



**Maria Vanessa La Torre Cubas**

**Análise Numérica do Comportamento de  
Pavimentos Constituídos de Lajes Lisas de  
Concreto Protendido**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães  
Co-Orientador: Prof<sup>a</sup>. Elisa Dominguez Sotelino

Rio de Janeiro  
Fevereiro de 2012



**Maria Vanessa La Torre Cubas**

**Análise Numérica do Comportamento de  
Pavimentos Constituídos de Lajes Lisas de  
Concreto Protendido**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Giuseppe Barbosa Guimarães**

Orientador

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profa. Elisa Dominguez Sotelino**

Co-Orientadora

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Prof. Ney Augusto Dumont**

Departamento de Engenharia Civil – PUC-Rio

**Profa. Claudia Maria Oliveira Campos**

Universidade Federal Fluminense

**Prof. José Eugênio Leal**

Coordenador Setorial

do Centro Técnico Científico – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 28 de fevereiro de 2012

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

### **Maria Vanessa La Torre Cubas**

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Nacional de Cajamarca no Peru em 2008. Na PUC-Rio desenvolveu seu trabalho de mestrado com ênfase em concreto protendido.

#### Ficha Catalográfica

La Torre Cubas, María Vanessa

Análise numérica do comportamento de pavimentos constituídos de lajes lisas de concreto protendido / Maria Vanessa La Torre Cubas; orientadores: Giuseppe B. Guimarães, Elisa D. Sotelino. – Rio de Janeiro: PUC, Departamento de Engenharia Civil, 2012.

159 f.: il. (color.); 30 cm

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2012.

Incluí bibliografia

1. Engenharia civil – Teses. 2. Lajes lisas. 3. Análise paramétrica. 4. Concreto protendido. 5. Elementos finitos. I. Guimarães, Giuseppe B. II. Sotelino, Elisa D. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: 624

*Dedico este trabalho em memória da minha grande amiga, Silvia Urteaga.*

## Agradecimentos

A Deus, nosso Pai criador, por ter me proporcionado esta grande oportunidade na minha vida, sempre me amparando em todos os momentos difíceis da vida.

Aos meus queridos pais, Fernando e María Elena, aos meus irmãos Eduardo, Lorena, Victoria e Nena pelo apoio incondicional durante toda minha vida. A toda minha família pela confiança depositada em mim.

Aos professores Giuseppe Barbosa e Elisa Sotelino pela orientação, apoio, paciência e, sobretudo pela confiança demonstrada durante a realização deste trabalho.

A todos meus grandes amigos que fiz no Rio em especial à Nathaly e Eliot pela companhia, e pelos estímulos nas horas mais difíceis.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, pela valiosa troca de conhecimentos e amizade, a Luis Fernando, Fabrício, Elvis, Bárbara, Javier, Diego, Marcia, Mario e tantos outros cuja omissão aqui não os torna menos importantes.

A CAPES pelo auxílio financeiro durante o curso de mestrado.

## Resumo

Cubas, Vanessa La Torre; Guimarães, Giuseppe Barbosa (Orientador); Sotelino, Elisa Dominguez (Co-Orientador). **Análise numérica do comportamento de pavimentos constituídos de lajes lisas de concreto protendido.** Rio de Janeiro, 2012. 159p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Lajes lisas de concreto protendido com cordoalhas engraxadas não aderentes têm sido empregadas em pavimentos de edificações com frequência nos últimos anos. Essa solução estrutural é ideal quando se tem uma distribuição regular dos pilares. Além disso, sabe-se que lajes de concreto protendido oferecem vantagens técnicas sobre a solução tradicional em concreto armado, principalmente para vencer vãos maiores e onde muitas vezes se exigem seções mais esbeltas. O objetivo desta dissertação é estabelecer critérios práticos para o projeto de lajes lisas protendidas, maciças ou nervuradas, visando ao atendimento dos critérios relativos ao estado limite de utilização. Com este propósito, um estudo paramétrico foi realizado no qual foram analisados as tensões nas regiões de introdução das forças de protensão e a influência da rigidez dos pilares na retenção da protensão. A investigação foi conduzida por meio de modelagens em elementos finitos, empregando elementos do tipo casca para as lajes e elementos tipo viga para os pilares. No caso das lajes nervuradas, suas mesas foram representadas por elementos casca e as nervuras por elementos viga levando em conta a excentricidade entre seus centros geométricos.

