,6		9,8	18,7
1,30	19,0	23,7		9,6	17,3
1,35	17,8	23,7		9,3	16,1
1,40	16,8	23,8		9,2	15,1
1,45	15,8	23,9		9,0	14,2
1,50	15,1	24,0		8,9	13,5
1,55	14,3	24,0		8,8	12,8
1,60	13,8	24,0		8,7	12,2
1,65	13,2	24,0		8,6	11,7
1,70	12,8	24,0		8,5	11,2
1,75	12,3	24,0		8,45	10,8
1,80	12,0	24,0		8,4	10,5
1,85	11,5	24,0		8,35	10,1
1,90	11,3	24,0		8,3	9,9
1,95	10,9	24,0		8,25	9,6
2,00	10,8	24,0		8,2	9,4
>2	8,0	24,0		8,0	6,7



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 3

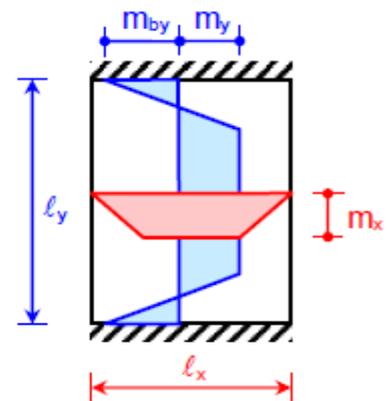
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	26,5	32,4	11,9		31,2
1,05	25,7	33,3	11,3		29,2
1,10	24,4	33,9	10,9		27,4
1,15	23,3	34,5	10,5		26,0
1,20	22,3	34,9	10,2		24,8
1,25	21,4	35,2	9,9		23,8
1,30	20,7	35,4	9,7		22,9
1,35	20,1	37,8	9,4		22,1
1,40	19,7	39,9	9,3		21,5
1,45	19,2	41,1	9,1		20,9
1,50	18,8	42,5	9,0		20,4
1,55	18,3	42,5	8,9		20,0
1,60	17,8	42,5	8,8		19,6
1,65	17,5	42,5	8,7		19,3
1,70	17,2	42,5	8,6		19,0
1,75	17,0	42,5	8,5		18,7
1,80	16,8	42,5	8,4		18,5
1,85	16,5	42,5	8,3		18,3
1,90	16,4	42,5	8,3		18,1
1,95	16,3	42,5	8,3		18,0
2,00	16,2	42,5	8,3		17,8
>2	14,2	42,5	8,0		16,7



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 4

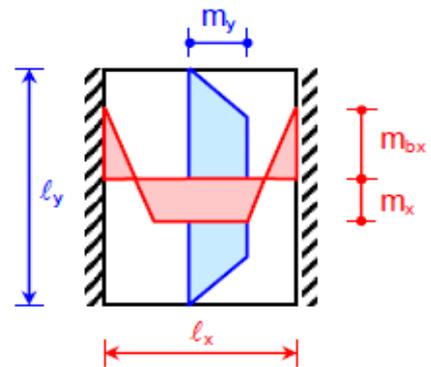
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	46,1	31,6		14,3	45,3
1,05	39,9	29,8		13,4	39,2
1,10	36,0	28,8		12,7	34,4
1,15	31,9	27,9		12,0	30,4
1,20	29,0	26,9		11,5	27,2
1,25	26,2	26,1		11,1	24,5
1,30	24,1	25,6		10,7	22,3
1,35	22,1	25,1		10,3	20,4
1,40	20,6	24,8		10,0	18,8
1,45	19,3	24,6		9,75	17,5
1,50	18,1	24,4		9,5	16,3
1,55	17,0	24,3		9,3	15,3
1,60	16,2	24,3		9,2	14,4
1,65	15,4	24,3		9,05	13,7
1,70	14,7	24,3		8,9	13,0
1,75	14,0	24,3		8,8	12,4
1,80	13,5	24,3		8,7	11,9
1,85	13,0	24,3		8,6	11,4
1,90	12,6	24,3		8,5	11,0
1,95	12,1	24,3		8,4	10,6
2,00	11,8	24,3		8,4	10,3
>2	8,0	24,3		8,0	6,7