## Palavras-chave

Lajes Lisas; Análise Paramétrica; Concreto Protendido; Elementos Finitos.

## Abstract

Cubas, Vanessa La Torre; Guimarães, Giuseppe Barbosa (Advisor); Sotelino, Elisa Dominguez (Co-Advisor). **Numerical Analysis of the Behavior of Flat Slabs Prestressed Concrete Floors**. Rio de Janeiro, 2012. 159p. MSc. Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Concrete flat slabs prestressed with unbounded greased strands have been used in building floors over the last years. This structural solution is ideal when the columns are regularly distributed. In addition, it is known that prestressed floors have some technical advantages when compared to the traditional solution in reinforced concrete, mainly in cases of large spans and when lighter elements are required. The objective of the present work is to propose practical criteria for the design of flat slab prestressed concrete floors, for the cases of uniform thickness slabs and waffle slabs, aiming at complying with serviceability limit state. A parametric study was carried out to analyze the stress distribution in prestressing load introduction zones and the influence of the columns in retaining prestressing loads. The investigation was conducted using finite element models in which shell and frame elements were used to represent the slabs and the columns. For the case of waffle slabs, flanges and webs were modeled with shell and frame elements, respectively, taking into consideration the eccentricity between these two elements.

## Keywords

Flat Slab; Parametric Analysis; Prestressed Concrete, Finite Elements.

# Sumário

<b>1.Introdução.....</b>	<b>18</b>
1.1. Generalidades.....	18
1.2. Motivação da Pesquisa.....	19
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo Geral.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.....	20
1.4. Organização do Trabalho.....	21
<b>2.Pesquisa Bibliográfica.....</b>	<b>23</b>
2.1. Considerações Gerais sobre a Protensão.....	23
2.1.1. Exemplo Numérico Ilustrativo.....	25
2.2. Vantagens das Lajes Protendidas.....	28
2.3. Tipos de Lajes Protendidas.....	29
2.3.1. Lajes Lisas.....	29
2.3.2. Lajes Nervuradas.....	30
2.4. Sistemas de Protensão.....	31
2.4.1. Protensão com Aderência.....	31
2.4.2. Protensão Sem Aderência.....	32
2.5. Arranjo de Cabos de Protensão.....	34
2.5.1. Traçado dos Cabos em Elevação.....	34
2.5.2. Distribuição dos Cabos em Planta.....	35
2.6. Protensão como carga externa equivalente.....	37
2.7. Valores Representativos da Força de Protensão.....	38
2.8. Estado Limites e Verificação da Tensão.....	39
2.8.1. Estado Limite de Serviço.....	39
2.8.2. Estado Limite Último.....	41
2.9. Consideração do Efeito da Rigidez dos Pilares.....	43
2.9.1. Coeficiente de Rigidez dos Pilares.....	43
2.9.2. Análise do Pré-Esforço Axial na Laje.....	44
2.10. Método dos Elementos Finitos.....	46
2.10.1. Formulação Baseada em Deslocamentos.....	46
2.10.2. Modelagem de uma Laje como Grelha.....	49
2.10.3. Modelagem da Laje Protendida Usando Elementos Finitos.....	50
2.11. Programas de Computador para Análise de Estruturas.....	52
2.11.1. SAP2000.....	53
<b>3.Modelagem de Lajes por Elementos Finitos.....</b>	<b>56</b>
3.1. Estudo de Convergência para a Definição da Malha de Elementos Finitos.....	57
3.1.1. Laje de Referência.....	57
3.1.2. Modelagem por Elementos Finitos.....	57
3.1.3. Resultados do Estudo de Convergência.....	58
3.2. Modelagem dos Pilares como Apoios.....	61
3.2.1. Laje de Referência.....	61
3.2.2. Solução Analítica da Equação Diferencial das Placas.....	61