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 5

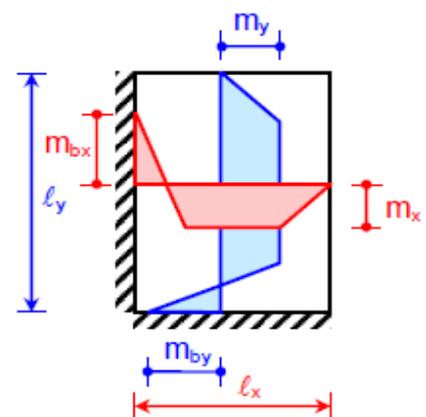
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	31,6	46,1	14,3		45,3
1,05	29,9	46,4	13,8		43,2
1,10	29,0	47,2	13,5		41,5
1,15	28,0	47,7	13,2		40,1
1,20	27,2	48,1	13,0		39,0
1,25	26,4	48,2	12,7		37,9
1,30	25,8	48,1	12,6		37,2
1,35	25,3	47,9	12,4		36,5
1,40	24,8	47,8	12,3		36,0
1,45	24,4	47,7	12,2		35,6
1,50	24,2	47,6	12,2		35,1
1,55	24,0	47,6	12,1		34,7
1,60	24,0	47,6	12,0		34,5
1,65	24,0	47,6	12,0		34,2
1,70	24,0	47,4	12,0		33,9
1,75	24,0	47,3	12,0		33,8
1,80	24,0	47,2	12,0		33,7
1,85	24,0	47,1	12,0		33,6
1,90	24,0	47,1	12,0		33,5
1,95	24,0	47,1	12,0		33,4
2,00	24,0	47,0	12,0		33,3
>2	24,0	47,0	12,0		32,0



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 6

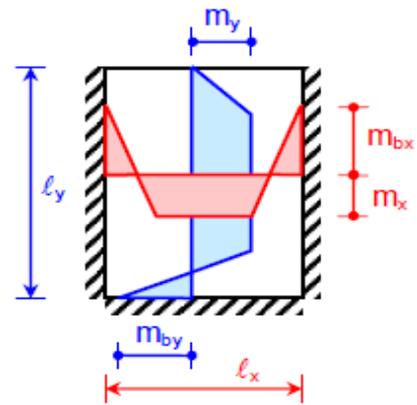
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	34,5	34,5	14,3	14,3	41,3
1,05	32,1	33,7	13,3	13,8	37,1
1,10	30,1	33,9	12,7	13,6	34,5
1,15	28,0	33,9	12,0	13,3	31,7
1,20	26,4	34,0	11,5	13,1	29,9
1,25	24,9	34,4	11,1	12,9	28,2
1,30	23,8	35,0	10,7	12,8	26,8
1,35	23,0	36,6	10,3	12,7	25,5
1,40	22,2	37,8	10,0	12,6	24,5
1,45	21,4	39,1	9,8	12,5	23,5
1,50	20,7	40,2	9,6	12,4	22,7
1,55	20,2	40,2	9,4	12,3	22,1
1,60	19,7	40,2	9,2	12,3	21,5
1,65	19,2	40,2	9,1	12,2	21,0
1,70	18,8	40,2	8,9	12,2	20,5
1,75	18,4	40,2	8,8	12,2	20,1
1,80	18,1	40,2	8,7	12,2	19,7
1,85	17,8	40,2	8,6	12,2	19,4
1,90	17,5	40,2	8,5	12,2	19,0
1,95	17,2	40,2	8,4	12,2	18,8
2,00	17,1	40,2	8,4	12,2	18,5
>2	14,2	40,2	8,0	12,0	16,7



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 7

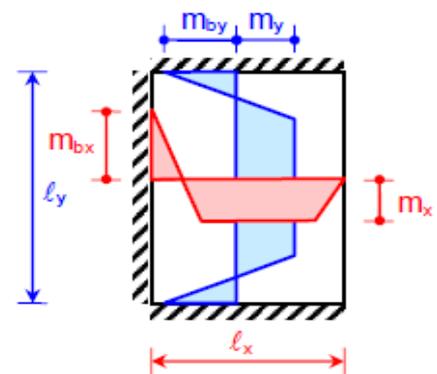
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	38,1	44,6	16,2	18,3	55,4
1,05	35,5	44,8	15,3	17,9	51,6
1,10	33,7	45,7	14,8	17,7	48,7
1,15	32,0	47,1	14,2	17,6	46,1
1,20	30,7	47,6	13,9	17,5	44,1
1,25	29,5	47,7	13,5	17,5	42,5
1,30	28,4	47,7	13,2	17,5	41,2
1,35	27,6	47,9	12,9	17,5	39,9
1,40	26,8	48,1	12,7	17,5	38,9
1,45	26,2	48,3	12,6	17,5	38,0
1,50	25,7	48,7	12,5	17,5	37,2
1,55	25,2	49,0	12,4	17,5	36,5
1,60	24,8	49,4	12,3	17,5	36,0
1,65	24,5	49,8	12,2	17,5	35,4
1,70	24,2	50,2	12,2	17,5	35,0
1,75	24,0	50,7	12,1	17,5	34,6
1,80	24,0	51,3	12,1	17,5	34,4
1,85	24,0	52,0	12,0	17,5	34,2
1,90	24,0	52,6	12,0	17,5	33,9
1,95	24,0	53,4	12,0	17,5	33,8
2,00	24,0	54,1	12,0	17,5	33,7
>2	24,0	54,0	12,0	17,5	32,0