3.2.3. Modelagem com Elementos Finitos.....	65
3.2.3.1 Pilar modelado como uma restrição pontual.....	65
3.2.3.2 Pilar modelado com varios apoios.....	67
3.3. Considerações sobre a Modelagem de Lajes Nervuradas.....	69
3.3.1. Laje de Referência.....	69
3.3.2. Modelagem da Laje.....	70
3.3.2.1 Modelo 1: Laje modelada sem considerar excentricidade.....	70
3.3.2.2 Modelo 2: Laje modelada considerando excentricidade .....	71
3.3.2.3 Modelo 3: Laje modelada com elementos sólidos.....	71
3.3.3. Estudo das Tensões.....	72
<b>4. Metodologia da Análise Numérica.....</b>	<b>74</b>
4.1. Estudo Numérico de Lajes Maciças.....	75
4.1.1. Distribuição das Tensões sem Influência dos Pilares.....	76
4.1.2. Estudo das Tensões com Influência dos Pilares.....	91
4.1.3. Cálculo Simplificado das tensões.....	96
4.2. Estudo Paramétrico de Lajes Nervuradas.....	97
4.2.1. Distribuição das Tensões sem Influência dos Pilares.....	98
<b>5. Exemplo De Aplicação e Análise dos Resultados.....</b>	<b>114</b>
5.1. Caso 1 - Cálculo das Tensões em Lajes Maciças.....	115
5.1.1. Cálculos através de Processos Simplificados.....	117
5.1.2. Cálculos por Meio da Análise de Elementos Finitos.....	122
5.2. Caso 2 - Cálculo das tensões em Lajes Nervuradas.....	127
5.2.1. Estudo da estrutura usando elementos tipo casca.....	131
5.2.2. Estudo da estrutura usando elementos tipo viga.....	132
5.2.3. Comparação dos resultados.....	134
<b>6. Considerações Finais.....</b>	<b>139</b>
6.1. Conclusões.....	140
6.2. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	142
<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>143</b>
<b>Anexo A Equações no Mathcad.....</b>	<b>145</b>
A.1. Placa com Carregamento distribuído.....	145
A.2. Placa sujeita a carga concentrada.....	146
A.3. Placa com carga distribuída em um retângulo parcial.....	147
<b>Anexo B Tensões para Laje Nervurada.....</b>	<b>148</b>
<b>Anexo C Coeficiente <math>\phi</math>.....</b>	<b>149</b>
<b>Anexo D Memória de cálculo.....</b>	<b>150</b>
<b>Anexo E Tensões para os Modelos de Viga e Casca.....</b>	<b>158</b>

## Lista de Figuras

Figura 2. 1 – Princípios básicos do projeto de concreto protendido [3]. ...	17
Figura 2.2 – Dados da viga de concreto protendido [4]. .....	18
Figura 2.3 – Lajes lisas sem capitéis, The Concrete Centre [3]. .....	23
Figura 2.4 – Lajes nervuradas em uma direção (a) e em duas direções (b). The Concrete Centre [3]. .....	23
Figura 2.5 – Lajes nervuradas apoiadas em faixas maciças de concreto protendido. ....	24
Figura 2.6 – Sistema aderente antes do lançamento do concreto. The concrete Center. [3]. .....	25
Figura 2.7 – Sistema não aderente antes do lançamento do concreto The concrete Center. [3]. .....	26
Figura 2.8 – Traçado vertical dos cabos em uma viga contínua [13]. .....	27
Figura 2.9 – Disposição dos cabos de protensão em planta. ....	28
Figura 2.10 – Distribuição dos cabos ao longo dos suportes [1]. ....	28
Figura 2.11 – Concentração de cabos nas regiões das faixas dos apoios [10]. .....	29
Figura 2.12 – Separação de força do cabo em componentes axial (P) e transversal ( $W_b$ ). .....	30
Figura 2.13 – Cálculo da protensão necessária [9] .....	31
Figura 2.14 – Diagrama de esforços em uma seção protendida no estado limite último [13]. .....	35
Figura 2.15 – Barra biengastada [14] .....	36
Figura 2.16 – Barra engastada-rotulada [14]. .....	37
Figura 2.17 – Perda de pré-esforço axial devido à rigidez do pilar [13]. ...	38
Figura 2.18 – Ação devido à flexão e ação de membrana para elementos usados para modelar lajes protendidas [1]. .....	40
Figura 2.19 – Campos de deslocamentos considerados na modelagem de uma laje por grelha [15]. .....	43
Figura 2.20 – Peça de laje sujeita a ações de flexão e de membrana [1]. .....	44
Figura 2.21 – Peça de laje sujeita a ações de flexão e de membrana [1]. .....	45
Figura 2.22 – Orientação do elemento Viga [16]. .....	48