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 8

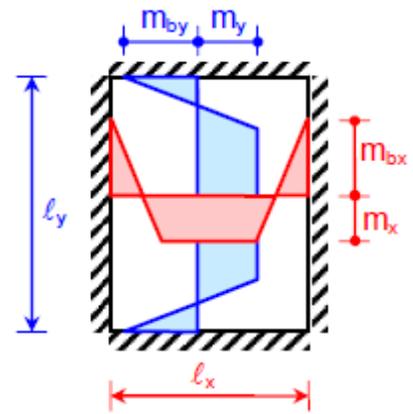
l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	44,6	38,1	18,3	16,2	55,4
1,05	41,7	37,3	16,6	15,4	49,1
1,10	38,1	36,7	15,4	14,8	44,1
1,15	34,9	36,4	14,4	14,3	40,1
1,20	32,1	36,2	13,5	13,9	36,7
1,25	29,8	36,1	12,7	13,5	33,8
1,30	28,0	36,2	12,2	13,3	31,7
1,35	26,4	36,6	11,6	13,1	29,7
1,40	25,2	37,0	11,2	13,0	28,1
1,45	24,0	37,5	10,9	12,8	26,6
1,50	23,1	38,3	10,6	12,7	25,5
1,55	22,3	39,3	10,3	12,6	24,5
1,60	21,7	40,3	10,1	12,6	23,6
1,65	21,1	41,4	9,9	12,5	22,8
1,70	20,4	42,7	9,7	12,5	22,1
1,75	20,0	43,8	9,5	12,4	21,5
1,80	19,5	44,8	9,4	12,4	21,0
1,85	19,1	45,9	9,2	12,3	20,5
1,90	18,7	46,7	9,0	12,3	20,1
1,95	18,4	47,7	8,9	12,3	19,7
2,00	18,0	48,6	8,8	12,3	19,3
>2	14,2	48,6	8,0	12,0	16,7



Fonte: Machado e Marino, (2016).

Tipo 9

l_y/l_x	α_x	α_y	β_x	β_y	α_a
1,00	47,3	47,3	19,4	19,4	68,5
1,05	43,1	47,3	18,2	18,8	62,4
1,10	40,0	47,8	17,1	18,4	57,6
1,15	37,3	48,3	16,3	18,1	53,4
1,20	35,2	49,3	15,5	17,9	50,3
1,25	33,4	50,5	14,9	17,7	47,6
1,30	31,8	51,7	14,5	17,6	45,3
1,35	30,7	53,3	14,0	17,5	43,4
1,40	29,6	54,8	13,7	17,5	42,0
1,45	28,6	56,4	13,4	17,5	40,5
1,50	27,8	57,3	13,2	17,5	39,5
1,55	27,2	57,6	13,0	17,5	38,4
1,60	26,6	57,8	12,8	17,5	37,6
1,65	26,1	57,9	12,7	17,5	36,9
1,70	25,5	57,8	12,5	17,5	36,3
1,75	25,1	57,7	12,4	17,5	35,8
1,80	24,8	57,6	12,3	17,5	35,4
1,85	24,5	57,5	12,2	17,5	35,1
1,90	24,2	57,4	12,1	17,5	34,7
1,95	24,0	57,2	12,0	17,5	33,8
2,00	24,0	57,1	12,0	17,5	34,5
>2	24,0	57,0	12,0	17,5	34,3



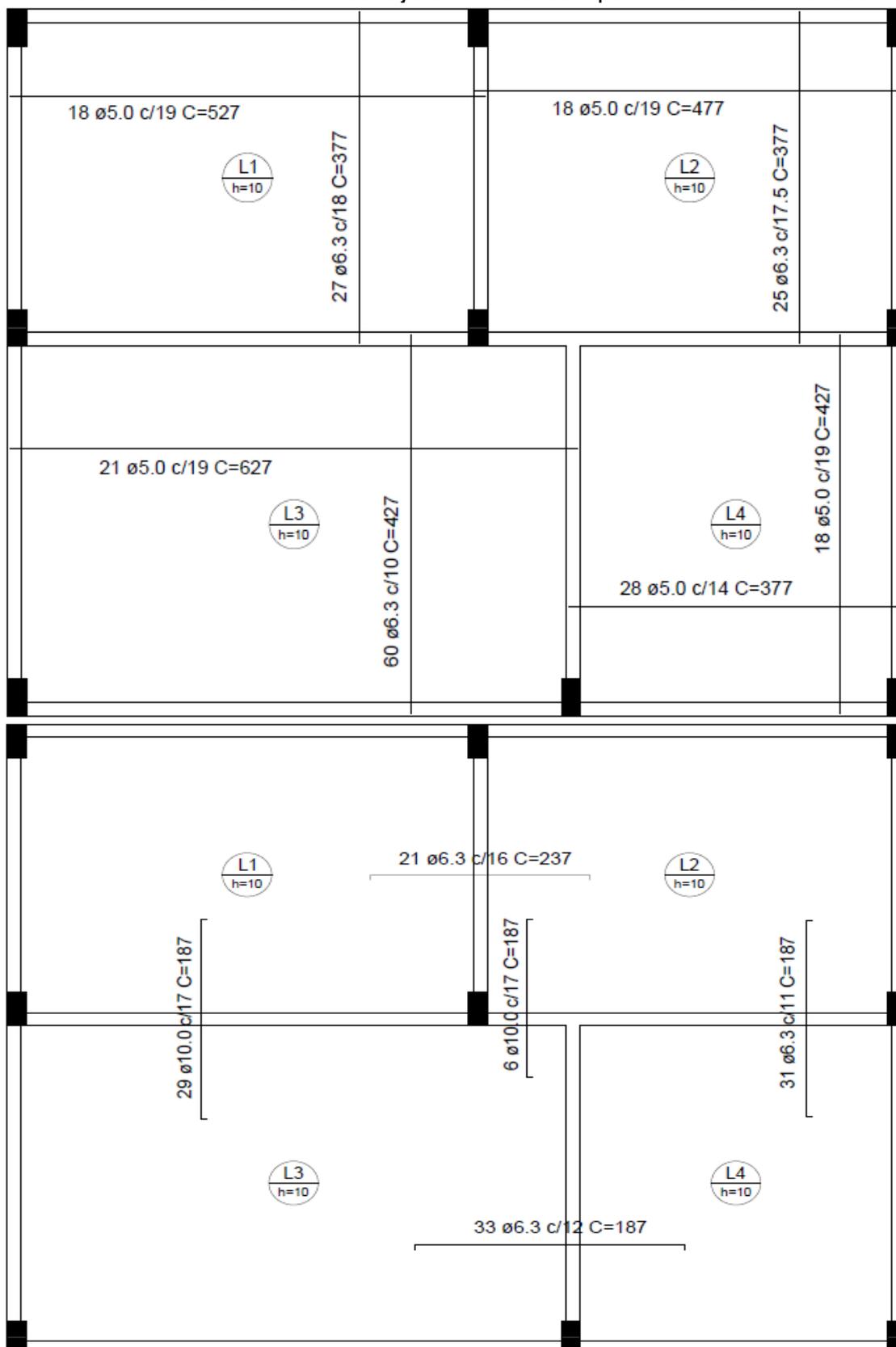
Fonte: Machado e Marino, (2016).