Figura 3.1 – Modelo com elementos tipo Casca e considerando excentricidade entre apoios e plano médio da laje.....	52
Figura 3.2 – Deslocamento (em cm) do centro da laje para os diferentes níveis de discretização.....	53
Figura 3.3 – Geometria da laje de referência. ....	55
Figura 3.4 – Geometria da laje de referência. ....	56
Figura 3.5 – (a) Placa com carregamento uniformemente distribuído, (b) Placa com carga concentrada (c) Placa com carga uniforme em um retângulo parcial (c).....	57
Figura 3.6 – Geometria da laje de referência. ....	57
Figura 3.7 – Tensões e deformada do modelo de laje com pilar central modelado como uma restrição pontual.....	59
Figura 3.8 – Comparação do momento respeito á solução analítica.....	60
Figura 3.9 – Comparação da reação do pilar respeito á solução analítica .....	60
Figura 3.10 – Deformada do modelo da laje com pilar modelado por vários apoios.....	61
Figura 3.11 – Comparação do momento para o pilar modelado como apoio pontual e como vários apoios simulando um pilar de 50cmx50cm	62
Figura 3.12 – Laje nervurada com carregamento de protensão aplicado em faixas de concreto de largura 125 cm.....	63
Figura 3.13 – Seção transversal A-A da laje nervurada. ....	64
Figura 3.14 – Representação da laje nervurada modelada sem considerar a excentricidade entre nervura e laje.....	64
Figura 3.15 – Representação do Modelo 2 da laje nervurada considerando excentricidade.....	65
Figura 3.16 – Representação do Modelo 3 da laje nervurada modelada usando elementos sólidos.....	65
Figura 3.17 – Representação dos eixos locais dos elementos [18].....	66
Figura 3.18 - Tensões no topo da laje nervurada para os diferentes modelos.....	67
Figura 4.1 – Laje de referência para o modelo 1.....	72
Figura 4.2 – Distribuição de tensões para carregamento de protensão aplicado em uma faixa de 2,5m.....	72
Figura 4.3 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão para as seções A e B.....	74
Figura 4.4 – Laje de referência para o modelo 2.....	74
Figura 4.5 – Distribuição de tensões para carregamento de protensão aplicado em uma faixa de 2,5m.....	75
Figura 4.6 – Distribuição de tensões nas seções A, B e C para uma largura de faixa de protensão de L/4 (a), L/8 (b), L/20 (c) e L/40 (d).....	76
Figura 4.7 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão para as seções A, B e C.....	78
Figura 4.8 – Laje de referência para o modelo 3.....	78
Figura 4.9 – Distribuição de tensões na deformada para carregamento de protensão aplicado em uma faixa de 2,5m.....	79
Figura 4.10 – Distribuição de tensões nas seções A, B e C para uma largura de faixa de protensão de L/4 (a), L/8 (b), L/20 (c) e L/40 (d).....	80

Figura 4.11 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão.....	81
Figura 4.12 – Laje de referência para o modelo 4.....	82
Figura 4.13 – Distribuição de tensões nas seções A, B e C para uma largura de faixa de protensão de L/4 (a), L/8 (b), L/20 (c) e L/40 (d).....	83
Figura 4.14 – Relação entre a tensão mínima e a tensão máxima (exterior e na continuidade da laje).....	84
Figura 4.15 – Deformada e diagrama de cortante para laje de rigidez à flexão nula (a), laje de rigidez à flexão intermediária (b) e laje infinitamente rígida(c).....	87
Figura 4.16 – Curva de tendência que relaciona o fator de rigidez entre lajes e pilares (G) e o coeficiente aproximado de rigidez (K).....	89
Figura 4.17 – Protótipo dos pórticos laje-pilar .....	90
Figura 4.18 – Laje de referência para o modelo 5.....	93
Figura 4.19 – Seção transversal A-A da laje nervurada. ....	93
Figura 4.20 – Distribuição de tensões para carregamento de protensão aplicado em uma faixa de 2,5m.....	94
Figura 4.21 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão para as seções A e B.....	95
Figura 4.22 – Laje de referência para o modelo 6.....	96
Figura 4.23 – Distribuição de tensões para carregamento de protensão aplicado em uma faixa de 2,5m.....	96
Figura 4.24 – Distribuição de tensões nas seções A, B e C para uma largura de faixa de protensão de L/4 (a), L/8 (b), L/20 (c) e L/40 (d).....	97
Figura 4.25 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão para as seções A, B e C.....	99
Figura 4.26 – Laje de referência para o modelo 7.....	100
Figura 4.27 – Distribuição de tensões nas seções A, B e C para uma largura de faixa de protensão de L/4 (a), L/8 (b), L/20 (c) e L/40 (d).....	101
Figura 4.28 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão.....	102
Figura 4.29 – Laje de referência para o modelo 8.....	103
Figura 4.30 – Distribuição de tensões nas seções C, D e E para diferentes larguras de faixas de protensão.....	104
Figura 4.31 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão para as seções C e D.....	105
Figura 4.32 – Comparação da tensão entre lajes maciças e nervuradas para uma faixa de L/4 na seção B.....	106
Figura 4.33 – Comparação da tensão entre lajes maciças e nervuradas para uma faixa de L/8 na seção B.....	107
Figura 4.34 – Comparação da tensão entre lajes maciças e nervuradas para uma faixa de L/20 na seção B.....	107
Figura 4.35 – Comparação da tensão entre lajes maciças e nervuradas para uma faixa de L/40 na seção B.....	108

Figura 5.1 – Planta de forma destacando as faixas onde a força de protensão é aplicada.....	112
Figura 5.2 – Pórticos de uma das faixas exteriores.....	113
Figura 5.3 – Seções e pontos de controle das tensões.....	116
Figura 5.4 – Configuração deformada da estrutura, modelada no programa SAP2000.....	119
Figura 5.5 – Desenho das tensões calculadas no programa SAP2000 para as seções A, B C e D.....	122
Figura 5.6 – Tensões obtidas dos cálculos simplificados e do SAP2000 para todos os pontos de control.....	122
Figura 5.7 – Detalhe das nervuras e da faixa de concreto da laje analisada. (dimensões em cm) .....	123
Figura 5.8 – Planta de forma do pavimento em estudo.....	124
Figura 5.9 – Traçado do cabo e representação da força equivalente de protensão.....	125
Figura 5.10 – Planta de armação. Distribuição em planta dos cabos de protensão. ....	126
Figura 5.11 – Distribuição das tensões S11 (a) e S22 (b) no topo da laje, em kN cm/cm.....	128
Figura 5.12 – Seção transversal de seção T da laje nervurada.....	128
Figura 5.13 – Forças internas e momentos no elemento tipo viga (Frame) [18].....	129
Figura 5.14 – Configuração deformada da estrutura usando elementos tipo casca (a) e elementos tipo viga (b).....	130
Figura 5.15 – Comparação dos deslocamentos na seção A para ambos os modelos.....	131
Figura 5.16 – Tensões S11 no topo (a) e na base (b) da laje na seção A para os modelos com elementos tipo viga e tipo casca.....	133
Figura 5.17 – Tensões S22 no topo (a) e na base (b) da laje na seção B para os modelos com elementos tipo viga e tipo casca.....	134

## Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Diferenças dos sistemas de protensão aderente e não aderente [9].....	30
Tabela 2.2 - Taxa de espessura do bloco de compressão [13].....	39
Tabela 3.1 – Deslocamento (cm) do ponto central para os diferentes níveis de discretização.....	56
Tabela 3.2 - Quadro comparativo dos deslocamentos respeito ao deslocamento convergido.....	57
Tabela 3.3 –Reação no pilar e momentos fletores obtidos com modelagem do pilar por uma restrição pontua.....	63
Tabela 3.4 – Quadro comparativo das reações e momentos no centro da laje e a 50cm do centro quando é modelado por vários apoios.....	65
Tabela 4.1 – Propriedades mecânicas do concreto.....	72
Tabela 4.2 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão.....	75
Tabela 4.3 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão.....	79
Tabela 4.4 – Quadro Resumo de relação entre fator de rigidez entre lajes e pilares (G) e o coeficiente aproximado de rigidez (K) .....	90
Tabela 4.5 – Valores do coeficiente aproximado de rigidez (K) para diferentes relações de rigidez (G) .....	91
Tabela 4.6 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão.....	96
Tabela 4.7 – Relação entre a tensão máxima, mínima e a tensão gerada pela força de protensão.....	100
Tabela 5.1 – Força na laje e no pilar (kN) para análise dos pilares C1 e C9.....	115
Tabela 5.2 – Quadro arranjado para a obtenção das forças retidas nos pilares.....	116
Tabela 5.3 – Resultado das Tensões obtidas numericamente para determinados pontos de controle.....	119
Tabela 5.4 – Quadro comparativo das forças obtidas numericamente e do SAP2000 com referência à força retida em cada pilar.....	121
Tabela 5.5 – Quadro comparativo dos valores das tensões calculadas com o método simplificado com o SAP.....	122