Anexo 10 - Área de armaduras de aço

Tabela 10 - Área de Armadura para lajes						
Área em cm ² /m de armadura						
Espaçamento (cm)	Bitola da barra de aço em mm					
	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5	16,0
7,5	3.33	4.19	6.66	10.66	16.66	26.66
8	2,50	3.93	6.25	10,00*	15.62	25,00
9	2,22	3,50	5.55	8.88	13.88	22.22
10	2,00	3.15	5,00	8,00	12.5	20,00
11	1,82	2.86	4.54	7.27	11.36	18.18
12	1.67	2.62	4.16	6.66	10.41	16.66
12.5	1,60	2.52	4,00	6,40	10,00	16,00
13	1.54	2.42	3.84	6.15	9.61	15.38
14	1.43	2.25	3.57	5.71	8.92	14.28
15	1.33	2,10	3.33	5.33	8.33	13.33
16	1.25	1.96	3.12	5,00	7.81	12,50
17	1.18	1.85	2.94	4,70	7.35	11.76
18	1.11	1.75	2.77	4.44	6.94	11.11
19	1.05	1.65	2.63	4.21	6.57	10.52
20	1,00	1.57	2,50	4,00	6.25	10,00
21	0.95	1,50	2.38	3,80	5.95	9.52
22	0.91	1.43	2.27	3.63	5.68	9.09
23	0.87	1.36	2.17	3.47	5.43	8.69
24	0.83	1.31	2.08	3.33	5,20	8.33
25	0,80	1.26	2,00	3.2	5,00	8,00
26	0.77	1.21	1.92	3.07	4,80	7.69
27	0.74	1.16	1.85	2.96	4.62	7,40
28	0.71	1.12	1.78	2.85	4.46	7.14
29	0.69	1.08	1.72	2.75	4.31	5.89
30	0.67	1.05	1.66	2.66	4.16	6.66

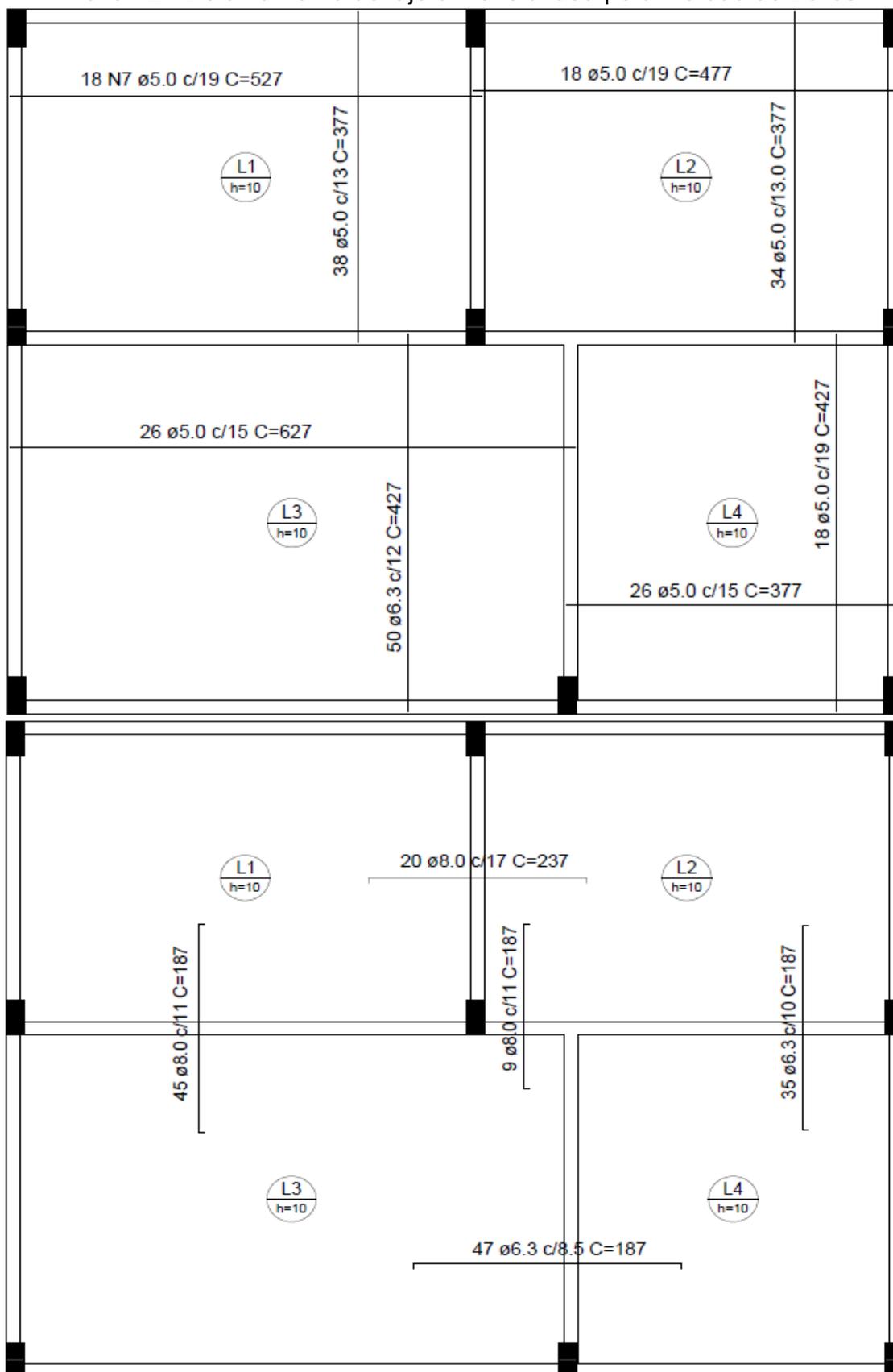
Fonte: Pinheiro, (2007)

Anexo 11 - Detalhamento de laje dimensionada pelo método de Marcus



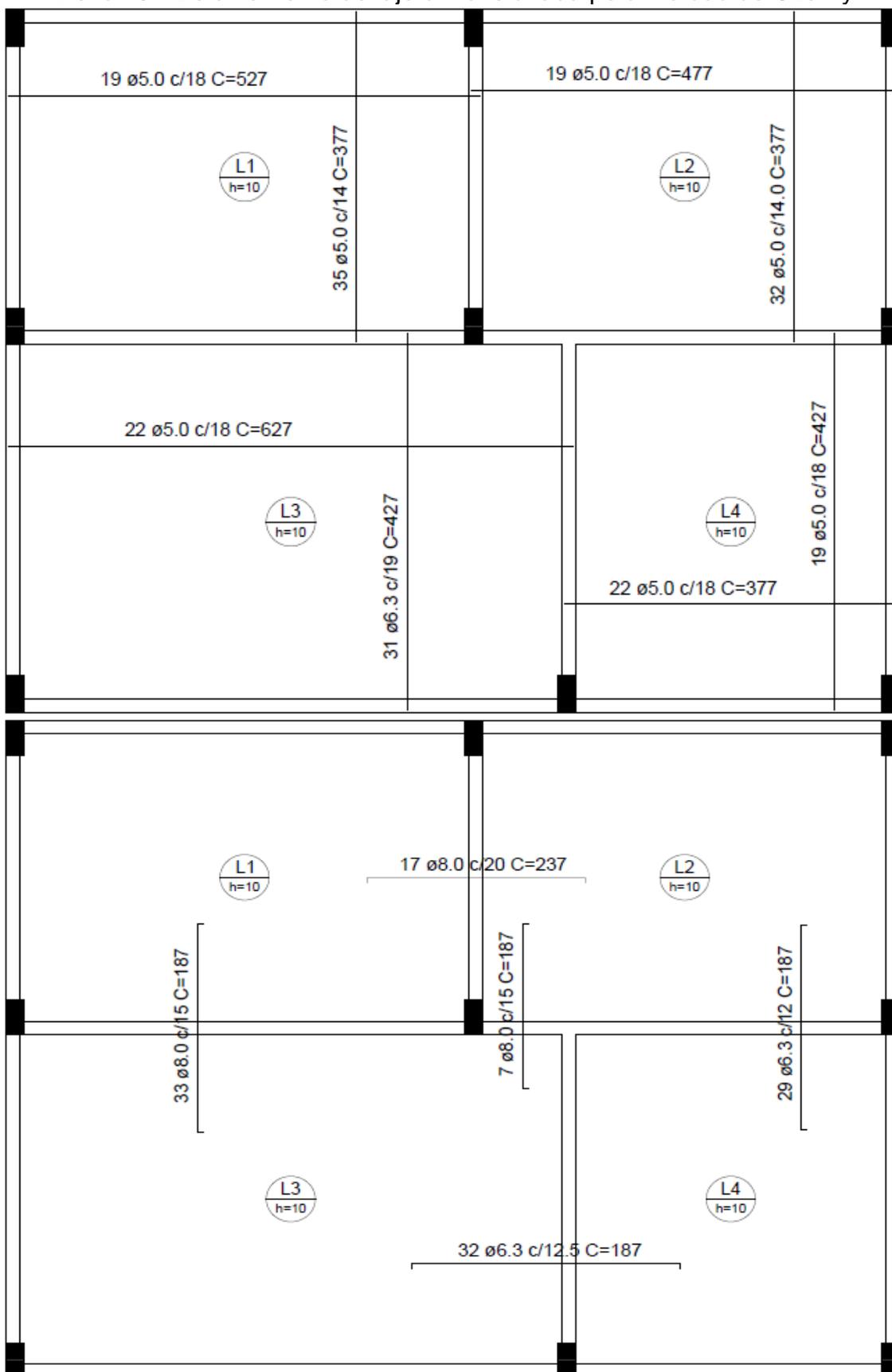
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Anexo 12 - Detalhamento de laje dimensionada pelo método de Bares



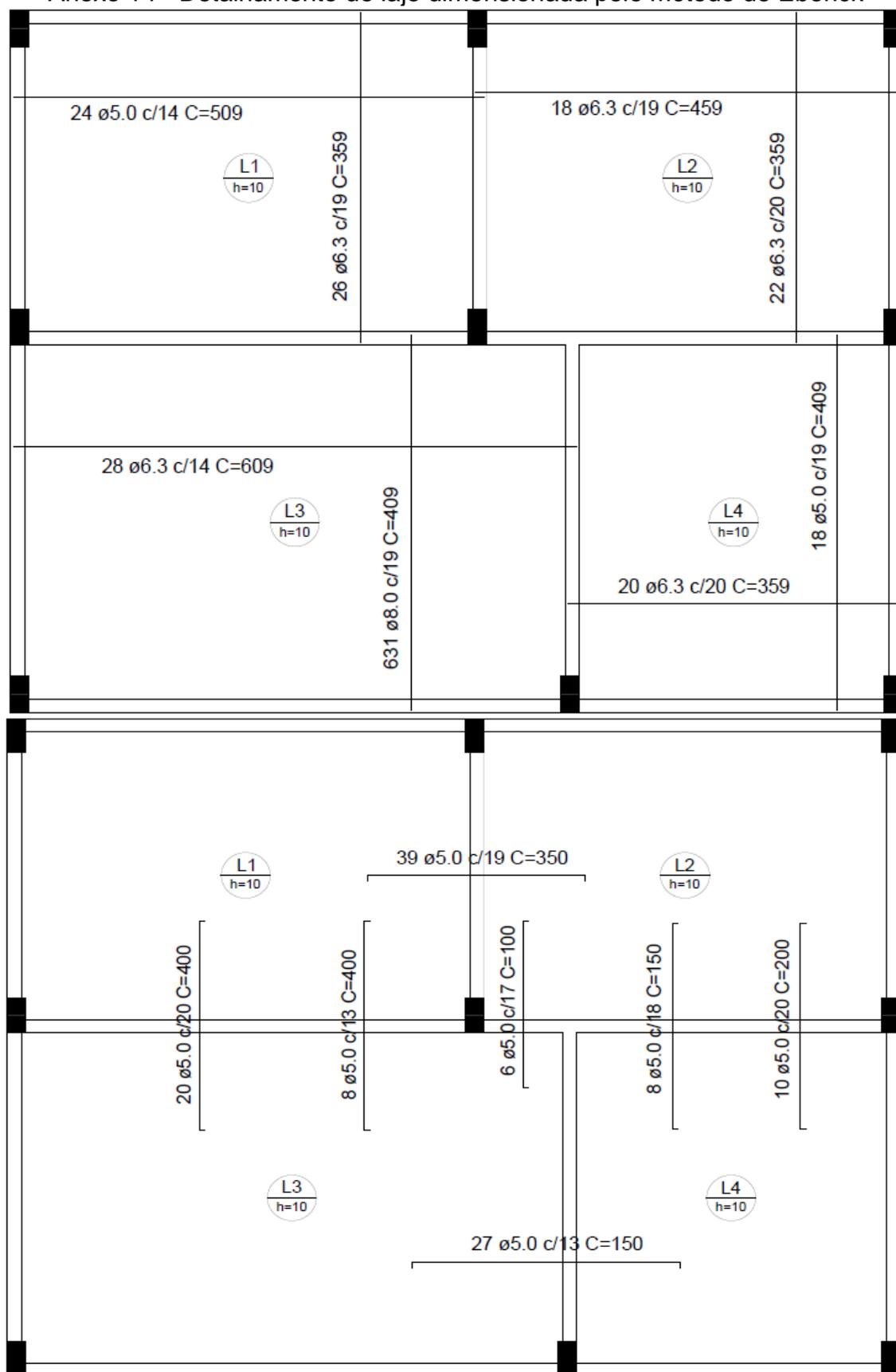
Fonte: Próprio Autor, (2018)

Anexo 13 - Detalhamento de laje dimensionada pelo método de Czerny.



Fonte: Próprio Autor, (2018)

Anexo 14 - Detalhamento de laje dimensionada pelo método de Eberick



Fonte: Próprio Autor, (2018)

Anexo 15 – Tabela para determinação da linha neutra.

FLEXÃO SIMPLES EM SEÇÃO RETANGULAR - ARMADURA SIMPLES										
$\beta_x = \frac{x}{d}$	K_c (cm ² /kN)								K_s (cm ² /kN)	Dom.
	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50		
0,01	137,8	103,4	82,7	68,9	59,1	51,7	45,9	41,3	0,023	2
0,02	69,2	51,9	41,5	34,6	29,6	25,9	23,1	20,8	0,023	
0,03	46,3	34,7	27,8	23,2	19,8	17,4	15,4	13,9	0,023	
0,04	34,9	26,2	20,9	17,4	14,9	13,1	11,6	10,5	0,023	
0,05	28,0	21,0	16,8	14,0	12,0	10,5	9,3	8,4	0,023	
0,06	23,4	17,6	14,1	11,7	10,0	8,8	7,8	7,0	0,024	
0,07	20,2	15,1	12,1	10,1	8,6	7,6	6,7	6,1	0,024	
0,08	17,7	13,3	10,6	8,9	7,6	6,6	5,9	5,3	0,024	
0,09	15,8	11,9	9,5	7,9	6,8	5,9	5,3	4,7	0,024	
0,10	14,3	10,7	8,6	7,1	6,1	5,4	4,8	4,3	0,024	
0,11	13,1	9,8	7,8	6,5	5,6	4,9	4,4	3,9	0,024	
0,12	12,0	9,0	7,2	6,0	5,1	4,5	4,0	3,6	0,024	
0,13	11,1	8,4	6,7	5,6	4,8	4,2	3,7	3,3	0,024	
0,14	10,4	7,8	6,2	5,2	4,5	3,9	3,5	3,1	0,024	
0,15	9,7	7,3	5,8	4,9	4,2	3,7	3,2	2,9	0,024	
0,16	9,2	6,9	5,5	4,6	3,9	3,4	3,1	2,7	0,025	
0,17	8,7	6,5	5,2	4,3	3,7	3,2	2,9	2,6	0,025	
0,18	8,2	6,2	4,9	4,1	3,5	3,1	2,7	2,5	0,025	
0,19	7,8	5,9	4,7	3,9	3,4	2,9	2,6	2,3	0,025	
0,20	7,5	5,6	4,5	3,7	3,2	2,8	2,5	2,2	0,025	
0,21	7,1	5,4	4,3	3,6	3,1	2,7	2,4	2,1	0,025	
0,22	6,8	5,1	4,1	3,4	2,9	2,6	2,3	2,1	0,025	
0,23	6,6	4,9	3,9	3,3	2,8	2,5	2,2	2,0	0,025	
0,24	6,3	4,7	3,8	3,2	2,7	2,4	2,1	1,9	0,025	
0,25	6,1	4,6	3,7	3,1	2,6	2,3	2,0	1,8	0,026	
0,26	5,9	4,4	3,5	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	0,026	
0,27	5,7	4,3	3,4	2,8	2,4	2,1	1,9	1,7	0,026	
0,28	5,5	4,1	3,3	2,8	2,4	2,1	1,8	1,7	0,026	
0,29	5,4	4,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,6	0,026	
0,30	5,2	3,9	3,1	2,6	2,2	1,9	1,7	1,6	0,026	
0,31	5,1	3,8	3,0	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	0,026	
0,32	4,9	3,7	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	0,026	
0,33	4,8	3,6	2,9	2,4	2,1	1,8	1,6	1,4	0,026	
0,34	4,7	3,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4	0,027	
0,35	4,6	3,4	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	0,027	
0,36	4,5	3,3	2,7	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	0,027	
0,37	4,4	3,3	2,6	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	0,027	
0,38	4,3	3,2	2,6	2,1	1,8	1,6	1,4	1,3	0,027	
0,40	4,1	3,1	2,5	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	0,027	
0,42	3,9	2,9	2,4	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	0,028	
0,44	3,8	2,8	2,3	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,028	
0,45	3,7	2,8	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	0,028	
0,46	3,7	2,7	2,2	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	0,028	
0,48	3,5	2,7	2,1	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1	0,028	
0,50	3,4	2,6	2,1	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,029	
0,52	3,3	2,5	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	0,029	
0,54	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	0,029	
0,56	3,2	2,4	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9	0,030	
0,58	3,1	2,3	1,8	1,5	1,3	1,2	1,0	0,9	0,030	
0,60	3,0	2,3	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,030	
0,62	2,9	2,2	1,8	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,031	
0,63	2,9	2,2	1,7	1,5	1,2	1,1	1,0	0,9	0,031	

Fonte: Pinheiro, (2007)