Tabela B.1 – Tensões da laje nervurada para os modelos considerando excentricidade (Offset), sem considerar excentricidade e modelo com sólidos..... 149

Tabela C.1 – Quadro Resumo do coeficiente  $\phi$  calculado para lajes maciças para diferentes larguras da faixa de protensão..... 150

Tabela E.1 – Quadro resumo das tensões calculadas para a seção A e B para os modelos de viga e casca, no topo e base da laje..... 159

## Lista de Símbolos

### Letras Romanas Maiúsculas

A, Ac	Área da seção analisada
C	Compressão da laje
E	Módulo de elasticidade do concreto
F, Fx, Fy, Fz	Forças
F <sub>pt</sub>	Componente transversal da força de protensão
G	Fator
I	Inércia da seção transversal
I <sub>p</sub>	Inércia do pilar
I <sub>L</sub>	Inércia da laje
K	rigidez da estrutura
L	Comprimento do vão
L <sub>L</sub>	Comprimento da laje
L <sub>p</sub>	Comprimento do pilar
M	Momento fletor
M <sub>g1</sub>	Momento fletor referente ao peso próprio
M <sub>q</sub>	Momento fletor referente à carga acidental
M <sub>p</sub>	Momento fletor referente à força de protensão
M <sub>(max)</sub>	Momento máximo resistente
M <sub>x</sub> , M <sub>y</sub> , M <sub>z</sub>	Esforços
N <sub>x</sub> , N <sub>y</sub> , N <sub>xy</sub>	Forças Axiais
P	Força de protensão
P <sub>s</sub>	Pré-esforço axial

Pt	Força nos cabos de protensão
Pv	Força nos elementos verticais
Pcu	Esforço de compressão
Q	carga concentrada no balanço
S11	Tensões na face 1 do elemento na direção 1
S22	Tensões na face 2 do elemento na direção 2
T	Torção
Tt	Tração da armadura passiva
Tp	Tração da armadura ativa
U	Deslocamento da estrutura
Vx, Vy	Forças de cisalhamento
W, W <sub>1</sub> , W <sub>2</sub>	módulo de flexão (I/y)
W <sub>b</sub>	Componente Transversal devido à curvatura dos cabos
X	força na barra

### Letras Romanas Minúsculas

a	Largura da laje
b	Largura da seção transversal
e	excentricidade
f	força
f <sub>ci</sub> , f <sub>c</sub> , f <sub>ck</sub>	Resistência à concreto
f <sub>1</sub> , f <sub>2</sub>	Flecha do cabo
f <sub>cu</sub>	Esforço de compressão
f <sub>sb</sub>	Esforço da armadura passiva
g	peso próprio
h	Altura
k	rigidez do elemento
l <sub>1</sub> , l <sub>2</sub> , l <sub>3</sub>	Vão
q	Carga acidental distribuída
u, u <sub>1</sub> , u <sub>2</sub> , u <sub>3</sub>	Deslocamentos
y <sub>1</sub>	Distância do centro de gravidade do concreto a face inferior da seção transversal
y <sub>2</sub>	Distância do centro de gravidade do concreto a face superior da seção transversal
w	Deslocamento transversal

## Letras Gregas

$\phi$	Coeficiente
$\beta$	Taxa de espessura do bloco de compressão
$\varepsilon$	Deformação
$\delta$	Deslocamento
$\theta_x, \theta_y$	Rotações
$\sigma$	Tensão
$\sigma_{1g1}, \sigma_{2g1}$	Tensão referente ao peso próprio.
$\sigma_{1q}, \sigma_{2q}$	Tensão referente à carga accidental.
$\sigma_{max}$	Tensão máxima
$\sigma_{min}$	Tensão mínima
$\sigma_{prot}$	Tensão de protensão
$\sigma_{med}$	Tensão media
$\nu$	Coeficiente de Poisson

## Lista de Abreviaturas

ACI	American Concrete Institute
CG	Centro de Gravidade
ELS-W	Estado limite de abertura de fissuras
ELS-D	Estado limite de descompressão
ELS-F	Estado limite de formação de fissuras
GDL	Graus de liberdade
MEF	Método dos Elementos Finitos
NBR	Norma Brasileira Registrada
PTI	Post Tensioning Institute
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro