

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES PARA EDIFÍCIOS DE  
ALVENARIA ESTRUTURAL EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE  
PAREDES ESTRUTURAIS E O TIPO DE LAJE**

**FABIO IOVENI LAVANDOSCKI**

São Carlos  
2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES PARA EDIFÍCIOS DE  
ALVENARIA ESTRUTURAL EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE  
PAREDES ESTRUTURAIS E O TIPO DE LAJE**

**FABIO IOVENI LAVANDOSCKI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal de São Carlos para a obtenção do título de Mestre em Construção Civil

**Área de Concentração:** Sistemas Estruturais e Tecnologia de Sistemas Construtivos.

**Orientador:** Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho

**Co-orientador:** Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian

São Carlos  
2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da  
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

L395ec

Lavandoscki, Fabio Ioveni.

Estudo comparativo entre soluções para edifícios de alvenaria estrutural em função do número de paredes estruturais e o tipo de laje / Fabio Ioveni Lavandoscki. -- São Carlos : UFSCar, 2011.  
123 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2010.

1. Construção civil. 2. Edifícios. 3. Custos. 4. Projeto estrutural. 5. Lajes. I. Título.

CDD: 690 (20<sup>a</sup>)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA  
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil  
Rod. Washington Luís, Km 235  
13565-905 – São Carlos – SP  
Fone: (16) 3351-8261 Fax (16) 3351-8262  
e-mail: [ppgciv@ufscar.br](mailto:ppgciv@ufscar.br) site: [www.ppgciv.ufscar.br](http://www.ppgciv.ufscar.br)

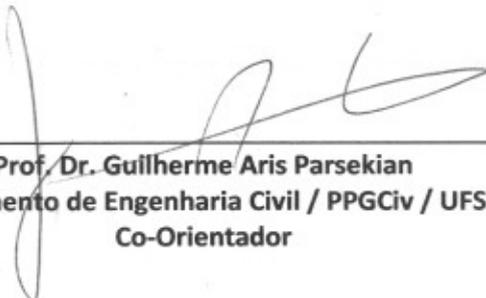
**“ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SOLUÇÕES PARA EDIFÍCIOS DE ALVENARIA ESTRUTURAL EM  
FUNÇÃO DO NÚMERO DE PAREDES ESTRUTURAIS E O TIPO DE LAJE”**

**FABIO IOVENI LAVANDOSCKI**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em dezessete de dezembro de 2010.

Banca Examinadora constituída pelos membros:

Prof. Dr. Jasson Rodrigues de Figueiredo Filho - Orientador



---

**Prof. Dr. Guilherme Aris Parsekian**

**Departamento de Engenharia Civil / PPGCiv / UFSCar  
Co-Orientador**



---

**Prof. Dr. Romilde Almeida de Oliveira**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Universidade Federal de Pernambuco  
Examinador Externo**



---

**Profª Drª Luisa Andréia Gachet Barbosa**

**Faculdade de Tecnologia da UNICAMP  
Examinador Externo**

## RESUMO

LAVANDOSCKI, Fabio Ioveni. **Estudo comparativo entre soluções para edifícios de alvenaria estrutural em função do número de paredes estruturais e o tipo de laje, SP.** 2011. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

Edifícios de alvenaria estrutural estão sendo cada vez mais empregados na construção civil. Já bem consagrado para edificações populares baixas e com pequenos vãos, o sistema de alvenaria estrutural vem ganhando espaço na indústria da construção civil.

A grande utilização desse sistema estrutural se dá ao fato de que as construtoras, em busca da redução de custos de produção, optam por sistemas construtivos racionalizados. Essa constante busca por redução de custos tem gerado grande quantidade de estudos comparativos entre diversos sistemas construtivos.

Recentemente o sistema de alvenaria estrutural vem sendo utilizado também em edificações de médio e alto padrão que tem como principais características, maior número de pavimentos e flexibilidade de layout arquitetônico e conseqüente redução de paredes estruturais. No entanto essas características podem comprometer o comportamento estrutural dos edifícios e ainda aumentar os custos de produção.

Neste trabalho é feita uma análise comparativa entre edifícios de alvenaria estrutural com 4 pavimentos sob esse aspecto. São propostas três plantas conceituais sobre as quais são lançados projetos estruturais distintos, dimensionados com diferentes relações entre paredes estruturais e paredes de vedação: com 100%, 90%, 80% e 75% de paredes estruturais. Para essas situações são empregados três tipos de lajes: laje com vigotas treliçadas, laje maciça e laje nervurada. Para cada uma é calculado o quantitativo de materiais e analisado o comportamento estrutural, procurando estabelecer parâmetros que possam representar a influência da quantidade de paredes estruturais nesses fatores.

*Palavras-chave: Alvenaria estrutural, lajes, análise estrutural.*

## ABSTRACT

LAVANDOSCKI, Fabio Ioveni. **Comparative among solutions for structural masonry in function of a number of structural walls and types of slab.** 2010. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

Structural masonry buildings are being increasingly employed in construction. Well established for low-income buildings and with small interspace, the system of structural walls has been gaining elbow room on the civil building industry.

The great use of this structured system is due to the fact that the building companies, looking for cost reductions has generated great amount of comparative studies among several constructive systems.

Recently the structural walls system is being used also in mid and high level buildings which has as main characteristics, bigger flooring number and layout flexibility. However this characteristics can compromise the structured behavior of the buildings and still increase the production costs.

This work presents a comparative analysis among 4 floor buildings under this perspective. Three conceptual blueprints are proposed, on which distinct structural solutions, changing the ratio between the amount of structural and sealing walls are considered: with 100%, 90%, 80% and 75% of structural walls. For these situations, different types of slab solutions are considered: one-way joist slab and flat slab. For each solution the amount of materials calculated and the structural behavior is analyzed, aiming to establish parameters that can represent the influence of the number of structural walls over these factors.

*Keywords: structural masonry, slabs, structural analysis.*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.1</b> - Edifício de médio padrão em alvenaria estrutural.....	3
<b>Figura 2.1</b> - Argamassa sobre toda superfície .....	12
<b>Figura 2.2</b> - Argamassa sobre a superfície lateral .....	12
<b>Figura 2.3</b> - Amarração indireta com estribos .....	16
<b>Figura 2.4</b> - Amarração indireta com tela de aço .....	16
<b>Figura 2.5</b> - Amarração indireta com grampos.....	16
<b>Figura 2.6</b> - Efeito do número de pavimentos na robustez do edifício .....	17
<b>Figura 2.7</b> - Redução da resistência a torção devido à forma.....	18
<b>Figura 2.8</b> - Relação entre a eficiência do envelope e a planta baixa.....	19
<b>Figura 2.9</b> - Sistema de paredes transversais .....	20
<b>Figura 2.10</b> - Sistema de paredes celulares .....	20
<b>Figura 2.11</b> - Sistema complexo de paredes .....	21
<b>Figura 2.12</b> - Momento de primeira ordem.....	27
<b>Figura 2.13</b> - Momento de segunda ordem.....	28
<b>Figura 2.14</b> - Dispersão das ações verticais com espalhamento a 45° .....	29
<b>Figura 2.15</b> - Distribuição das tensões segundo o ângulo de 45° .....	30
<b>Figura 2.16</b> - Distribuição da ação do vento .....	31
<b>Figura 2.17</b> - Comprimento efetivo de flanges .....	32
<b>Figura 2.18</b> - Edifício com aberturas .....	33
<b>Figura 2.19</b> - Paredes em balanço.....	33
<b>Figura 2.20</b> - Cisalhamento contínuo .....	33
<b>Figura 2.21</b> - Analogia de pórticos .....	33
<b>Figura 2.22</b> - Pórtico de coluna larga .....	33
<b>Figura 2.23</b> - Modelo de elementos finitos .....	33
<b>Figura 2.24</b> - Carregamentos atuantes nas lajes .....	39
<b>Figura 2.25</b> - Laje maciça .....	40
<b>Figura 2.26</b> - Laje nervurada moldada no local.....	41
<b>Figura 2.27</b> - Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas .....	43
<b>Figura 3.1</b> - Planta (10x10m) com 100% de paredes estruturais.....	49
<b>Figura 3.2</b> - Planta (10x10m) com 90% de paredes estruturais.....	50
<b>Figura 3.3</b> - Planta (10x10m) com 80% de paredes estruturais.....	51
<b>Figura 3.4</b> - Planta (10x20m) com 100% de paredes estruturais.....	52

<b>Figura 3.5</b> - Planta (10x20m) com 90% de paredes estruturais .....	53
<b>Figura 3.6</b> - Planta (10x20m) com 80% de paredes estruturais .....	54
<b>Figura 3.7</b> - Planta (10x30m) com 100% de paredes estruturais .....	55
<b>Figura 3.8</b> - Planta (10x30m) com 90% de paredes estruturais .....	56
<b>Figura 3.9</b> - Planta (10x30m) com 80% de paredes estruturais .....	57
<b>Figura 3.10</b> - Modelo real com 100% de paredes estruturais .....	58
<b>Figura 3.11</b> - Modelo real com 90% de paredes estruturais .....	59
<b>Figura 3.12</b> - Modelo real com 75% de paredes estruturais .....	60
<b>Figura 3.13</b> - Laje maciça .....	61
<b>Figura 3.14</b> - Laje treliçada .....	61
<b>Figura 3.15</b> - Laje nervurada.....	62
<b>Figura 3.16</b> - Escoramento de laje.....	67
<b>Figura 3.17</b> - Planta baixa do modelo de 4 pavimento com 100% de paredes estruturais.....	69
<b>Figura 3.18</b> - Área de influência da laje sobre cada parede.....	70
<b>Figura 4.1</b> - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais.....	74
<b>Figura 4.2</b> - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais.....	754
<b>Figura 4.3</b> - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais .....	75
<b>Figura 4.4</b> - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais.....	78
<b>Figura 4.5</b> - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais.....	78
<b>Figura 4.6</b> - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais .....	79
<b>Figura 4.7</b> - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais.....	81
<b>Figura 4.8</b> - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais.....	82
<b>Figura 4.9</b> - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais .....	82

<b>Figura 4.10</b> - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais.....	85
<b>Figura 4.11</b> - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais.....	85
<b>Figura 4.12</b> - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais .....	86

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1</b> - Dimensões padronizadas para blocos de concreto.....	9
<b>Tabela 2.2</b> - Fator de redução devido à espessura da junta .....	12
<b>Tabela 2.3</b> - Resistência da argamassa após o espalhamento.....	13
<b>Tabela 2.4</b> - Resistência da parede devido às condições de assentamento.....	13
<b>Tabela 2.5</b> - Valores dos coeficientes $\gamma_{f1}$ e $\gamma_{f3}$ .....	37
<b>Tabela 3.1</b> - Tabela de custo de materiais. ....	67
<b>Tabela 3.2</b> - Custo de materias para escoramento .....	68
<b>Tabela 3.3</b> - Dimensionamento das paredes.....	71
<b>Tabela 4.1</b> - Resultado dos deslocamentos das lajes .....	72
<b>Tabela 4.2</b> - Consumo de materiais e custos das lajes .....	732
<b>Tabela 4.3</b> - Consumo de materiais e custos das alvenarias .....	73
<b>Tabela 4.4</b> - Custo da estrutura (lajes + alvenarias).....	73
<b>Tabela 4.5</b> - Índices e taxas .....	743
<b>Tabela 4.6</b> - Resultado dos deslocamentos das lajes .....	76
<b>Tabela 4.7</b> - Consumo de materiais e custos das lajes .....	76
<b>Tabela 4.8</b> - Consumo de materiais e custos das alvenarias .....	77
<b>Tabela 4.9</b> - Custo da estrutura (lajes + alvenarias).....	77
<b>Tabela 4.10</b> - Índices e taxas .....	77
<b>Tabela 4.11</b> - Resultado dos deslocamentos das lajes .....	79
<b>Tabela 4.12</b> - Consumo de materiais e custos das lajes .....	80
<b>Tabela 4.13</b> - Consumo de materiais e custos das alvenarias .....	80
<b>Tabela 4.14</b> - Custo da estrutura (lajes + alvenarias).....	80
<b>Tabela 4.15</b> - Índices e taxas .....	81
<b>Tabela 4.16</b> - Resultado dos deslocamentos das lajes .....	83
<b>Tabela 4.17</b> - Consumo de materiais e custos das lajes .....	83
<b>Tabela 4.18</b> - Consumo de materiais e custos das alvenarias .....	84
<b>Tabela 4.19</b> - Custo da estrutura (lajes + alvenarias).....	84
<b>Tabela 4.20</b> - Índices e taxas .....	84

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> - Relações dimensionais .....	17
<b>Quadro 2.2</b> - Deslocamentos em elementos estruturais .....	24
<b>Quadro 2.3</b> - Classificação das ações .....	26
<b>Quadro 2.4</b> - Combinação e equações do ELS .....	36
<b>Quadro 2.5</b> - Valores dos coeficientes $\gamma_{f2}$ .....	38
<b>Quadro 2.6</b> - Dimensões mínimas para lajes maciças.....	40
<b>Quadro 2.7</b> - Espessura mínima dos componentes da laje nervurada .....	42
<b>Quadro 3.1</b> - Distribuição dos modelos estruturais .....	61

## LISTA DE SIMBOLOS

<b>A</b>	Área bruta da seção transversal
<b>a<sub>f</sub></b>	Deslocamento da laje
<b>a<sub>lim</sub></b>	Deslocamento limite
<b>a<sub>par</sub></b>	Deslocamento total incluindo peso da parede
<b>a<sub>pp</sub></b>	Deslocamento devido ao peso próprio
<b>F<sub>d,ser</sub></b>	Valor de cálculo das ações para combinações de serviço
<b>F<sub>gk</sub></b>	Valor característico das ações permanentes principais diretas
<b>F<sub>i</sub></b>	Força atuante em cada parede de contraventamento
<b>f<sub>k</sub></b>	Resistência característica à compressão simples da alvenaria
<b>f<sub>bk</sub></b>	Resistência característica à compressão simples do bloco
<b>f<sub>pk</sub></b>	Resistência característica à compressão simples do prisma
<b>f<sub>ck</sub></b>	Resistência característica à compressão do concreto
<b>F<sub>q1k</sub></b>	Valor característico das ações variáveis principais diretas
<b>F<sub>tot</sub></b>	Força total horizontal
<b>g</b>	Ações permanentes
<b>h<sub>ef</sub></b>	Espessura efetiva da parede
<b>I<sub>n</sub></b>	Inércia de cada parede de contraventamento
<b>I<sub>ri</sub></b>	Inércia relativa de cada parede de contraventamento
<b>I<sub>ri</sub></b>	Rigidez relativa de cada parede de contraventamento
<b>L</b>	Vão efetivo da laje
<b>M</b>	Momento fletor atuante na parede
<b>N<sub>k</sub></b>	Força normal característica
<b>q</b>	Ações variáveis
<b>t<sub>ef</sub></b>	Altura efetiva da parede
<b>W</b>	Módulo de resistência a flexão
<b>Ψ<sub>0</sub></b>	Fator de redução de combinação para o estado limite último
<b>Ψ<sub>1</sub></b>	Fator de redução da combinação frequente para o estado limite de serviço
<b>Ψ<sub>2</sub></b>	Fator de redução da combinação quase permanente para o estado limite de serviço
<b>γ<sub>f</sub></b>	Coeficiente de ponderação das ações
<b>γ<sub>f1</sub></b>	Coeficiente que considera a variabilidade das ações
<b>γ<sub>f2</sub></b>	Coeficiente que considera a simultaneidade das ações
<b>γ<sub>f3</sub></b>	Coeficiente que considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações
<b>ΣI</b>	Somatório das inércias das paredes de contraventamento
<b>σ<sub>i</sub></b>	Tensão devido às ações laterais
<b>γ<sub>m</sub></b>	Coeficiente de ponderação das resistências

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	v
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	viii
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	ix
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	x
<b>SUMÁRIO</b> .....	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 Considerações iniciais .....	1
1.2 Justificativa .....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Estrutura do trabalho .....	5
<b>2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA</b> .....	6
2.1 Requisitos esperados de um sistema estrutural .....	6
2.2 Sistema de alvenaria estrutural .....	7
2.3 Vantagens .....	8
2.3.1 Desvantagens.....	8
2.3.2 Componentes .....	8
2.3.2.1 Bloco.....	9
2.3.2.2 Argamassa.....	10
2.3.2.3 Graute.....	10
2.3.2.4 Armaduras .....	11
2.3.3 Qualidade e resistência da alvenaria.....	11
2.3.3.1 Bloco.....	11
2.3.3.2 Argamassa.....	11
2.3.3.3 Juntas .....	12
2.3.3.4 Tipo de assentamento .....	12
2.3.3.5 Tempo de assentamento .....	13
2.3.3.6 Retempero da Argamassa.....	13
2.3.3.7 Condições climáticas .....	14
2.3.3.8 Prumo e alinhamento.....	14

2.4 Lançamento estrutural .....	14
2.4.1 Modulação .....	15
2.4.2 Amarração .....	15
2.4.3 Formas estruturais .....	16
2.5 Segurança estrutural .....	21
2.5.1 Método das tensões admissíveis .....	21
2.5.2 Método dos estados limites .....	22
2.5.3 Deformação estrutural .....	23
2.5.4 Deslocamentos limites .....	24
2.6 Ações na estrutura .....	25
2.6.1 Ações horizontais .....	25
2.6.2 Ações verticais .....	26
2.6.3 Ações indiretas .....	27
2.6.4 Distribuição das ações .....	28
2.6.4.1 Vertical .....	28
2.6.4.2 Horizontal .....	30
2.6.4.3 Modelo de paredes em balanço .....	33
2.6.5 Combinação das ações .....	35
2.7 Lajes .....	38
2.7.1 Definição de lajes .....	38
2.7.2 Tipos de lajes .....	39
2.7.2.1 Laje maciça .....	39
2.7.2.2 Laje nervurada .....	41
2.7.2.3 Laje treliçada .....	42
2.7.3 Comportamento das lajes .....	44
2.7.3.1 Distribuição do carregamento .....	44
2.7.3.2 Deslocamento nas lajes .....	45
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>47</b>
3.1 Software utilizado .....	47
3.2 Modelos estudados .....	48
3.3 Ações consideradas .....	62
3.4 Escolha das lajes .....	62
3.4.1 Dimensionamento das lajes .....	63
3.4.2 Deslocamentos das lajes .....	63

3.5 Dimensionamento das paredes estruturais .....	65
3.5.1 Compressão simples .....	65
3.6 Comportamento estrutural .....	66
3.7 Quantitativos e custos .....	67
3.8 Exemplo de dimensionamento .....	68
3.8.1 Determinação das ações verticais .....	69
3.8.2 Distribuição das ações verticais.....	70
<b>4. RESULTADOS E ANÁLISE DE CUSTO .....</b>	<b>72</b>
4.1 Modelos com dimensões 10x10m .....	72
4.2 Modelos com dimensões 10x20m .....	76
4.3 Modelos com dimensões 10x30m. ....	79
4.4 Modelo real .....	83
4.5 Análise de custo .....	86
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>87</b>
5.1 Conclusões .....	87
5.2 Sugestões de pesquisa .....	88
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>92</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o emprego do sistema de alvenaria estrutural cresceu de forma notável, principalmente nos edifícios de quatro pavimentos. Esse grande interesse pelo sistema se deve a velocidade de construção, racionalização e baixo custo de produção.

No entanto, diversos fatores influenciam no custo das edificações de alvenaria estrutural. Do ponto de vista do comportamento estrutural, o tipo de laje empregado (maciça, vigotas treliçadas ou nervurada), constitui um parâmetro importante na definição das solicitações nas paredes e por consequência na resistência requerida para os blocos. Outro fator importante é a quantidade de paredes estruturais que é determinada pelo tamanho dos vãos de laje requeridos no projeto arquitetônico.

A fim de avaliar a influência que a quantidade de paredes estruturais e o tipo de laje tem no custo das edificações de alvenaria estrutural de 4 pavimentos, este trabalho foi desenvolvido.

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Tendo suas origens há milhares de anos a alvenaria constitui um dos mais antigos métodos de construção da humanidade sendo considerado o sistema com maior aceitação pelo homem, isto pode ser observado pelo grande número de construções que utilizam esta técnica construtiva, seja como elemento de vedação ou estrutural.

Diversas construções que marcaram a história foram construídas em alvenaria utilizando blocos de pedra, tais como: as pirâmides de Gizé, Quéfren, Quéops, Miquerino e também o Coliseu de Roma. Mas, a partir do século XX as construções em alvenaria deixaram de ser executadas de maneira empírica, e baseadas nos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo, começaram a serem desenvolvidas de maneira racional (CAMACHO, 2006). Dessa forma, fundamentou-se a arte de projetar edificações em alvenaria estrutural.

Atualmente uma das áreas da engenharia civil que apresenta maior potencial de crescimento é a de edifícios em alvenaria estrutural. Isso se deve principalmente

à economia obtida por esse sistema estrutural em relação ao convencional, concreto moldado in loco, e também por propiciar redução do consumo e desperdício de materiais (PAES, 2008).

Outra grande vantagem que a alvenaria estrutural apresenta é a possibilidade de incorporar facilmente os conceitos de racionalização, produtividade e qualidade. Devido a essas características o sistema de alvenaria estrutural para prédios de vários pavimentos tornou-se uma opção de construção largamente empregada no mundo (ROMAN et al, 1999).

Contudo, de acordo com PEIXOTO (2005), nas últimas décadas a alvenaria estrutural se restringiu a uma parte da população até então menos exigente, onde os edifícios não passavam de três pavimentos e as plantas baixas não exigiam grandes vãos. Porém, tendo a necessidade crescente de se construir edifícios mais altos aliada a constante busca por métodos construtivos mais racionais, trouxe de volta o interesse dos engenheiros pela alvenaria, aproveitando-se as paredes como elementos estruturais (SILVA, 1996).

Sendo assim, a alvenaria estrutural passou a ser cada vez mais empregada em vários tipos de edificações, não só em habitações populares, mas, em edifícios de mais alto padrão. Com isto o sistema de alvenaria estrutural começou a expandir e recentemente a ser aplicado em edifícios de médio e alto padrão (ATAÍDE, 2005).

Na figura 1.1 um exemplo do emprego da alvenaria estrutural em um edifício de médio padrão.



**Figura 1.1.1** - Edifício de médio padrão em alvenaria estrutural  
**Fonte:** <http://www.tiberio.com.br/produto/absoluto.php>

Nesse modelo de edificação existe uma tendência em se utilizar maior liberdade de espaços e variações de layout. Para isto é necessário criar plantas com maiores vãos de laje e menos paredes estruturais. Contudo, este tipo de solução estrutural pode levar a um maior custo de produção, devido à necessidade de aumento da resistência dos blocos e possível uso de armaduras nas alvenarias, além do maior consumo de concreto e aço nas lajes, o que em algumas situações pode tornar o sistema não competitivo.

Portanto, uma questão importante a ser estudada é a comparação de custo e também do comportamento estrutural entre soluções para edifícios de alvenaria estrutural com mais e menos paredes estruturais utilizando diferentes tipos de lajes.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Os avanços tecnológicos em diversas áreas trazem progressos para a sociedade, muitas vezes representadas na forma de otimização de processos ou redução de custos. Na construção civil não poderia ser diferente, onde muitos processos construtivos estão em constante evolução (SPOHR, 2008).

No ramo das construções as informações técnicas são a chave do trabalho produtivo para quem projeta, constrói ou fiscaliza. Mesmo para o incorporador ou investidor, que se atem a outras matérias, saber o alcance das técnicas construtivas ajuda a refletir sobre os projetos que lhe são propostos (RAMALHO; CORREA, 2003).

Entretanto, percebe-se a falta de dados e parâmetros consistentes aos profissionais da construção civil e ao meio acadêmico na tomada de decisão pelo modelo estrutural a ser empregado em determinada edificação.

A partir disso, desenvolve-se neste trabalho uma análise comparativa de custo e comportamento estrutural de edificações em alvenaria estrutural, que possam servir de referencial ao se analisar um projeto. O objetivo não é apresentar uma solução ideal, mas apresentar resultados que sirvam de subsídio em uma análise prévia do modelo estrutural a ser adotado.

## 1.3 OBJETIVOS

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo principal analisar a influência da quantidade de paredes estruturais e tipo de laje no comportamento estrutural e no custo de edifícios de quatro pavimentos em alvenaria estrutural.

Como objetivos complementares pretende-se:

Elaborar uma revisão bibliográfica relacionada ao projeto, cálculo e análise estrutural de edifícios em alvenaria estrutural;

Dimensionar edifícios de quatro pavimentos com diferentes relações entre paredes estruturais e paredes de vedação, sendo: modelos com 100%, 90%, 80% e 75% das paredes estruturais.

Estabelecer uma relação entre os índices de consumo de materiais (bloco, argamassa, graute, aço, concreto e formas) e os respectivos custos entre os vários modelos estruturais estudados;

Apresentar a influência que a quantidade de paredes estruturais e o tipo de laje adotada podem representar no custo e no comportamento estrutural das edificações em alvenaria estrutural.

## 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos, descritos a seguir:

O **Capítulo 1** é o capítulo introdutório que justifica o tema escolhido e expõe os objetivos e a estrutura deste trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão da literatura, embasando conceitos pertinentes ao assunto desta dissertação e buscando estudos já realizados nas áreas relacionadas ao projeto de edifícios, lajes e alvenaria estrutural.

O **Capítulo 3** desenvolve a estrutura da metodologia empregada para realização deste trabalho, onde se descreve detalhadamente todos os procedimentos utilizados no projeto das modelagens e análise dos resultados.

No **Capítulo 4** são expostos os resultados, separando as modelagens em grupos com as mesmas características estruturais e a análise comparativa dos mesmos.

O **Capítulo 5** apresenta as conclusões.

## 2. CONCEITUAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, apresenta-se o resumo da literatura técnica sobre o tema desta dissertação, apresentando inicialmente algumas considerações sobre o sistema de alvenaria estrutural e seus materiais. Em seguida, tópicos sobre a concepção e formas estruturais para edifícios. Na sequência assuntos sobre a segurança estrutural e ações atuantes na estrutura. O capítulo é encerrado com uma revisão sobre projeto de lajes.

### 2.1 REQUISITOS ESPERADOS DE UM SISTEMA ESTRUTURAL

De acordo com FIGUEIREDO (1989), espera-se que um sistema estrutural seja capaz de prover:

- **Segurança estrutural:** deve resistir às ações a ela aplicadas, tanto os que dizem respeito aos estados limites últimos e de utilização;
- **Durabilidade:** As propriedades mecânicas, físico e químicas dos materiais, assim como a segurança da estrutura, dos elementos e componentes devem ser garantidas durante a vida útil da obra em questão;
- **Adaptabilidade às exigências arquitetônicas:** é desejável que se adapte as exigências arquitetônicas como, vãos, pé-direto, aberturas, conforto ambiental, etc;
- **Compatibilidade:** Deve ser compatível com outros sistemas estruturais (concreto armado, estrutura metálicas e madeira) e outros sistemas prediais (hidráulica, elétrica);
- **Facilidade de execução:** Espera-se que seja de fácil execução e não necessite de técnicas ou equipamentos avançados de construção, podendo ser utilizado em qualquer região do país;
- **Rapidez de execução:** o sistema deve possibilitar, sempre que necessário, execução rápida da edificação sem que haja perda das condições de segurança e da qualidade construtiva;
- **Qualidade da construção:** deve ter boa integração com as demais partes do edifício e ainda ter um bom acabamento.

- **Manutenção:** deve contribuir para que a manutenção (reparos, pinturas, etc.) da estrutura e de toda edificação seja facilitada e, se possível, reduzida.
- **Modificações futuras:** Espera-se que permita modificações de modo mais abrangente possível, sem que haja consequências indesejáveis na estrutura original e acima de tudo que a segurança seja preservada;
- **Custos:** é um dos aspectos mais importantes a se considerar. Se um sistema estrutural prover todos os requisitos anteriores sem perda de qualidade e segurança, o melhor será aquele que proporcionar menor custo.

## 2.2 SISTEMA DE ALVENARIA ESTRUTURAL

Alvenaria pode ser definida como um conjunto coeso e rígido, conformado em obra de tijolos ou blocos (unidades de alvenaria) unidos entre si por argamassa (ABCI, 1990).

De acordo com CAMACHO (2006), alvenaria estrutural pode ser definida como o processo construtivo no qual os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projetados, dimensionados e executados de forma racional.

Segundo BASTOS (1993), nas edificações de alvenaria estrutural, as paredes exercem múltiplas funções, conferindo simultaneamente: rigidez estrutural, vedação externa e interna, proteção térmica, acústica e ao fogo e ainda podem conferir funções estéticas e arquitetônicas, podendo proporcionar edificações com excelentes qualidades como alta durabilidade, menor custo e estética, entre outras. Entretanto, para atingir os objetivos requeridos em projeto, é imprescindível que os materiais tenham qualidade e a fiscalização seja eficiente durante a execução.

No Brasil a primeira norma sobre alvenaria estrutural foi a NBR 10837: 1989 - Cálculo de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto. Esta norma é baseada no método das tensões admissíveis e trata do cálculo da alvenaria estrutural armada e não-armada de blocos vazados de concreto, sendo que recentemente passou por uma revisão e foi publicada a NBR 15961: 2011 – Alvenaria estrutural: Blocos de concreto, que é baseada no método dos estados limites últimos.

## **2.3 VANTAGENS**

A principal vantagem da utilização da alvenaria estrutural reside numa maior racionalidade do sistema executivo, reduzindo o consumo de materiais e desperdícios que usualmente se verificam em obras de concreto armado convencional (PEIXOTO, 2005). Essa economia de custo se deve principalmente por:

- Redução dos revestimentos: devido à precisão dimensional dos blocos e pelo maior controle da execução, a espessura do revestimento pode ser reduzida;
- Redução dos desperdícios: o desperdício é evitado no sentido em que não são admitidos rasgos ou aberturas para colocação das tubulações hidráulicas ou elétricas.
- Redução da mão de obra: diminui o número de especialidade nas obras como o carpinteiro e armador.

### **2.3.1 DESVANTAGENS**

Limitações para mudança de layout: como as paredes estruturais não podem ser removidas a mudança de layout fica limitada, havendo a necessidade de definir, já no projeto, quais paredes podem ser removidas.

Mão-de-obra qualificada: a qualidade da mão-de-obra é fundamental, e para isto deve ser qualificada e apta para fazer uso dos instrumentos adequados à sua execução.

Aumento de custo para projetos mais arrojados, que tenham detalhes específicos e grandes vãos (ROMAN et al, 1999).

### **2.3.2 COMPONENTES**

Entende-se por componente de alvenaria uma entidade básica, ou seja, algo que compõe os elementos que por sua vez irão compor a estrutura. Os componentes principais da alvenaria são: blocos ou unidades, argamassa, graute e armadura. Já os elementos são uma parte suficientemente elaborada da estrutura,

sendo formados por pelo menos dois ou mais componentes como, por exemplo, paredes, pilares, cintas, vergas, etc. (RAMALHO; CORREA, 2003).

### 2.3.2.1 Bloco

Para ser considerada como bloco vazado a unidade deve apresentar no mínimo 75% de vazios. Para este estudo considerou-se que os blocos de concreto apresentam relação entre área líquida e área bruta de aproximadamente 50%.

Os blocos representam de 80% a 95% do volume da alvenaria, sendo determinante de grande parte das características da parede: resistência à compressão, estabilidade, precisão dimensional, resistência ao fogo e penetração de chuvas, isolamento térmico, acústico e também da estética. Em conjunto com a argamassa, os blocos também são determinantes para a resistência ao cisalhamento, tração e para a durabilidade da obra. Portanto, é a unidade fundamental da alvenaria (PARSEKIAN, 2010).

Na alvenaria estrutural podem ser empregados: bloco cerâmico, bloco de concreto ou bloco sílico-calcário. Atualmente os mais frequentemente utilizados no Brasil são os blocos de concreto e os blocos cerâmicos. A razão fundamental para esta preferência estaria na maior disponibilidade destes produtos no mercado e na maior tradição destes materiais (VILATÓ; FRANCO, 2000).

Os blocos a serem empregados na alvenaria estrutural devem apresentar resistência à compressão adequada, baixa absorção de água e estabilidade dimensional.

A tabela 2.1 apresenta as dimensões padronizadas para os blocos de concreto segundo a NBR 6136: 2007 que permite uma tolerância de  $\pm 2$  mm para a largura e  $\pm 3$  mm para a altura e o comprimento.

**Tabela 2.1 - Dimensões padronizadas para blocos de concreto**

Designação	Dimensões nominais (cm)	Dimensões padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
M – 20	20x20x40	190	190	390
	20x20x20	190	190	190
M - 15	15x20x40	140	140	390
	15x20x20	140	140	190

**Fonte:** NBR 6136: 2007.

### 2.3.2.2 Argamassa

A argamassa é o elemento de ligação das unidades de alvenaria que tem como principais funções solidarizar as unidades, transmitir e uniformizar as tensões, absorver pequenas deformações e de vedação contra a entrada de vento e água nas edificações.

Em geral as argamassas são constituídas de cimento, cal, areia e água podendo também utilizar aditivos. Suas principais características são:

- **Trabalhabilidade:** depende da combinação de vários fatores (agregado, água, tempo de preparação, etc.) e é medida indiretamente pelo ensaio de consistência.
- **Retenção de água:** é a capacidade da argamassa em reter água contra a sucção do bloco.
- **Aderência:** é a capacidade que a interface entre o bloco e a argamassa tem de absorver tensões de cisalhamento e tração sem se romper.
- **Resiliência:** é a capacidade de absorver deformações sem sofrer avarias.
- **Resistência a compressão:** deve ser suficiente para resistir aos esforços que a parede será submetida. Conforme a NBR 15961: 2011 o valor da resistência deve ser de no mínimo 1,5 MPa e o máximo limitado a  $0,7 f_{bk}$ , referida à área líquida.

### 2.3.2.3 Graute

É um concreto com agregado de pequenas dimensões e com alta fluidez composto por cimento, areia, brita zero ( $\pm 9,6\text{mm}$ ) e água. Eventualmente é utilizado para preencher os vazios dos blocos com o intuito de aumentar a área da seção transversal ou solidarizar as armaduras e dessa forma aumentar a capacidade resistente do elemento estrutural (parede ou pilar).

Considera-se que o conjunto bloco, graute e eventualmente armadura trabalhe monoliticamente, de maneira análoga ao que ocorre com o concreto simples ou armado. Para tanto, o graute deve envolver completamente as armaduras e aderir tanto a ela quanto ao bloco, de modo a formar um conjunto único (RAMALHO; CORREA, 2003).

Conforme PARSEKIAN (2010) o aumento da resistência da parede é muitas vezes entendida como proporcional ao aumento da área líquida pelo grauteamento, mas isso nem sempre ocorre.

A eficiência do graute pode variar de 60% a 100%, sendo que a maior eficiência do graute nos casos de blocos de menor resistência e nos grautes de maior resistência. Também é importante observar que o aumento excessivo da resistência do graute não leva necessariamente ao aumento da resistência da parede, podendo até ser prejudicial em casos extremos devido às deformações muito diferentes entre os dois materiais (CAVALHEIRO; GOMES, 2002).

#### **2.3.2.4 Armaduras**

As barras de aço devem estar sempre envolvidas por graute, para garantir o trabalho conjunto com o restante dos componentes da alvenaria. Conforme a NBR 15961: 2011 a especificação do aço deve ser feita de acordo com a NBR 7480: 2007 e na falta de ensaios ou valores fornecidos pelo fabricante, o módulo de elasticidade do aço pode ser admitido igual a 210 GPa.

### **2.3.3 QUALIDADE E RESISTÊNCIA DA ALVENARIA**

Vários fatores influenciam para que a alvenaria tenha o desempenho e a resistência estabelecidos em projeto sendo:

#### **2.3.3.1 Bloco**

As alvenarias são constituídas principalmente pelos blocos, dessa forma a resistência à compressão do bloco é o fator mais relevante na resistência a compressão da alvenaria. A resistência à compressão do bloco é em função da matéria-prima empregada, do processo de fabricação, da forma e do tamanho.

#### **2.3.3.2 Argamassa**

As argamassas têm efeito secundário na resistência à compressão das alvenarias devido ao estado triaxial de tensões a que está submetida.

### 2.3.3.3 Juntas

Em geral as juntas possuem 10 mm de espessura e servem para acomodar pequenas irregularidades dos blocos e deformações. De acordo com CAMACHO (1995) nas juntas horizontais quanto maior a espessura menor a resistência da parede, como mostra a tabela 2.2.

**Tabela 2.2** - Fator de redução devido à espessura da junta

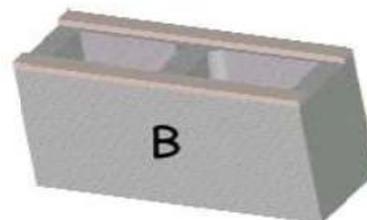
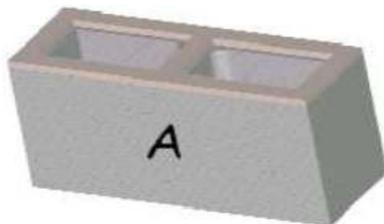
Espessura (mm)	Fator de redução
6	1,00
10	0,89
13	0,75
16	0,62
20	0,48

Fonte: (CAMACHO, 1995)

Juntas verticais aumentam o isolamento acústico e principalmente aumentam a resistência à flexão e ao cisalhamento, e por outro lado o não preenchimento aumenta a capacidade de absorver deformações. No entanto, conforme PARSEKIAN (2010) considera-se importante o preenchimento de juntas verticais de 10 mm em prédios de alvenaria estrutural, especialmente nos mais altos.

### 2.3.3.4 Tipo de assentamento

O tipo de assentamento dos blocos espalhando argamassa apenas nas laterais (figura 2.2) ou sobre toda superfície (figura 2.1) aumenta em aproximadamente em 15% a resistência da alvenaria (PARSEKIAN, 2010). Simplificadamente pode-se estimar essa diminuição multiplicando-se a relação entre a área de argamassa do caso A pela área de argamassa do caso B por 1,15. Neste estudo foram consideradas argamassas sobre toda a superfície.



**Figura 2.1** - Argamassa sobre toda superfície **Figura 2.2** - Argamassa sobre a superfície lateral  
Fonte: (PARSEKIAN, 2010)

Fonte: (PARSEKIAN, 2010)

### 2.3.3.5 Tempo de assentamento

O tempo para assentamento das unidades de alvenaria sobre a argamassa já espalhada diminui a resistência a compressão (PALACIOS SOLÓRIZANO, 1994 apud PARSEKIAN, 2010), conforme ilustrado na tabela 2.3.

**Tabela 2.3** - Resistência da argamassa após o espalhamento

Resistência da argamassa (MPa)	Tempo de espera para posicionamento dos blocos após espalhamento da argamassa (min)
5,38	1,5
4,58	3,0
4,13	6,0

**Fonte:** (PALACIOS SOLÓRIZANO, 1994 apud PARSEKIAN, 2010)

### 2.3.3.6 Retempero da Argamassa

Ao se utilizar qualquer material cimentício deve-se respeitar o tempo de pega, no caso das argamassas é em torno de duas horas e meia após a mistura.

A remistura da argamassa após a mistura inicial leva a uma menor resistência à compressão, porém aumenta a trabalhabilidade. No entanto é preferível retemperar a argamassa (adicionando água e remisturando) e sacrificar um pouco a resistência para que seja possível manter o nível de trabalhabilidade necessário (PARSEKIAN, 2010). A tabela 2.4 mostra um estudo realizado por PALACIOS SOLÓRIZANO (1994) considerando três condições distintas de assentamento.

**Tabela 2.4** - Resistência da parede devido às condições de assentamento

Resistência da Parede (MPa)	Condição de assentamento
4,03	após 1,0h sem retempero
5,05	após 1,0h com retempero
4,81	após 2,0h com retempero

**Fonte:** (PALACIOS SOLÓRIZANO, 1994 apud PARSEKIAN, 2010).

### **2.3.3.7 Condições climáticas**

A perda excessiva de umidade por evaporação em clima quente pode impedir a hidratação completa do cimento, ocasionando redução da resistência da argamassa. O assentamento das unidades com umidade excessiva também podem causar fissuras devido à retração.

### **2.3.3.8 Prumo e alinhamento**

Paredes em desaprumo ou desalinhadas com as paredes do pavimento inferior provocam tensões de excentricidade, reduzindo a resistência e prejudicando a qualidade da alvenaria. Conforme ROMAN et al (1999) um desvio de 12 a 20 mm por pavimento implicará um enfraquecimento da parede entre 13% e 15%.

## **2.4 LANÇAMENTO ESTRUTURAL**

Na concepção estrutural, o engenheiro deve ter em mente vários aspectos, tais como: manter a estética e a funcionalidade do projeto arquitetônico, idéia aproximada dos esforços atuantes na estrutura, métodos construtivos e custos. A escolha do sistema estrutural de um edifício, em geral, é influenciada por imposições arquitetônicas, por rotinas construtivas ou ainda pela infra-estrutura da região. Mesmo assim, o engenheiro de estruturas tem de buscar, entre todas as possibilidades, a estruturação mais econômica para o seu projeto (ALBUQUERQUE, 1999).

Qualquer que seja o sistema construtivo adotado, para que seja possível experimentar plenamente suas vantagens é necessário que o projeto seja concebido para este sistema. Portanto, havendo interesse na adoção da alvenaria estrutural, esta opção deve estar definida desde o início do empreendimento, para que se obtenham as vantagens técnicas e econômicas que levem à racionalização, gerando aumento de produtividade e redução de custos (RAUBER, 2005).

Ao contrario dos edifícios estruturados por pórticos de concreto armado ou aço, nos edifícios de alvenaria estrutural as paredes servem não apenas como vedação, mas também resistem às cargas de peso próprio, cargas acidentais, e ao

esforço horizontal devido à ação do vento. As paredes substituem os pilares e as vigas, constituindo a estrutura vertical do edifício (DUARTE, 1999).

O lançamento da estrutura constitui a etapa mais importante do projeto. No sistema de alvenaria estrutural a estruturação de uma edificação começa pela definição das paredes estruturais, estas devem inicialmente resistir aos esforços verticais e irão limitar as áreas de lajes. Nesta fase o projetista deve se preocupar com as cargas verticais, principalmente com o posicionamento das caixas d'água, e também com o posicionamento de paredes que servirão para o contraventamento da estrutura. Estas paredes de contraventamento devem ser dispostas nas duas direções principais da edificação, mesmo quando a planta tem um lado maior que o outro.

Posteriormente são dimensionadas as lajes e distribuídos os carregamentos (verticais e horizontais) pela estrutura. Em seguida as paredes são dimensionadas e verificadas quanto ao cisalhamento e flexo-compressão (tração e compressão).

#### **2.4.1 MODULAÇÃO**

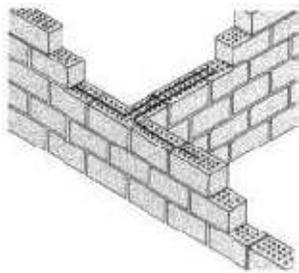
A modulação é um procedimento absolutamente fundamental para que uma edificação em alvenaria estrutural possa resultar econômica e racional. Se as dimensões de uma edificação não forem moduladas, como os blocos não devem ser cortados, os enchimentos resultantes certamente levarão a um custo maior e a uma racionalidade menor para obra em questão (RAMALHO; CORREA, 2003).

A coordenação modular é indispensável para que o projeto em alvenaria estrutural seja racional, possibilitando a sua rápida execução e evitando desperdícios. Seu uso correto possibilita economia, fator tão almejado pelos construtores nos dias atuais (PEIXOTO, 2005).

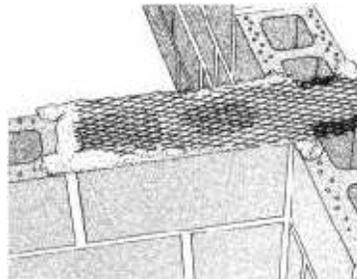
#### **2.4.2 AMARRAÇÃO**

A união e solidarização de paredes que se cruzam pode ocorrer através da amarração direta ou indireta. Segundo a NBR 15961: 2011 existirá a interação entre paredes quando se tratar de borda ou canto com amarração direta, em outras situações de ligação, que não a de amarração direta, a interação somente poderá ser considerada se existir comprovação experimental de sua eficiência.

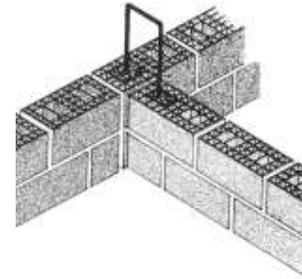
Na amarração direta a ligação entre paredes ocorre com 50% dos blocos penetram alternadamente na parede interceptada. Já na amarração indireta ocorre com barras metálicas convenientemente dispostas ou em forma de treliça soldadas, tendo-se como alternativa o uso de peças em forma de chapa metálica de resistência comprovada (BARRETO, 2002). Nas figuras 2.3 a 2.5 estão apresentados alguns detalhes de amarração indireta.



**Figura 2.3** - Amarração indireta com estribos  
**Fonte:** (ABCI, 1990)



**Figura 2.4** - Amarração indireta com tela de aço  
**Fonte:** (ABCI, 1990)



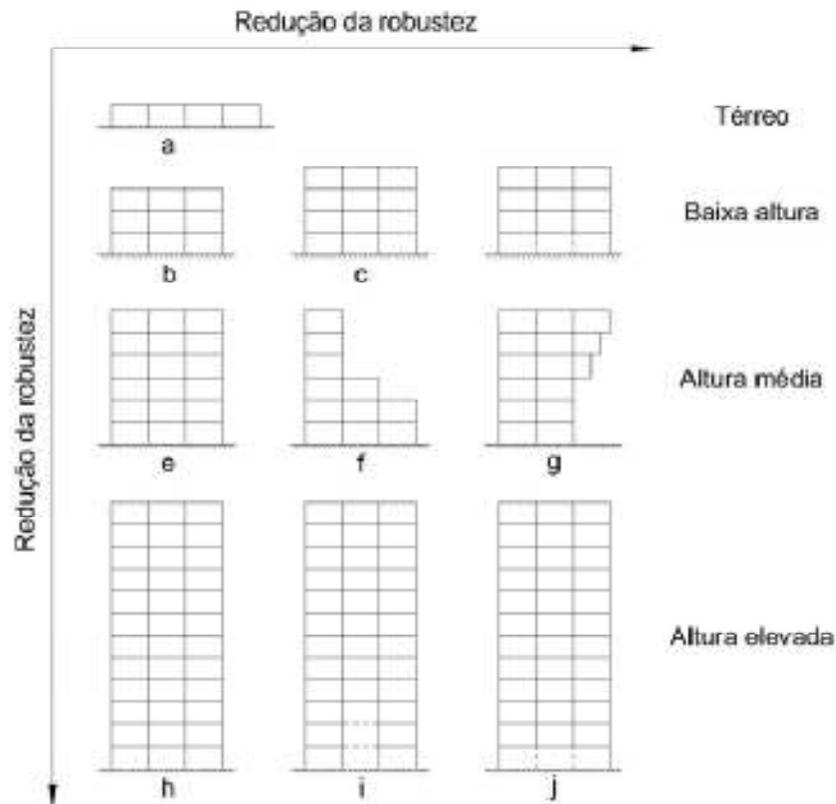
**Figura 2.5** - Amarração indireta com grampos  
**Fonte:** (ABCI, 1990)

### 2.4.3 FORMAS ESTRUTURAIS

A forma do edifício e um arranjo estrutural adequado podem resultar em estruturas mais eficientes e econômicas. Sendo determinada em função da sua utilização (residencial, escritório, hospitalar, comercial, etc.) influenciam diretamente no comportamento estrutural, principalmente em relação à ação do vento sobre a estrutura. Estas ações produzem tensões indesejáveis nas paredes estruturais, uma das formas de evitar estas tensões é definindo corretamente a forma e o arranjo estrutural do edifício.

Do ponto de vista estrutural, pode-se dizer que quanto mais robusta uma edificação, maior sua capacidade de resistir aos esforços, principalmente os horizontais (RAUBER, 2005). A quantidade de pavimentos influencia diretamente na robustez do edifício, bem como sua capacidade em resistir a esforços horizontais (DUARTE, 1999).

A figura 2.6 apresenta a influência entre a forma do edifício e o número de pavimentos na redução da robustez do edifício.



**Figura 2.6** - Efeito do número de pavimentos na robustez do edifício

Fonte: (DRYSDALE et al, 1999)

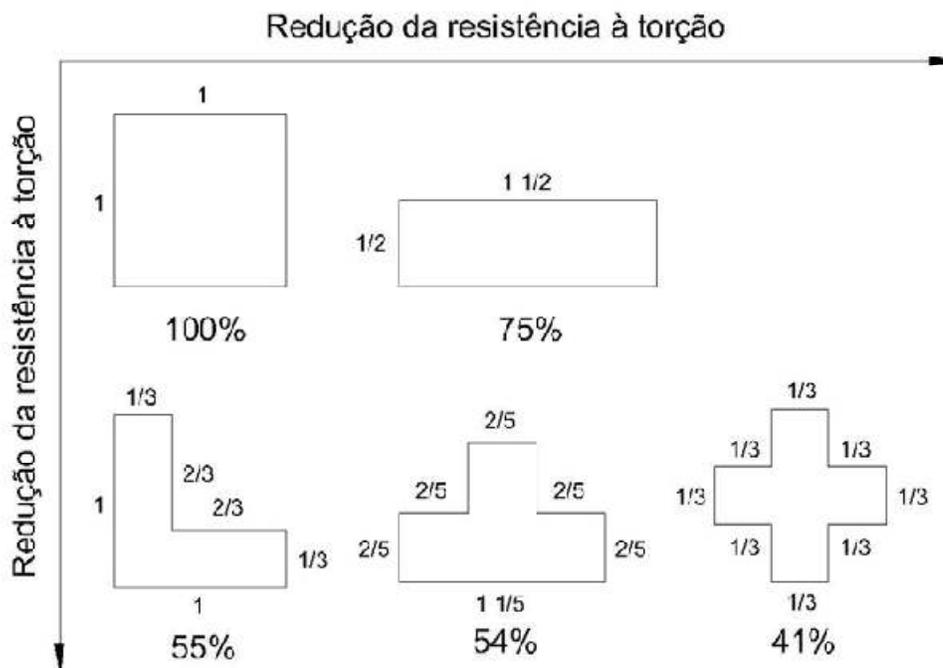
Recomendam-se algumas relações dimensionais, referenciadas no quadro 2.1, indicando parâmetros ideais e toleráveis visando o aumento da robustez do conjunto (CAVALHEIRO, 1995).

	Situação	C / L	H / L
	Ideal	1	$\leq 1$
	Aceitável	$\leq 4$	$\leq 3$
	Ruim	$> 4$	$> 3$

**Quadro 2.1** - Relações dimensionais

Fonte: (CAVALHEIRO, 1995)

Outro fator importante a ser observado é o efeito da torção provocado pela ação do vento nos edifícios. Estes efeitos podem ser minimizados adotando formas simétricas. Na figura 2.7 apresenta-se a relação entre as formas na resistência a torção, tomando como base a forma quadrada.



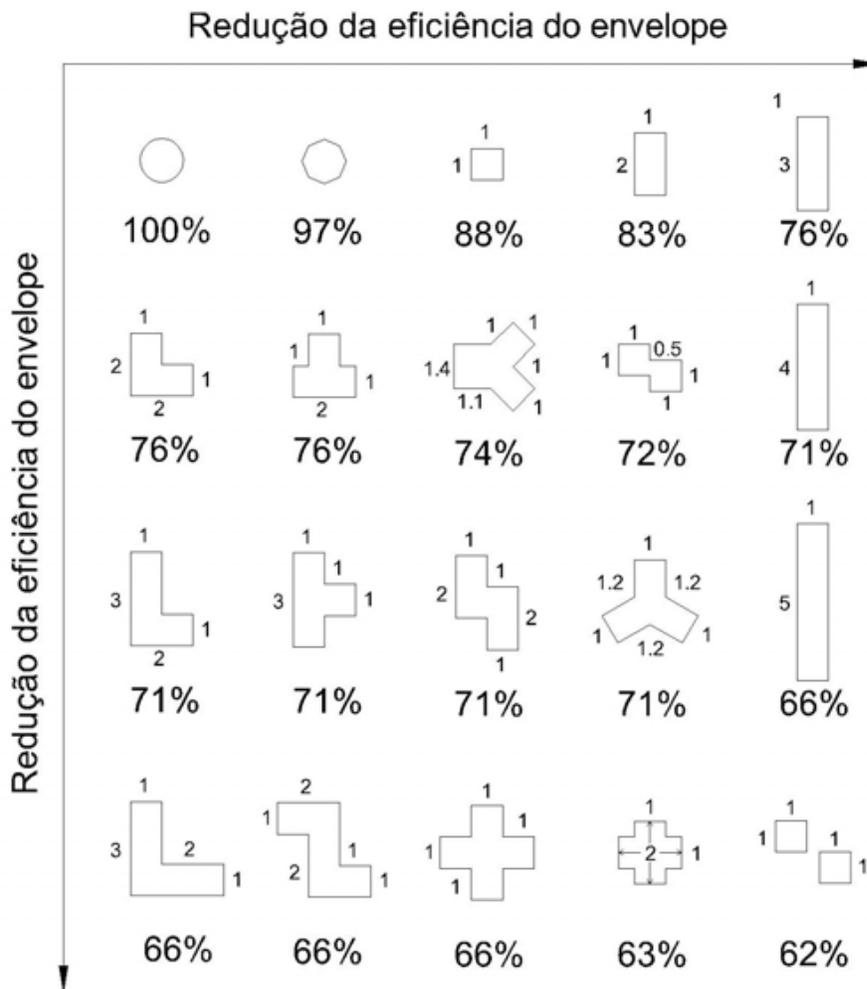
**Figura 2.7** - Redução da resistência a torção devido à forma

**Fonte:** (DRYSDALE et al, 1999)

Analisando o quadro 2.1 e as figuras 2.6 e 2.7 observa-se que edifícios com plantas simétricas e baixa altura sofrem pouca influência da ação do vento e os edifícios com plantas quadradas e retangulares pouca influência dos efeitos da torção. Considerando estes fatores, neste trabalho, os efeitos da torção na análise do comportamento estrutural foram desprezados.

Um parâmetro importante em termos de custos de construção e resistência é a relação entre o comprimento das paredes externas (envelope) do prédio com a área da planta baixa. Esta relação fornece uma idéia do custo da parede com a área útil a ser construída.

Na figura 2.8 apresenta-se a relação entre a eficiência do envelope com a forma da planta baixa, tomando-se como referencia a área de um círculo.



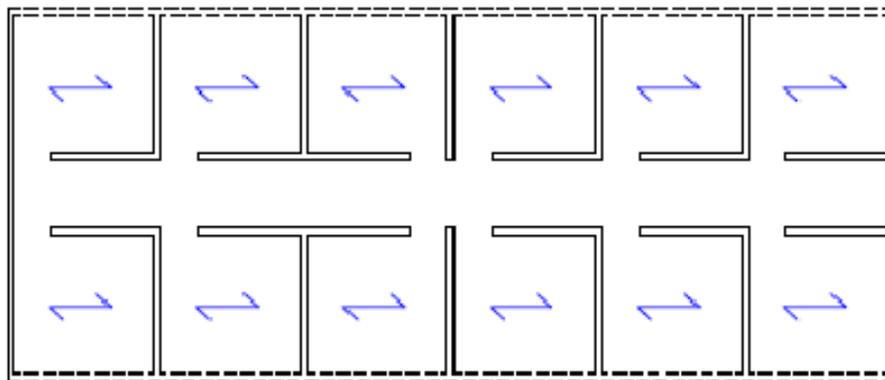
**Figura 2.8** - Relação entre a eficiência do envelope e a planta baixa

**Fonte:** (DRYSDALE et al, 1999)

Uma classificação que pode ser considerada clássica, criada por HENDRY (1981), nomeia os sistemas estruturais de acordo com a disposição das paredes estruturais em:

### Paredes transversais

Neste sistema as paredes externas não são estruturais, as lajes são armadas em uma única direção e apóiam-se nas paredes estruturais perpendiculares ao eixo do edifício (figura 2.9).

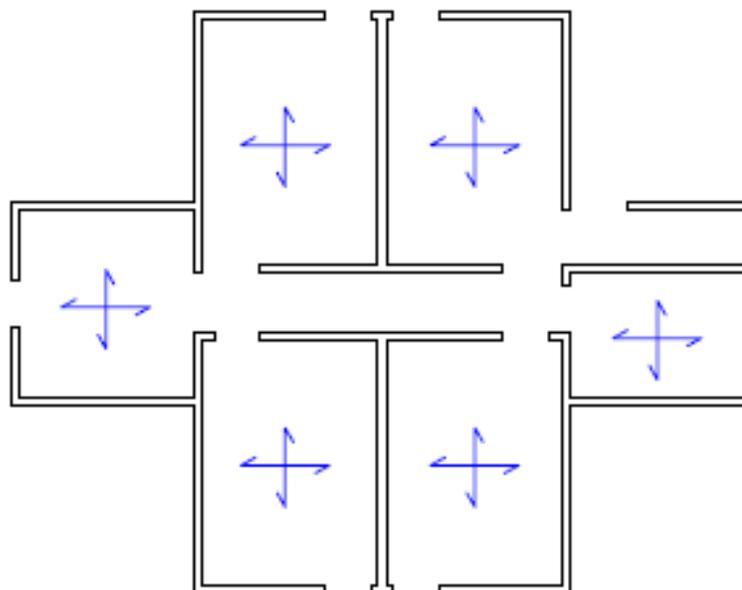


**Figura 2.9** - Sistema de paredes transversais

Fonte: (RAMALHO; CORREA, 2007)

### Paredes celulares

Neste sistema todas as paredes são estruturais e as lajes são armadas nas duas direções; essas características proporcionam melhor contraventamento da estrutura e distribuição das cargas verticais (figura 2.10).

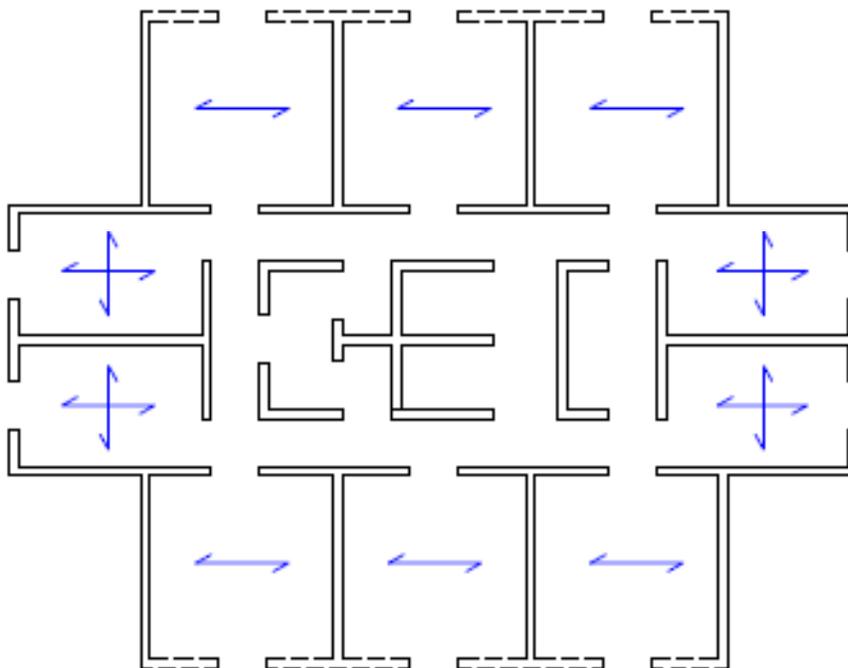


**Figura 2.10** - Sistema de paredes celulares

Fonte: (RAMALHO; CORREA, 2007)

### Sistema complexo

Este sistema é formado por uma combinação dos sistemas anteriores, utilizando as paredes internas estruturais, formando um núcleo rígido, e algumas paredes externas não estruturais (figura 2.11).



**Figura 2.11** - Sistema complexo de paredes

Fonte: (RAMALHO; CORREA, 2007)

## 2.5 SEGURANÇA ESTRUTURAL

### 2.5.1 MÉTODO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS

Neste método as cargas de projeto são deterministicamente admitidas como os valores máximos concebidos para atuarem ao longo da vida útil da estrutura. As máximas tensões que poderão ocorrer na estrutura devido à sua utilização não devem ultrapassar o valor das correspondentes tensões de ruptura ou de escoamento dos materiais, divididas por um coeficiente de segurança interno ( $\gamma_i$ ) maior que a unidade. O quociente da tensão de ruptura, ou de escoamento do material pelo coeficiente de segurança interno, é denominado tensão admissível (ATAIDE, 2005).

Muitas críticas são feitas ao método das tensões admissíveis ou método clássico, pois considera que uma estrutura apresenta comportamento linear (proporcionalidade entre as tensões e carregamentos) durante seu período de vida útil, contudo na estrutura deformada não há a linearidade geométrica, dessa forma a estrutura deixa de apresentar o comportamento linear antes da ruptura.

Conforme CARVALHO & FIGUEIREDO (2003) podem ser feitas algumas restrições para utilização deste método, sendo que este método pode conduzir ao mau aproveitamento dos materiais e conseqüentemente a um superdimensionamento da estrutura, pois as grandezas são empregadas com seus valores máximos que raramente são atingidos, além de não considerar a capacidade de adaptação plástica dos materiais para resistir a maiores solicitações.

### **2.5.2 MÉTODO DOS ESTADOS LIMITES**

No método dos estados limites a segurança é garantida fazendo com que as ações atuantes na estrutura sejam majoradas por um coeficiente pré-estabelecido assim como a resistência dos materiais sejam minoradas.

Conforme ATAIDE (2005) este método possibilita analisar a estrutura em relação aos estados limites últimos e aos estados limites de utilização, sendo:

- Os estados limites últimos estão relacionados ao esgotamento da capacidade resistente da estrutura, ou seja, ao colapso. Estes deverão ter uma probabilidade de ocorrência pequena, pois a sua ocorrência pode resultar em perda de vidas humanas.
- Os estados limites de serviço correspondem a limites estabelecidos que, se obedecidos, garantem que o comportamento da estrutura será adequado para sua utilização normal e durabilidade. Uma maior probabilidade de ocorrência é permitida para os estados limites de serviço, pelo fato de não representarem situações de risco de morte.

Quando a estrutura atinge um estado tal que sua durabilidade ou funcionalidade fica comprometida, diz-se que a mesma atingiu um estado limite de utilização. Assim, flechas excessivas, vibrações excessivas, dano local por abertura excessiva de fissura são exemplos de estados limites de utilização (BERNARDO, 1999).

Conforme a NBR 6118: 2003 o estado limite de utilização para o concreto armado é classificado em:

- **estado limite de formação de fissuras (ELS-F):** Estado em que se inicia a formação de fissuras;
- **estado limite de abertura das fissuras (ELS-W):** Estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados;
- **estado limite de deformações excessivas (ELS-DEF):** Estado em que as deformações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal;
- **estado limite de vibrações excessivas (ELS-VE):** Estado em que as vibrações atingem os limites estabelecidos para a utilização normal da construção.

### 2.5.3 DEFORMAÇÃO ESTRUTURAL

De acordo com CAMACHO (2004), as deformações do concreto podem ser classificadas como:

Deformações que dependem do carregamento, destacando-se:

Deformação elástica imediata, que ocorre por ocasião da aplicação do carregamento e são reversíveis, quando removido o carregamento, a peça retorna a configuração original.

Deformação lenta (fluência), que ocorre devido o aumento de deformação sob tensão constante e essas deformações são irreversíveis exercendo importante influência no valor da flecha final.

Deformações independentes do carregamento:

Deformações dependentes da variação de volume causada por retração, fenômeno caracterizado pela redução do volume do concreto causada principalmente pela evaporação da água contida nos poros do concreto.

Deformações por variação de temperatura, devido à dilatação térmica.

## 2.5.4 DESLOCAMENTOS LIMITES

São valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura e podem ser divididos em quatro grupos, sendo:

- **Aceitabilidade sensorial:** o limite é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável;
- **Efeitos específicos:** os deslocamentos podem impedir a utilização adequada da construção;
- **Efeitos em elementos não estruturais:** deslocamentos estruturais podem ocasionar o mau funcionamento de elementos que, apesar de não fazerem parte da estrutura, estão ligados a ela;
- **Efeitos em elementos estruturais:** os deslocamentos podem afetar o comportamento do elemento estrutural, provocando afastamento em relação às hipóteses de cálculo adotadas. Se os deslocamentos forem relevantes para o elemento considerado, seus efeitos sobre as tensões ou sobre a estabilidade da estrutura devem ser considerados, incorporando-os ao modelo estrutural adotado.

O quadro 2.2 apresenta os deslocamentos limites empregados para verificação das lajes.

Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Visual	Deslocamentos visíveis Aceitabilidade em elementos estruturais	Total	L/250
Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Ocorrido após a construção da parede	L/500 ou 10mm ou $\theta = 0,0017$ rad

**Nota:** O vão deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

**Quadro 2.2** - Deslocamentos em elementos estruturais

**Fonte:** Modificado da NBR 6118: 2003

Os objetivos dessas prescrições vão desde a redução das necessidades de manutenção e reparos nas estruturas até a garantia de que um elemento, apesar dos deslocamentos em relação à posição inicial, possa atender a critérios mínimos de aceitação tanto do ponto de vista estrutural quanto estético (GUARDA, 2005).

A ocorrência de deslocamentos excessivos em elementos estruturais, e em particular nas lajes, acarreta uma série de problemas que prejudicam o desempenho satisfatório da estrutura. Deslocamentos excessivos podem ocorrer tanto na fase de construção quanto ao longo da vida útil da edificação, e é importante que os limites máximos sejam obedecidos (FIGUEIREDO, 1989).

## **2.6 AÇÕES NA ESTRUTURA**

Ao se fazer uma análise estrutural as ações devem ser combinadas de forma a determinar os efeitos mais críticos nas seções da estrutura. Conforme a NBR 8681: 1980, define-se ações como toda influência ou conjunto de influências que provocam aparecimento de esforços solicitantes ou deformações na estrutura.

Segundo a NBR 15961: 2011, na análise estrutural de edifícios de alvenaria estrutural devem ser consideradas a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

Os valores característicos das ações ( $f_k$ ) são definidos em função de suas variabilidades. Esses valores estão definidos na NBR 6118: 2003 ou em normas específicas.

### **2.6.1 AÇÕES HORIZONTAIS**

As principais ações horizontais que devem ser consideradas são o vento e o desaprumo.

Vento é o movimento das massas de ar causado por variações de pressão e temperatura na atmosfera. Sua causa básica é o aquecimento não uniforme da atmosfera, provocado principalmente pelos raios ultravioleta emitidos pelo sol que aquecem a superfície da terra, e que por sua vez, emite raios infravermelhos que aquecem a atmosfera. As diferenças entre as superfícies, a evaporação da água, sua precipitação e a rotação da terra, entre outros fatores, produzem a movimentação de massas que originam os ventos (PITTA, 2001).

As ações devido ao vento foram calculadas de acordo com a NBR 6123: 1988 - Forças devidas ao vento em edificações e o desaprumo conforme indicado na NBR 15812: 2010.

As ações sísmicas não são levadas em consideração pela NBR 15961: 2011, uma vez que não ocorrem no Brasil. Para a sua definição recomenda-se consultar normas específicas do local onde será construída a edificação.

## 2.6.2 AÇÕES VERTICAIS

De acordo com a NBR 8681:1980 Cargas para o cálculo de estruturas de edificações, em função de sua variabilidade no tempo, as ações podem ser classificadas como ações permanentes, variáveis ou excepcionais e são designadas como:

- Ações diretas;
- Ações indiretas.

No quadro 2.3 estão classificadas as ações com alguns exemplos.

Tipo de ação		Exemplo
<b>Permanentes (g)</b>	Diretas	Peso próprio
		Peso dos elementos de construção
		Peso dos elementos fixos
		Empuxo de terra e líquidos
	Indiretas	Recalques
		Retração
		Fluência
<b>Variáveis (q)</b>	Diretas	Erros de execução geométricos
		Protensão
		Cargas acidentais
	Indiretas	Ação do Vento
Cargas de construção		
<b>Excepcionais</b>	Indiretas	Variação de Temperatura
		Ações dinâmicas
		Furacões
		Terremotos
		Explosões

**Quadro 2.3** - Classificação das ações

Fonte: NBR 6118: 2003

As principais ações verticais atuantes nas lajes são os carregamentos permanentes (peso próprio, paredes não estruturais, contra-piso, revestimentos e forro) e os carregamentos variáveis (sobrecarga devida utilização). Os valores das cargas de uso dependem da utilização do ambiente arquitetônico que ocupa a região da laje em estudo e, portanto, da finalidade da edificação (residencial, comercial, escritórios etc.).

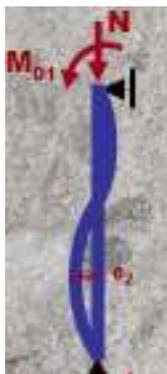
As cargas de paredes apoiadas diretamente na laje podem, em geral, ser admitidas uniformemente distribuídas na laje. Quando forem previstas paredes divisórias, cuja posição não esteja definida no projeto, pode ser admitida, além dos demais carregamentos, uma carga uniformemente distribuída por metro quadrado de piso não menor que um terço do peso por metro linear de parede pronta, observado o valor mínimo de  $1 \text{ kN/m}^2$ .

Nas paredes estruturais as principais ações verticais atuantes além das reações das lajes são o (peso próprio, grautes, armaduras, revestimentos) e dos elementos fixos (caixilhos).

### 2.6.3 AÇÕES INDIRETAS

As ações horizontais geram deslocamentos horizontais e estes, quando associados às ações verticais, irão gerar os efeitos de 2.<sup>a</sup> ordem global. Então para calcular o momento fletor atuante sobre a estrutura são consideradas duas possibilidades:

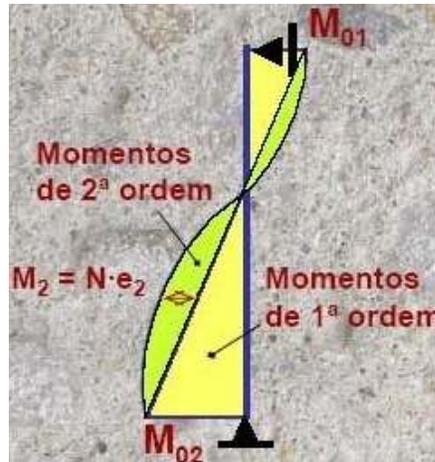
Momento fletor de primeira ordem: são aqueles formados pelos efeitos das ações horizontais e das imperfeições geométricas da estrutura, ilustrado na figura 2.12.



**Figura 2.12** - Momento de primeira ordem

**Fonte:** (Modificado de LUCIO, 2006 apud CARNEIRO; MARTINS, 2008)

Momento fletor de segunda ordem: são os efeitos dos esforços formados devido à excentricidade causada pelos momentos de primeira ordem, associado das ações verticais, conforme figura 2.13.



**Figura 2.13** - Momento de segunda ordem

**Fonte:** (Modificado de LUCIO, 2006 apud CARNEIRO; MARTINS, 2008)

Porém quando o aumento nos esforços decorrentes dos efeitos de 2.<sup>a</sup> ordem global forem inferiores a 10%, esses efeitos podem ser desprezados.

## 2.6.4 DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES

Apresentam-se a seguir algumas considerações sobre a distribuição das ações verticais e horizontais nos painéis de alvenaria.

### 2.6.4.1 Vertical

Os três principais métodos para distribuição das ações verticais são:

- Paredes isoladas

Este sistema considera que cada parede atua isoladamente sem nenhuma interação com as paredes adjacentes, sendo indicado em projetos com ligação indireta de paredes.

É o processo mais simples, rápido e seguro, porém como não considera a uniformização das cargas resulta em estruturas superdimensionadas e, portanto, antieconômico.

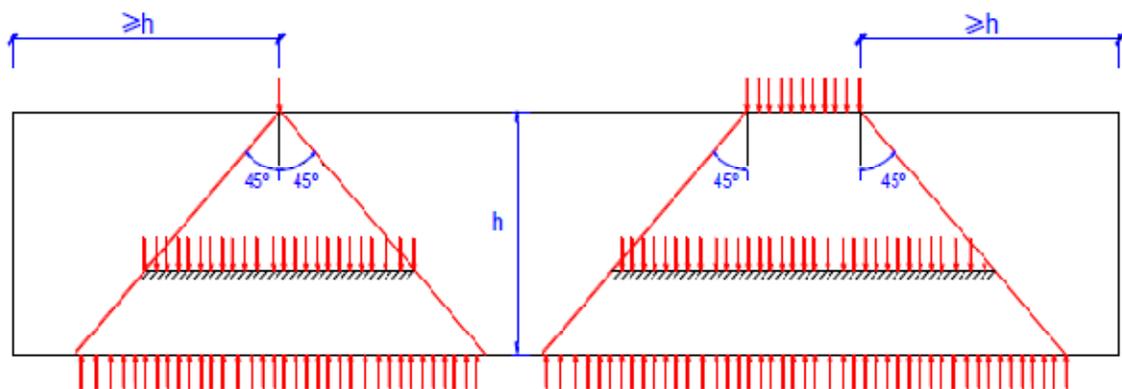
- Grupo de paredes isoladas

Apesar de um pouco mais trabalhoso que o método anterior, este método é também muito simples e fácil de ser aplicado. Conforme RAMALHO & CORREA, (2003) este procedimento é muito bem aceito na literatura internacional.

Neste sistema considera que as paredes adjacentes atuam em conjunto formando os grupos de paredes. Apesar de não haver regras bem definidas para formação dos grupos de paredes, em geral, estes são limitados pelas aberturas de portas e janelas. Contudo, fica a cargo do projetista a definição dos grupos sendo muito importante a experiência do profissional, pois a definição incorreta pode resultar em especificações inadequadas de blocos.

- Grupo de paredes com interação

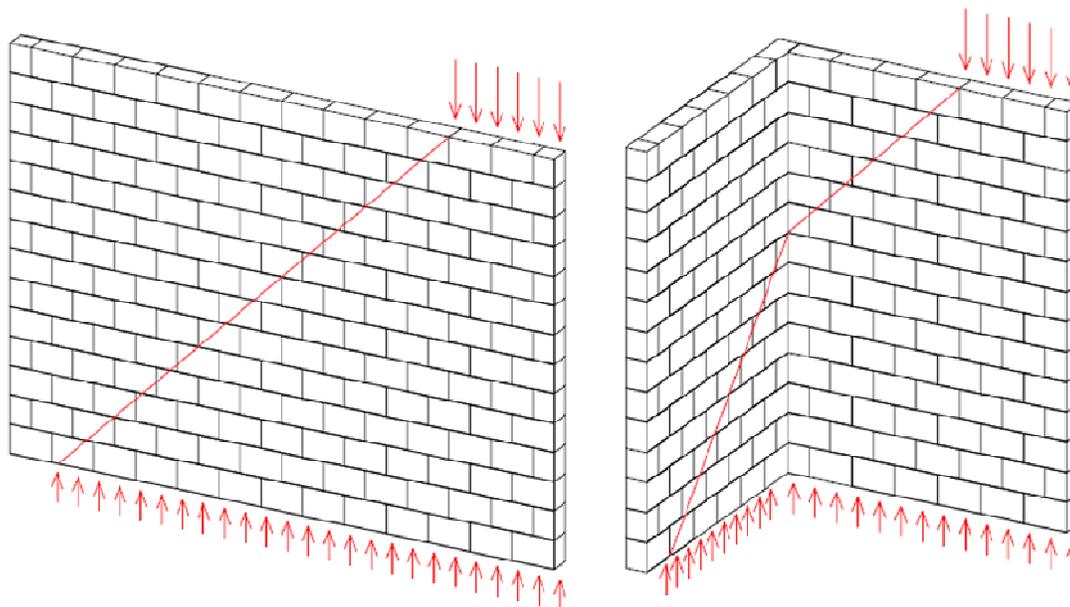
Este método segue os mesmos princípios do método de paredes isoladas acrescido do conceito que, conforme a NBR 15961: 2011 a dispersão de qualquer ação vertical concentrada ou distribuída sobre um trecho de um elemento se dará segundo uma inclinação de  $45^\circ$ , em relação ao plano horizontal, como ilustra a figura 2.14.



**Figura 2.14** - Dispersão das ações verticais com espalhamento a  $45^\circ$

Fonte: NBR 15961: 2011.

A uniformização das ações a 45° nos painéis de alvenaria, como na figura 2.15, conduz a um dimensionamento mais econômico e seguro em relação aos procedimentos anteriores.



**Figura 2.15** - Distribuição das tensões segundo o ângulo de 45°

**Fonte:** (CAPUZZO, 2000)

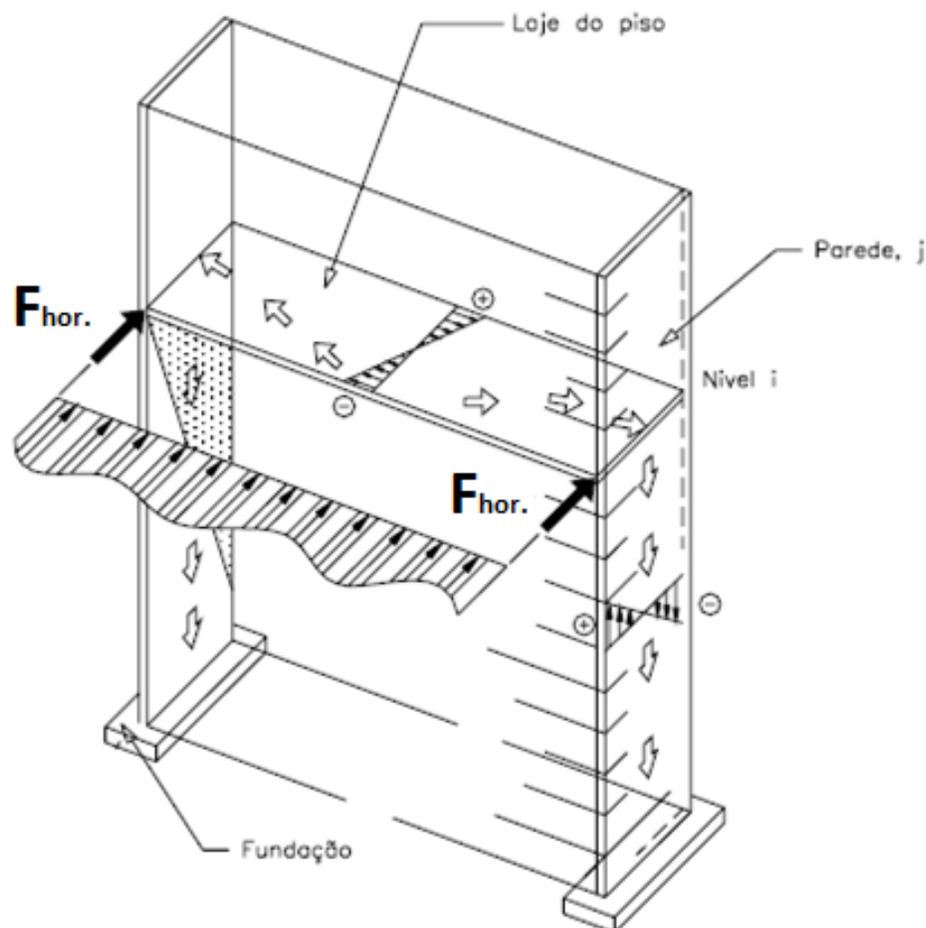
Conforme a NBR 15961: 2011 as interações de paredes através de aberturas devem ser desconsideradas, a menos que haja comprovação experimental de sua eficiência.

#### **2.6.4.2 Horizontal**

Conforme já mencionado, as principais ações horizontais que devem ser consideradas são as ações de vento e desaprumo.

As forças provenientes do vento incidem perpendicularmente à fachada do edifício e são transferidas para as lajes que atuam como diafragmas rígidos no seu plano, distribuindo parcelas da ação do vento, somada as parcelas da ação de desaprumo, aos painéis de contraventamento proporcionalmente à rigidez de cada um.

Estes painéis absorvem as ações e as transmitem para o pavimento inferior ou às fundações, conforme figura 2.16.

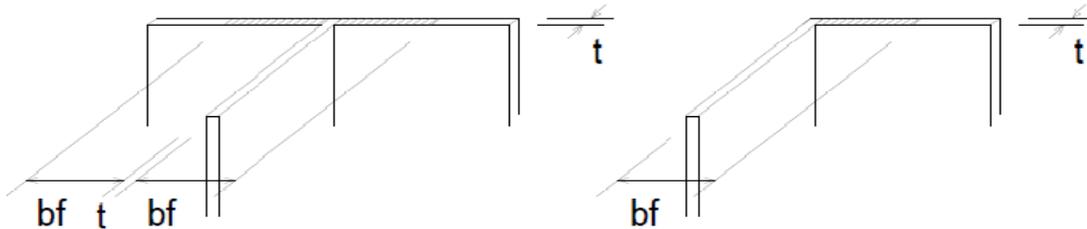


**Figura 2.16** - Distribuição da ação do vento

Fonte: (Modificado de CARNEIRO; MARTINS, 2008)

São considerados painéis de contraventamento todas as paredes perpendiculares a direção do vento. Quando a ligação entre as paredes for direta a NBR 15961: 2011 permite considerar a contribuição de trechos perpendiculares a estes painéis de contraventamento, tais trechos são denominados abas ou flanges.

O comprimento efetivo desses flanges em painéis de contraventamento deve obedecer ao limite  $bf \leq 6t$ , conforme figura 2.17.



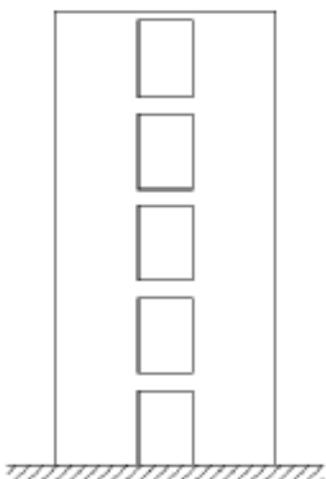
**Figura 2.17** - Comprimento efetivo de flanges

Fonte: NBR 15961: 2011.

Uma vez definidas as paredes de contraventamento e conhecida a resultante das ações horizontais, resta determinar qual o quinhão de carga que corresponde a cada parede. Conhecido esse valor, pode-se obter os deslocamentos, tensões máximas, esforços de corte e verificar a existência de tensões de tração. Para a análise de paredes de contraventamento com aberturas existem basicamente cinco métodos clássicos (CAMACHO, 2006).

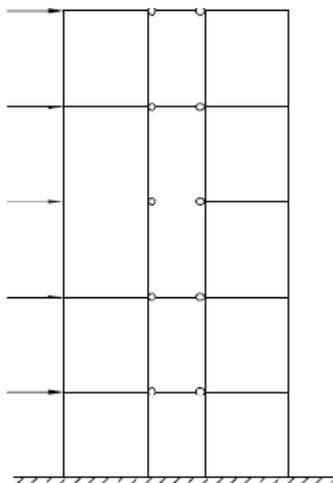
- Método das paredes articuladas;
- Cisalhamento contínuo;
- Analogia de pórtico;
- Pórtico de coluna larga;
- Elementos finitos.

As figuras 2.18 a 2.23 apresentam os esquemas gráficos desses modelos respectivamente.



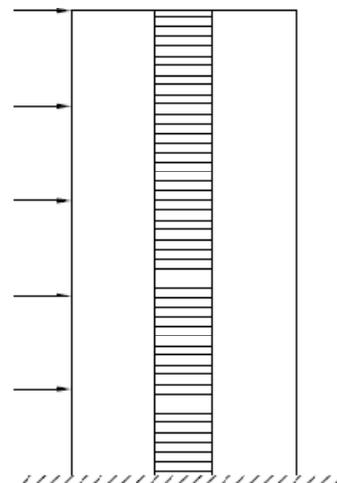
**Figura 2.18** - Edifício com aberturas

Fonte: (CAMACHO, 2006)



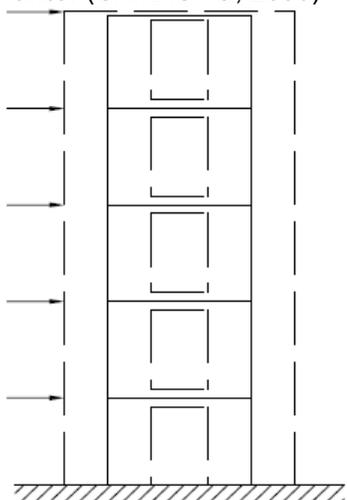
**Figura 2.19** - Paredes em balanço

Fonte: (CAMACHO, 2006)



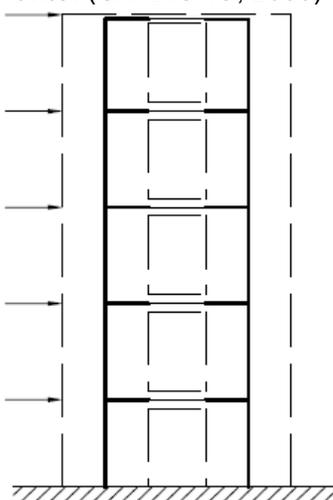
**Figura 2.20** - Cisalhamento contínuo

Fonte: (CAMACHO, 2006)



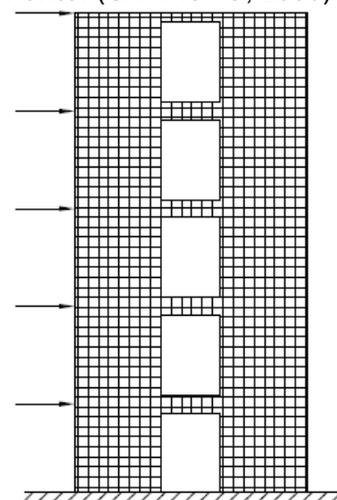
**Figura 2.21** - Analogia de pórticos

Fonte: (CAMACHO, 2006)



**Figura 2.22** - Pórtico de coluna larga

Fonte: (CAMACHO, 2006)



**Figura 2.23** - Modelo de elementos finitos

Fonte: (CAMACHO, 2006)

#### 2.6.4.3 Modelo de paredes em balanço

Também chamado de paredes articuladas, este procedimento é o mais usual. Entretanto, os resultados de tensões obtidos são relativamente altos, já que não se considera a interação de paredes separadas por aberturas (ACCETI, 1998).

Para os casos de edifícios com até 4 pavimentos e com varias paredes de contraventamento nas duas direções principais, esse modelo é suficiente para um dimensionamento econômico (PARSEKIAN, 2010).

Considerar paredes de forma isolada é um procedimento de distribuição de ações que pode ser muito simples e eficiente. Sobretudo em casos de ações que atuem segundo eixos de simetria da estrutura, basta que seja feita a compatibilização dos deslocamentos dos diversos painéis para que se possa encontrar o quinhão de carga correspondente a cada um (RAMALHO; CORREA, 2003).

A aplicação do processo consiste em se determinar a inércia relativa de cada painel, a partir daí a ação atuante em cada um deles. Dessa forma, pode-se definir a soma de todas as inércias pela equação 2.1.

$$\Sigma_I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n \quad (\text{eq. 2.1.})$$

Onde:

$I_i$  = inércia de cada parede de contraventamento.

Depois a rigidez relativa de cada painel dada pela equação 2.2.

$$I_{ri} = \frac{I_i}{\Sigma_I} \quad (\text{eq. 2.2})$$

Onde:

$I_{ri}$  = rigidez relativa de cada parede de contraventamento;

$I_i$  = inércia de cada parede de contraventamento;

$\Sigma_i$  = somatório das inércias das paredes de contraventamento.

A ação de em cada painel pode ser obtida simplesmente multiplicando-se a ação total em um determinado pavimento,  $F_{tot}$ , pelo valor de  $I_{ri}$ , como na equação 2.3.

$$F_i = F_{tot} \times I_{ri} \quad (\text{eq. 2.3})$$

Onde:

$F_i$  = força atuante em cada parede de contraventamento;

$F_{tot}$  = força total horizontal;

$I_{ri}$  = inércia relativa de cada parede de contraventamento.

Encontrada as ações ao nível de cada pavimento, resta determinar os diagramas de esforços solicitantes, em especial o momento fletor. Então as tensões devidas a essa ação podem ser encontradas utilizando-se a expressão tradicional da resistência dos materiais (equação 2.4), dividindo o momento fletor pelo módulo da resistência à flexão.

$$\sigma_l = \frac{M}{W} \quad (\text{eq. 2.4})$$

Onde:

$\sigma_l$  = tensão devido as ações laterais;

$M$  = momento fletor atuante na parede;

$W$  = módulo de resistência a flexão;

### 2.6.5 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES

Um carregamento é definido pela combinação das ações que têm probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. Em todas as combinações, as ações permanentes devem ser tomadas em sua totalidade, e as ações variáveis devem ser tomadas apenas as parcelas que produzem efeitos desfavoráveis para a segurança (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2003).

Segundo a NBR 6118: 2003 as ações permanentes e variáveis podem ser combinadas em função da probabilidade que têm de atuarem simultaneamente durante um determinado período. Para a verificação de estados limites de serviço, costuma-se definir três tipos de combinação de ações:

- **quase permanentes (CQP):** podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformações excessivas.
- **frequentes (CF):** se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações

excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;

- **raras (CR):** ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de formação de fissuras.

No quadro 2.4 estão representadas as equações das combinações quase permanentes, frequentes e raras.

Combinações	Equações
Quase permanente	$\Sigma F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_{2j} \times F_{qi,k}$
Frequente	$\Sigma F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_{1j} \times F_{qi,k} + \Sigma \psi_{2j} \times F_{qi,k}$
Rara	$\Sigma F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + F_{qi,k} + \Sigma \psi_{1j} \times F_{qi,k}$
<b>Nota:</b> $F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço; $F_{qi,k}$ é o valor característico das ações variáveis principais diretas; $F_{gi,k}$ é o valor característico das ações permanentes principais diretas; $\psi_1$ é o fator de redução de combinação freqüente para ELS; $\psi_2$ é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS.	

**Quadro 2.4** - Combinação e equações do ELS

**Fonte:** NBR 6118: 2003

Conforme a NBR 6118: 2003 as ações devem ser majoradas pelo coeficiente  $\gamma_f$  obtido através da equação 2.5, sendo que este coeficiente é obtido pelo produto de três outros.

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \times \gamma_{f2} \times \gamma_{f3} \quad (\text{eq. 2.5})$$

Onde:

$\gamma_f$  = coeficiente de ponderação das ações;

$\gamma_{f1}$  = coeficiente que considera a variabilidade das ações;

$\gamma_{f2}$  = coeficiente que considera a simultaneidade das ações;

$\gamma_{f3}$  = coeficiente que considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações.

No estado limite ultimo o coeficiente de ponderação das ações  $\gamma_f$  é representado pela equação 2.6 Na tabela 2.5 encontram-se os valores dos coeficientes  $\gamma_{f1}$  e  $\gamma_{f3}$ .

$$\gamma_f = \gamma_{f1} + \gamma_{f3} \quad (\text{eq. 2.6})$$

Onde:

$\gamma_f$  = coeficiente de ponderação das ações;

$\gamma_{f1}$  = coeficiente que considera a variabilidade das ações;

$\gamma_{f3}$  = coeficiente que considera os possíveis erros de avaliação dos efeitos das ações.

**Tabela 2.5** - Valores dos coeficientes  $\gamma_{f1}$  e  $\gamma_{f3}$

Combinações das ações	Ações							
	Permanentes		Variáveis		Protensão		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável
<b>Normais</b>	1,4	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
<b>Especiais ou de construção</b>	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
<b>Excepcionais</b>	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

**Fonte:** NBR 6118: 2003

No estado limite de serviço o coeficiente de ponderação  $\gamma_f$  corresponde ao coeficiente  $\gamma_{f2}$  representado pela equação 2.7.

$$\gamma_f = \gamma_{f2} \quad (\text{eq. 2.7})$$

Onde:

$\gamma_f$  = coeficiente de ponderação das ações;

$\gamma_{f2}$  = coeficiente que considera a simultaneidade das ações;

No quadro 2.5, estão às ações com seus respectivos coeficientes de simultaneidades das ações.

AÇÕES		$\gamma_{f2}$		
		$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
<b>Cargas acidentais de edifícios</b>				
Locais em que não há predominância de peso de equipamentos que permaneçam fixos por longo período de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas, como é o caso de edifícios residenciais.		0,5	0,4	0,3
Nota:	$\psi_0$ fator de redução de combinação para o estado limite último			
	$\psi_1$ fator de redução de combinação freqüente para o estado limite de serviço			
	$\psi_2$ fator de redução de combinação quase permanente para o estado limite serviço			

**Quadro 2.5** - Valores dos coeficientes  $\gamma_{f2}$

Fonte: NBR 6118: 2003

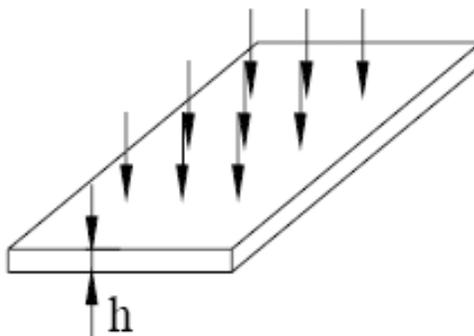
## 2.7 LAJES

### 2.7.1 DEFINIÇÃO DE 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 no pavimento, provenientes do uso (pessoas, móveis e equipamentos), e transferi-los para os apoios. Nos edifícios usuais, as lajes maciças têm grande contribuição no consumo de concreto, aproximadamente 50% do total (PINHEIRO, et al, 2003).

Do ponto de vista estrutural, lajes são placas de concreto, ou seja, são elementos estruturais de superfície plana (elementos laminares simétricos em relação ao seu plano médio), em que a dimensão perpendicular à superfície, usualmente denominada espessura, é relativamente pequena comparada às demais (largura e comprimento), estando sujeitas principalmente as ações normais ao seu plano (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2007).

A principal característica que difere as lajes dos outros elementos estruturais é o fato de que a maior parte dos carregamentos que nela atuam são perpendiculares ao seu plano médio, como indicado na figura 2.24.



**Figura 2.24** - Carregamentos atuantes nas lajes

Fonte: (FIGUEIREDO, 2007)

O pavimento de uma edificação, que é um elemento estrutural de superfície, pode ser projetado com elementos pré-moldados ou moldados no local. O pavimento moldado no local pode ser composto por uma única laje (maciça ou nervurada), sem vigas, ou por um conjunto de lajes, maciças ou nervuradas (FIGUEIREDO, 2007).

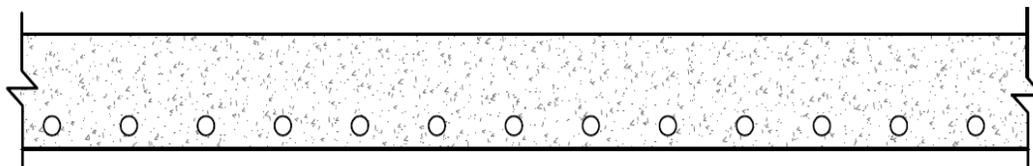
## 2.7.2 TIPOS DE LAJES

As lajes utilizadas foram: laje maciça, laje nervurada e laje com vigotas treliçadas.

### 2.7.2.1 Laje maciça

Historicamente, o sistema de lajes maciças (figura 2.25) na construção de edifícios de concreto armado tem sido o sistema de lajes mais empregado. Neste sistema as lajes são constituídas por placas maciças de concreto armado, de espessura normalmente constante. Esse modelo de laje consome grande quantidade de fôrmas, estas representam grande parcela do custo final da obra.

Entretanto, o custo final dos pavimentos com lajes maciças diminui consideravelmente quando o pavimento se repete, pois pode ser utilizado o mesmo jogo de fôrma e escoramentos diversas vezes. (FIGUEIREDO, 2007).



**Figura 2.25** - Laje maciça

O custo de uma laje maciça está diretamente relacionado com a espessura da laje. Como as outras duas dimensões são de ordem de grandeza muito maior, qualquer alteração da espessura implica numa variação considerável do volume de concreto da laje e, conseqüentemente, do seu peso próprio. Assim, lajes esbeltas, ou seja, de pequena espessura, são normalmente mais econômicas (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2007).

O quadro 2.6 apresenta as dimensões mínimas para lajes maciças, regulamentadas pela NBR 6118:2003.

Utilização da laje	Espessura mínima
Laje de cobertura	$h = 5\text{cm}$
Laje de piso	$h = 7\text{cm}$
Laje em balanço	$h = 7\text{cm}$
Lajes que suportem veículos ( $\leq 30\text{KN}$ )	$h = 10\text{cm}$
Lajes que suportem veículos ( $\geq 30\text{KN}$ )	$h = 12\text{cm}$

**Quadro 2.6** - Dimensões mínimas para lajes maciças

**Fonte:** NBR 6118:2003

Algumas vantagens proporcionadas por este sistema de laje:

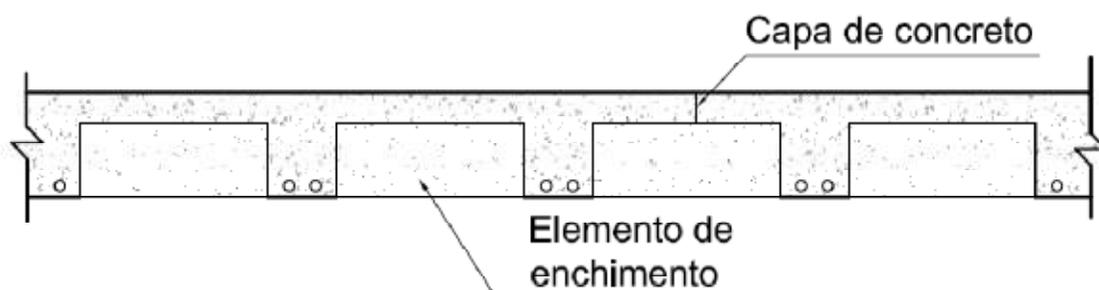
- Atua como diafragma rígido colaborando no contraventamento da estrutura;
- Grande disponibilidade de mão-de-obra, materiais e equipamentos;
- Proporcionando melhor distribuição do carregamento (nas duas direções).

Algumas desvantagens deste sistema:

- Apresenta grande consumo de concreto, aço e formas;
- Grande necessidade de cimbramentos;
- Elevado peso próprio.

### 2.7.2.2 Laje nervurada

Laje nervurada (figura 2.26) é o sistema estrutural formado por um conjunto de nervuras, distribuídas em uma ou duas direções, com espaçamentos regulares entre si, solidarizadas por uma mesa de concreto (SCHWETZ, 2005). O fato das armaduras serem responsáveis pelos esforços resistentes de tração permite que a zona tracionada seja discretizada em forma de nervuras, não comprometendo a zona comprimida, que será resistida pela mesa de concreto (ALBUQUERQUE, 1999).



**Figura 2.26** - Laje nervurada moldada no local

As principais vantagens são que os painéis de lajes nervuradas em duas direções têm maior rigidez que aqueles com nervuras em uma direção, menor peso próprio que as lajes maciças e ainda há o aumento da inércia devido a sua grande altura. Estas lajes geralmente são empregadas em casos aonde as ações ou vão exigem lajes de grande espessura.

Na execução dessas lajes nervuradas pode-se utilizar material inerte como forma perdida ou pode-se utilizar forma reaproveitável, na forma de caixotes, tijolo cerâmico, bloco de cimento e bloco de poliestireno expandido (isopor) são os mais utilizados como materiais inertes.

De acordo com a NBR 6118:2003 as lajes nervuradas devem obedecer alguns critérios de espessura mínima, conforme o quadro 2.7.

Componente da laje	Espessura mínima
Mesa (quando não houver tubulações embutidas)	$h_f \geq 1/15 \times \text{distancia entre nervuras}$ $h_f \geq 3\text{cm}$
Mesa (quando houver tubulações embutidas)	$\phi \leq 12,5\text{mm}$ $h_f \geq 4\text{cm}$ .
Nervuras	$b_w \geq 5\text{cm}$
Nervuras (com armadura de compressão)	$b_w \geq 8\text{cm}$ .

**Quadro 2.7** - Espessura mínima dos componentes da laje nervurada

**Fonte:** NBR 6118:2003

### 2.7.2.3 Laje treliçada

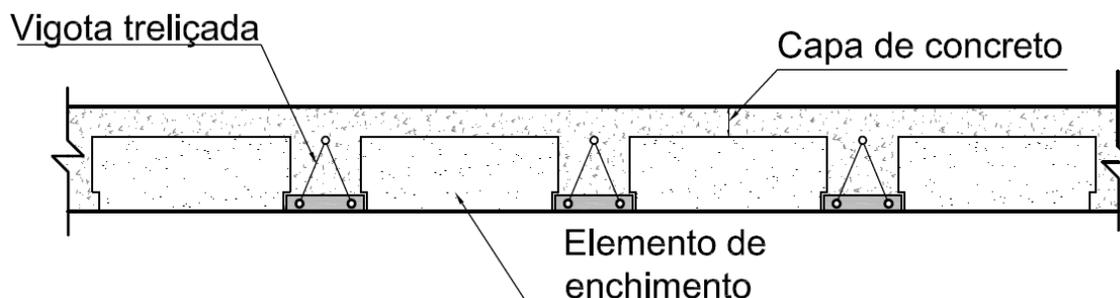
Com o surgimento de novas tecnologias para indústria da construção civil foi desenvolvido o processo de utilização de lajes com vigotas pré-fabricadas. A pré-fabricação é um método industrial de construção no qual os elementos fabricados em série, por sistemas de produção em massa, são posteriormente montados em obra, tendo em vista garantir melhor qualidade, produtividade, redução do tempo de construção e dos custos.

De acordo com DROPPA & EL DEBS (2001), recentemente esse tipo de laje tem avançado rumo aos edifícios de mais pavimentos, substituindo até mesmo as lajes maciças dos edifícios. Destaca-se também que a concepção estrutural dos pavimentos com grandes vãos é uma tendência atual, reduzindo-se o número de paredes estruturais e apoiando-se as paredes de vedação diretamente sobre a laje.

Estruturalmente as lajes pré-moldadas são formadas por vigotas, que em função de sua geometria, são consideradas lajes nervuradas, e apesar do grande volume de concreto moldado no local, são caracterizadas como lajes pré-moldadas, portanto laje pré-moldada nervurada (ARAGÃO, 2007).

Neste sistema as lajes são construídas com vigotas unidirecionais pré-fabricadas com armadura em treliça. Elementos leves de enchimento (blocos cerâmicos, de poliestireno expandido, etc.) são posicionados entre as vigotas, e uma capa superior de concreto, onde se deve colocar uma armadura de distribuição; a

capa, juntamente com as vigotas, compõe a seção da laje resistente à flexão, conforme ilustrado nas figuras 2.27 (FIGUEIREDO; CARVALHO, 2007).



**Figura 2.27** - Laje pré-fabricada com vigotas treliçadas

Os elementos estruturais das lajes pré-moldadas (vigotas treliçadas) são dispostos em uma única direção (geralmente a do menor vão) e simplesmente apoiados nas extremidades, por isso são consideradas lajes armadas em uma única direção (CARVALHO et al, 2000).

Dependendo das dimensões do vão e da eventual presença de ações lineares (sobretudo paredes) atuantes perpendiculares às nervuras principais (compostas pelas vigotas e parte do concreto de capeamento), são construídas algumas nervuras transversais (na direção ortogonal às vigotas) com a finalidade de travamento das nervuras principais e/ou distribuição destas ações lineares; isso é construtivamente viável apenas quando as vigotas são do tipo treliçadas (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2007).

Em comparação com os outros sistemas de lajes nervuradas as com vigotas pré-fabricadas, apresentam diversas vantagens:

- Possibilita diversas aplicações, tais como edifícios de apartamentos, comerciais, escolares, residências, núcleos habitacionais, galpões, etc. e proporcionam uma grande agilidade na construção;
- Evita o uso das lajes rebaixadas ou do forro falso, pois tubulações elétricas e hidráulicas podem ser embutidas diretamente na laje, distribuídas entre as treliças antes da concretagem;
- Redução no consumo de fôrmas, escoramentos, concreto, armaduras e conseqüentemente redução do custo da estrutura;

- Racionalização da obra com a utilização de elementos pré-fabricados e menor número de pessoas para execução.

Algumas desvantagens são apresentadas com esse sistema quando se utiliza vigotas tipo trilho que impedem a armação bidirecional e os valores dos deslocamentos transversais, são bem maiores que os apresentados pelas lajes maciças.

### **2.7.3 COMPORTAMENTO DAS LAJES**

Conforme FIGUEIREDO (2007) as lajes exercem outras funções importantes, como auxiliar na garantia do contraventamento das estruturas, funcionando como diafragmas (chapas horizontais infinitamente rígidas no seu plano) que distribuem as cargas horizontais atuantes entre as estruturas de contraventamento, promovendo a estabilidade global da estrutura.

As lajes de concreto, sob ação de cargas que agem perpendicularmente ao seu plano médio, têm o comportamento de placa e, sob a ação de cargas atuantes em seu próprio plano médio, tem comportamento de chapa. De modo geral o comportamento de placa está associado à flexão local devida ao carregamento diretamente aplicado às lajes, e o comportamento de chapa ao contraventamento da estrutura global tridimensional e à transmissão das cargas horizontais de vento aos elementos a elas resistentes (FUSCO, 1994).

#### **2.7.3.1 Distribuição do carregamento**

Conforme CAMACHO (2006) a determinação dos esforços solicitantes nas lajes podem envolver modelos matemáticos complexos de cálculos de placas, sendo, portanto de utilização pouco prática. Assim, é comum a utilização de processos simplificados que permitem a determinação dos esforços solicitantes nas lajes, sendo que os mesmos devem atender às prescrições da NBR 6118: 2003.

Segundo a NBR 6118: 2003 as reações em cada apoio são as correspondentes as cargas atuantes nos triângulos ou trapézios determinados por meio das charneiras plásticas. As charneiras plásticas podem ser aproximadas por retas inclinadas, a partir dos vértices, com os seguintes ângulos:

- 45° entre dois apoios do mesmo tipo;
- 60° a partir do apoio considerado engastado, se o outro for considerado simplesmente apoiado;
- 90° a partir do apoio quando a borda vizinha for livre.

O cálculo pela teoria das charneiras plásticas é feito admitindo-se que a ruína somente ocorra com a formação de um conjunto de linhas de plastificação, as quais transformam a laje em um sistema hipostático (FUSCO, 1994).

A análise do comportamento estrutural pode ser efetuada por diferentes métodos, sendo:

- **Análise linear, com ou sem redistribuição dos esforços:** aplicam-se os métodos baseados na teoria da elasticidade, com coeficiente de Poisson igual a 0,2, que considera o concreto armado como se fosse um material homogêneo, de comportamento elástico
- **Análise plástica:** para a consideração do estado limite último, a análise de esforços pode ser realizada através da teoria das charneiras plásticas, que considera o concreto armado em regime rígido-plástico, admitindo, portanto a presença de fissuras.
- **Análise não-linear:** são permitidas para verificações de estados limites últimos e de estados limites de serviço.

### 2.7.3.2 Deslocamento nas lajes

Com a evolução da tecnologia dos materiais de construção e da informática, foi possível o emprego de concretos mais resistentes e análises mais refinadas para o cálculo das estruturas de concreto armado (ALBUQUERQUE, 1999).

Essa evolução permitiu, cada vez mais, a criação de projetos arrojados e o emprego de elementos estruturais mais esbeltos que conseqüentemente apresentam maiores deformações. Dessa forma a condição determinante de projeto, muitas vezes, decorre das deformações limites e não dos estados limites últimos de ruptura.

Os pavimentos de concreto armado são submetidos a esforços de flexão apresentando seções no estágio I e no estágio II. No estágio II o concreto encontra-se fissurado, produzindo uma não-linearidade entre as ações e deslocamentos.

Há também a não linearidade provocada pela fluência do concreto, que é a deformação que o concreto apresenta, ao longo do tempo, quando submetido a ações de longa duração (CARVALHO; FIGUEIREDO, 2007).

De acordo com GUARDA (2005) para se garantir que uma estrutura mantenha suas condições de utilização em serviço, no que diz respeito tanto ao conforto dos usuários quanto à segurança, à funcionalidade, à durabilidade e à aparência, deve-se verificar o estado limite de deformações excessivas.

## 3. Metodologia

Neste capítulo apresenta-se a metodologia empregada para realização deste trabalho. É importante destacar que todas as modelagens foram processadas utilizando o software CAD/TQS versão 14.2. e planilhas de cálculo. Contudo um exemplo do procedimento utilizado para o dimensionamento se encontra neste capítulo.

### 3.1 SOFTWARE UTILIZADO

A entrada dos dados no software CAD/TQS é feita graficamente e juntamente com a entrada gráfica são indicadas as cargas atuantes em cada elemento estrutural. No término da entrada gráfica faz-se o processamento e então são extraídos arquivos textos com dados do projeto e desenhos de detalhamento.

Para o cálculo dos esforços e dimensionamento da estrutura este software é baseado em arquivos de critérios de dimensionamento que podem ser editados, portanto o usuário tem total controle sobre os resultados obtidos.

O CAD/TQS é formado por subsistemas sendo um específico para o dimensionamento de alvenaria estrutural e outro para o concreto armado sendo assim, as lajes foram dimensionadas separadamente dos elementos de alvenaria estrutural.

Paredes de alvenaria estrutural podem ser consideradas apoios indesejáveis, portanto para o dimensionamento das lajes foram simuladas vigas com as mesmas dimensões (altura e largura) das paredes para servir de apoio para as lajes e em seguida foram dimensionadas e detalhadas todas as lajes através do CAD/Lajes.

No dimensionamento dos elementos de alvenaria estrutural, para efeito de carregamento da estrutura, são consideradas as alturas de lajes especificadas anteriormente no seu dimensionamento. Como a versão 14.2 do TQS dimensiona os elementos de alvenaria de acordo com a NBR 10837: 1989 e este trabalho trata do dimensionamento conforme a NBR 15961: 2011, foram extraídos os resultados de carregamento das paredes e as propriedades dos grupos de paredes e

posteriormente, em planilhas de cálculo, feito o dimensionamento e verificação dos elementos de alvenaria estrutural.

O dimensionamento seguiu o seguinte roteiro:

- Dimensionamento das lajes;
- Dimensionamento das alvenarias estruturais;
- Resumo estrutural das modelagens;
- Quantificação dos materiais;
- Custos.

### 3.2 MODELOS ESTUDADOS

Em geral as plantas dos edifícios são bastante variadas, com diferentes geometrias, dimensões, disposição dos vãos e layout. Estas características dificultam a comparação entre resultados do comportamento estrutural e custos.

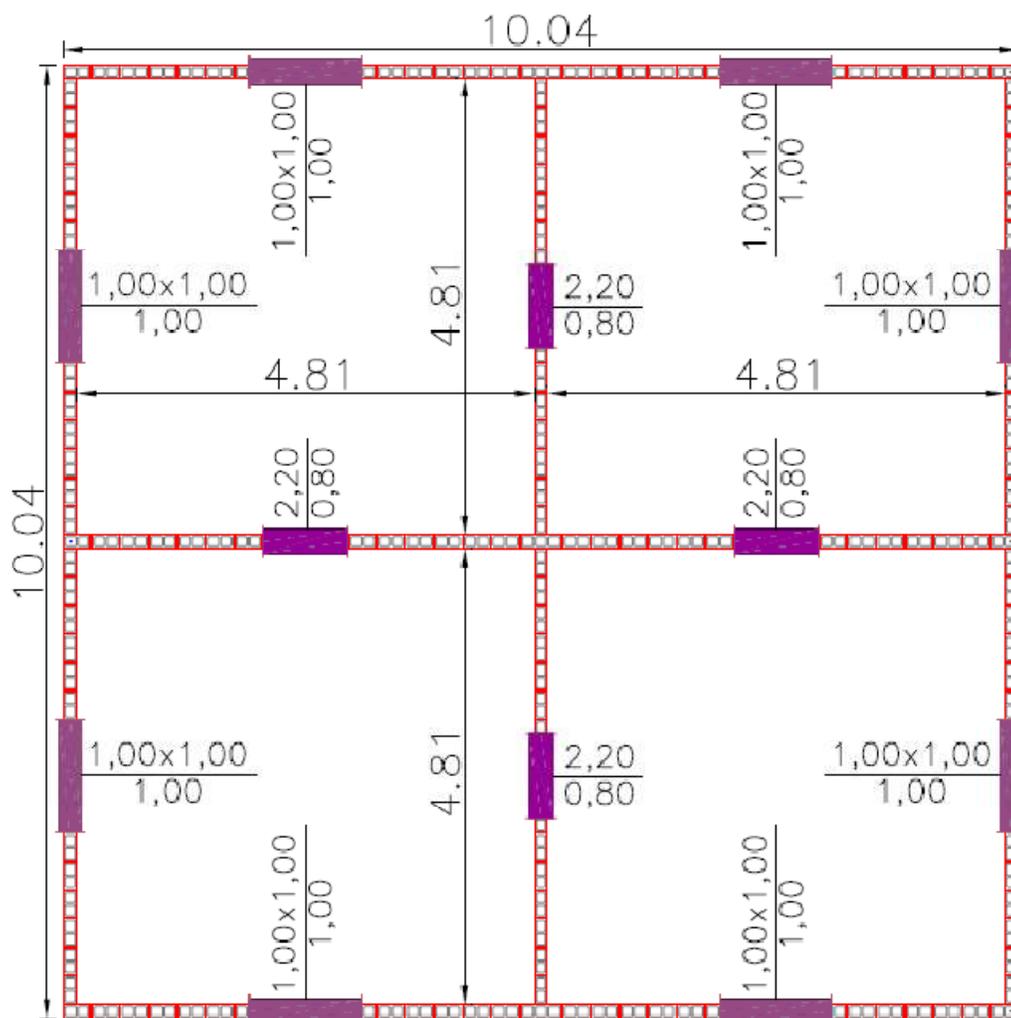
Portanto optou-se pela concepção de plantas conceituais seguindo um padrão para as dimensões, disposição dos vãos e layout. Essas plantas conceituais são compostas somente por portas e janelas formando o pavimento tipo. Embora tenha considerável importância no dimensionamento não foram considerados na concepção das plantas escadas, poço de elevador e outros pavimentos como cobertura, casa de máquinas e caixas d'água.

#### LEGENDA

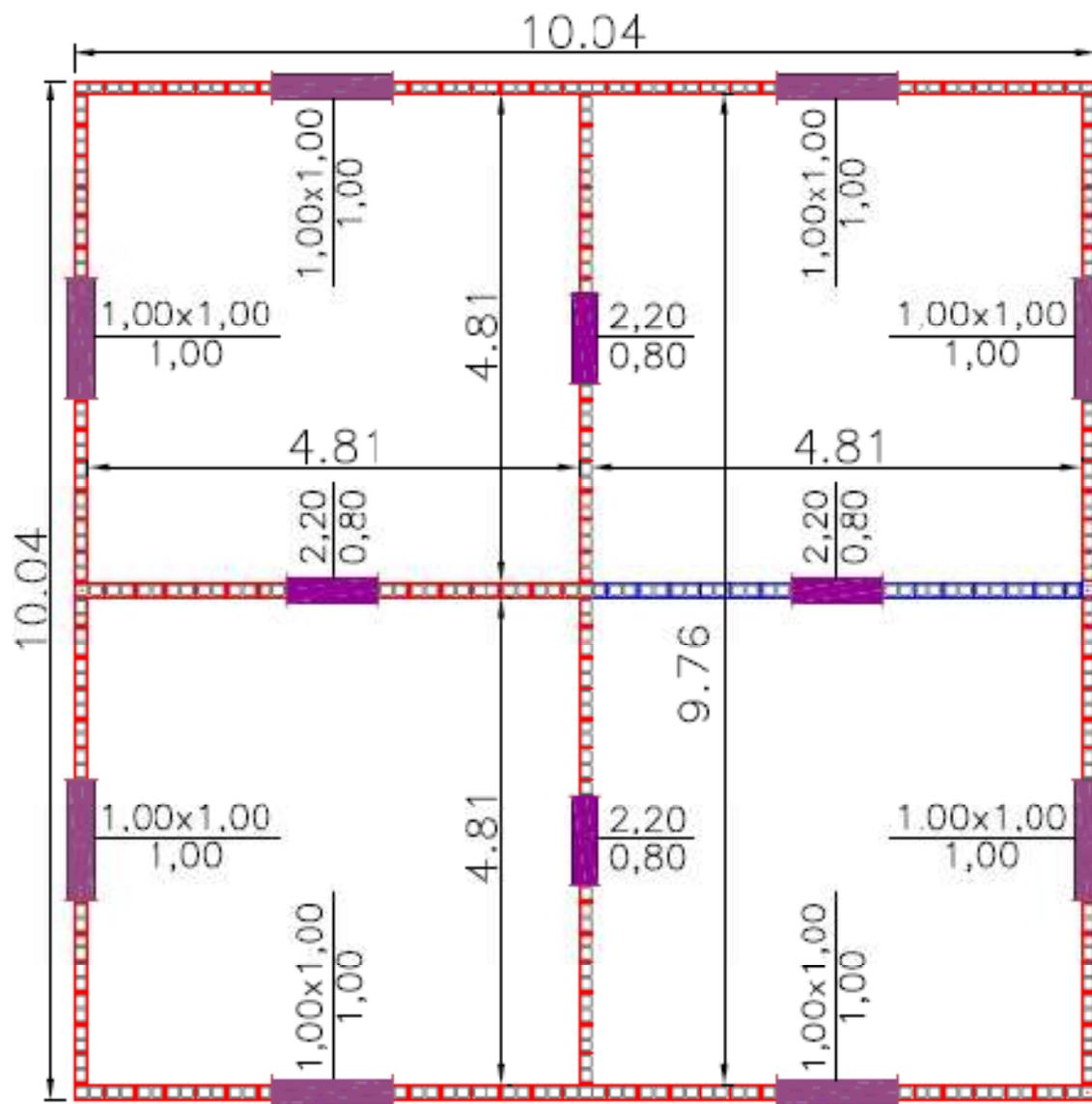
 Parede estrutural

 Parede de vedação

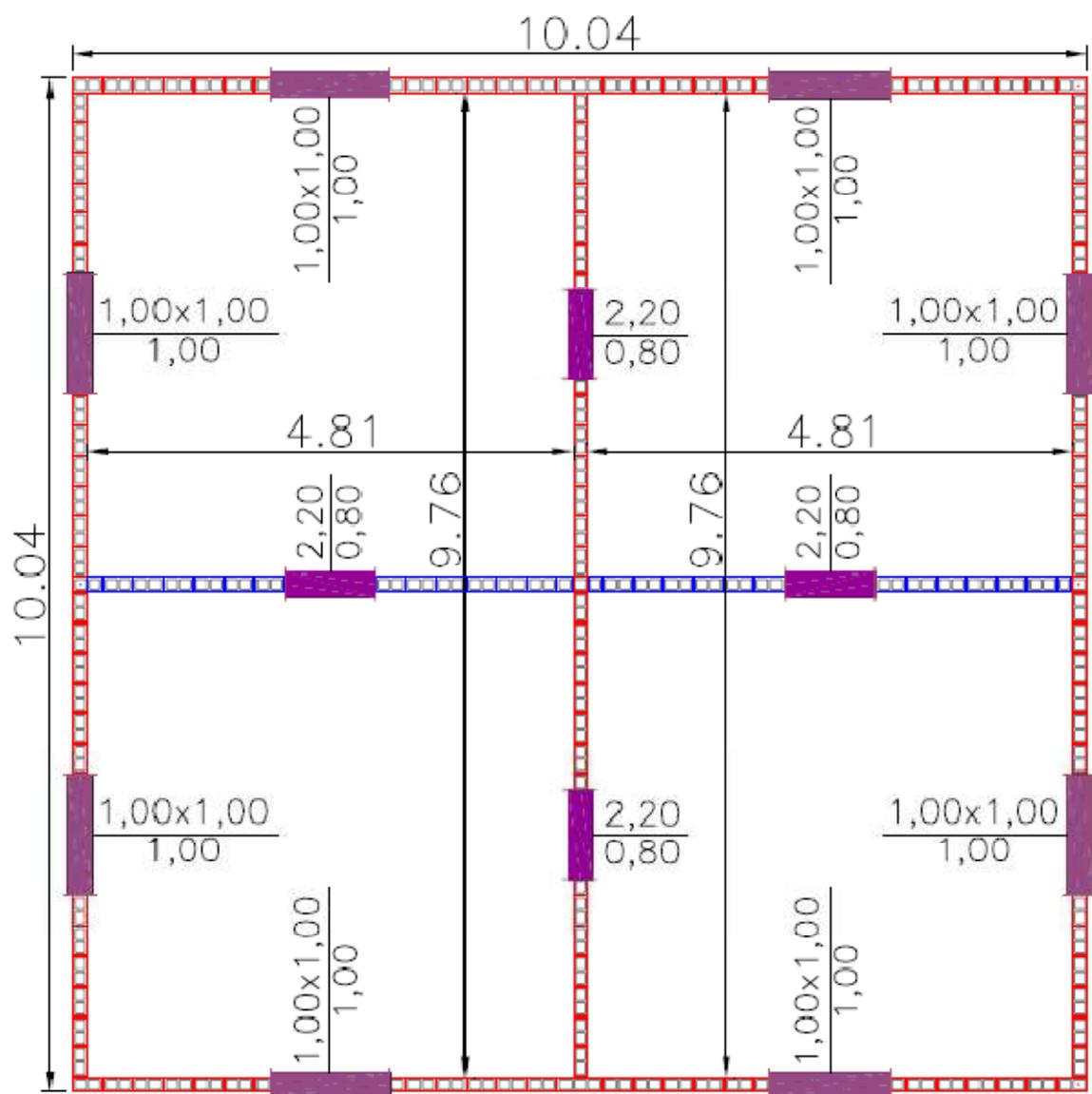
Nas figuras 3.1 a 3.12 apresentam-se esquematizadas as plantas estudadas.



**Figura 3.1** - Planta (10x10m) com 100% de paredes estruturais



**Figura 3.2** - Planta (10x10m) com 90% de paredes estruturais



**Figura 3.3** - Planta (10x10m) com 80% de paredes estruturais

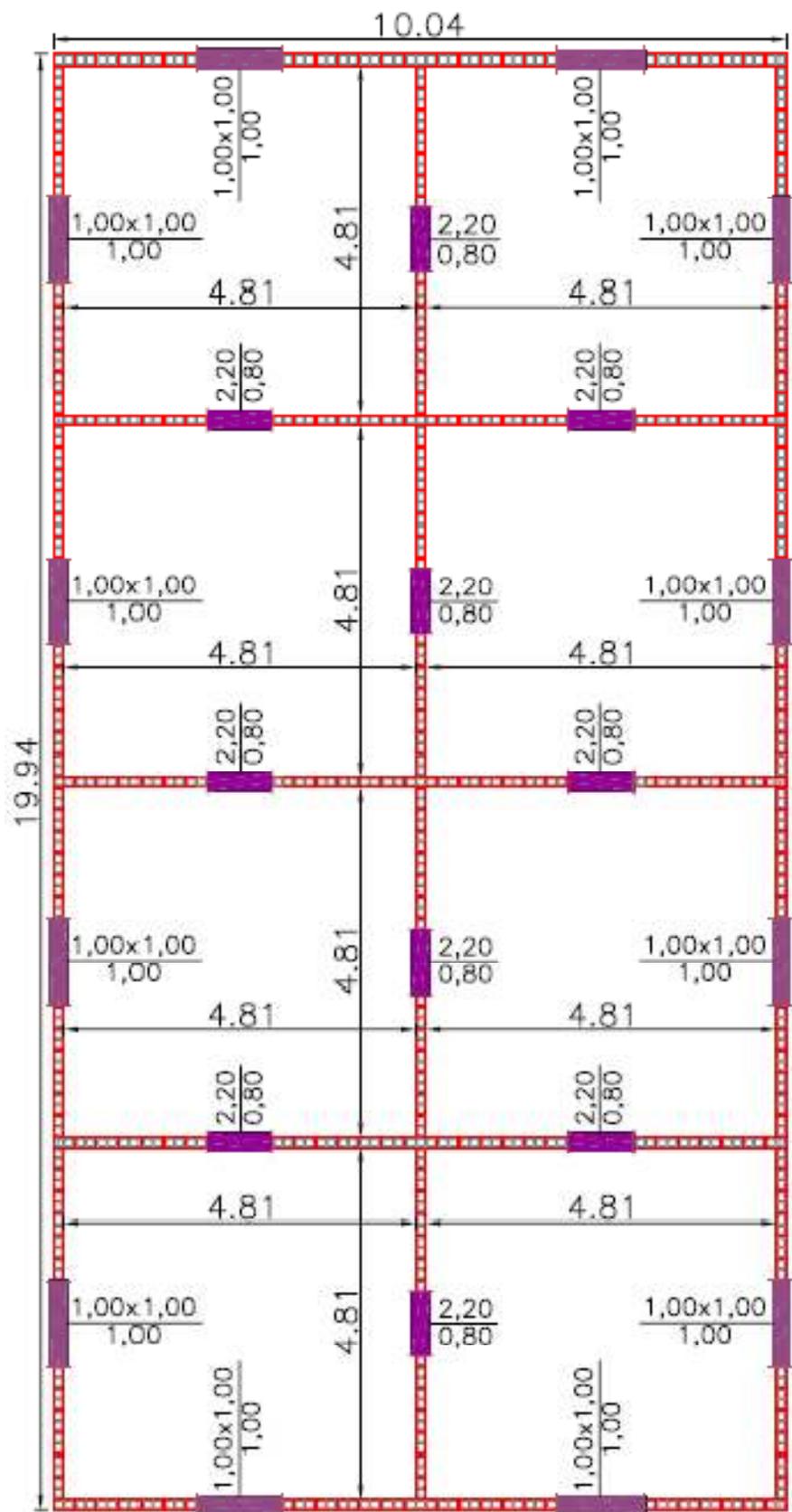


Figura 3.4 - Planta (10x20m) com 100% de paredes estruturais

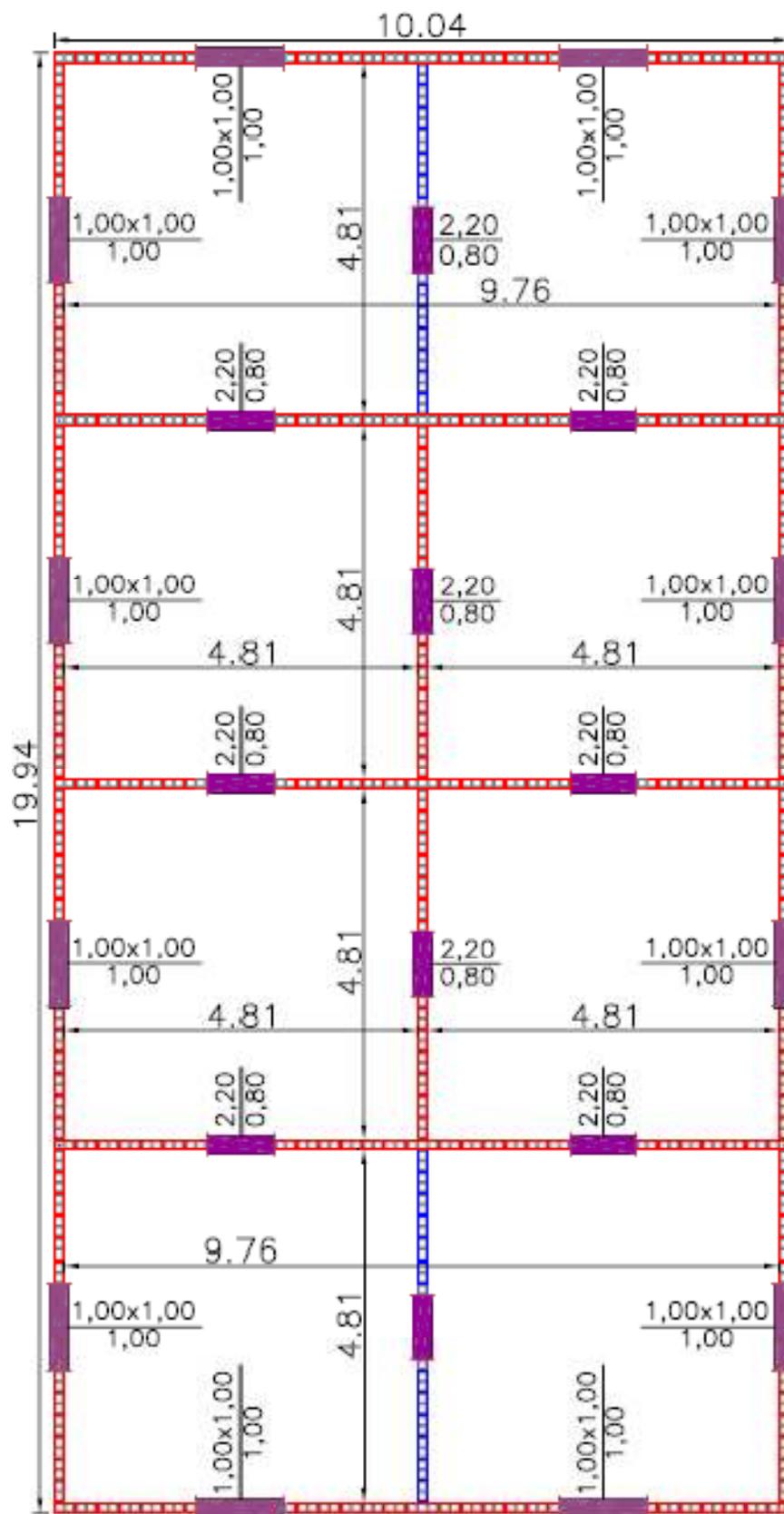


Figura 3.5 - Planta (10x20m) com 90% de paredes estruturais

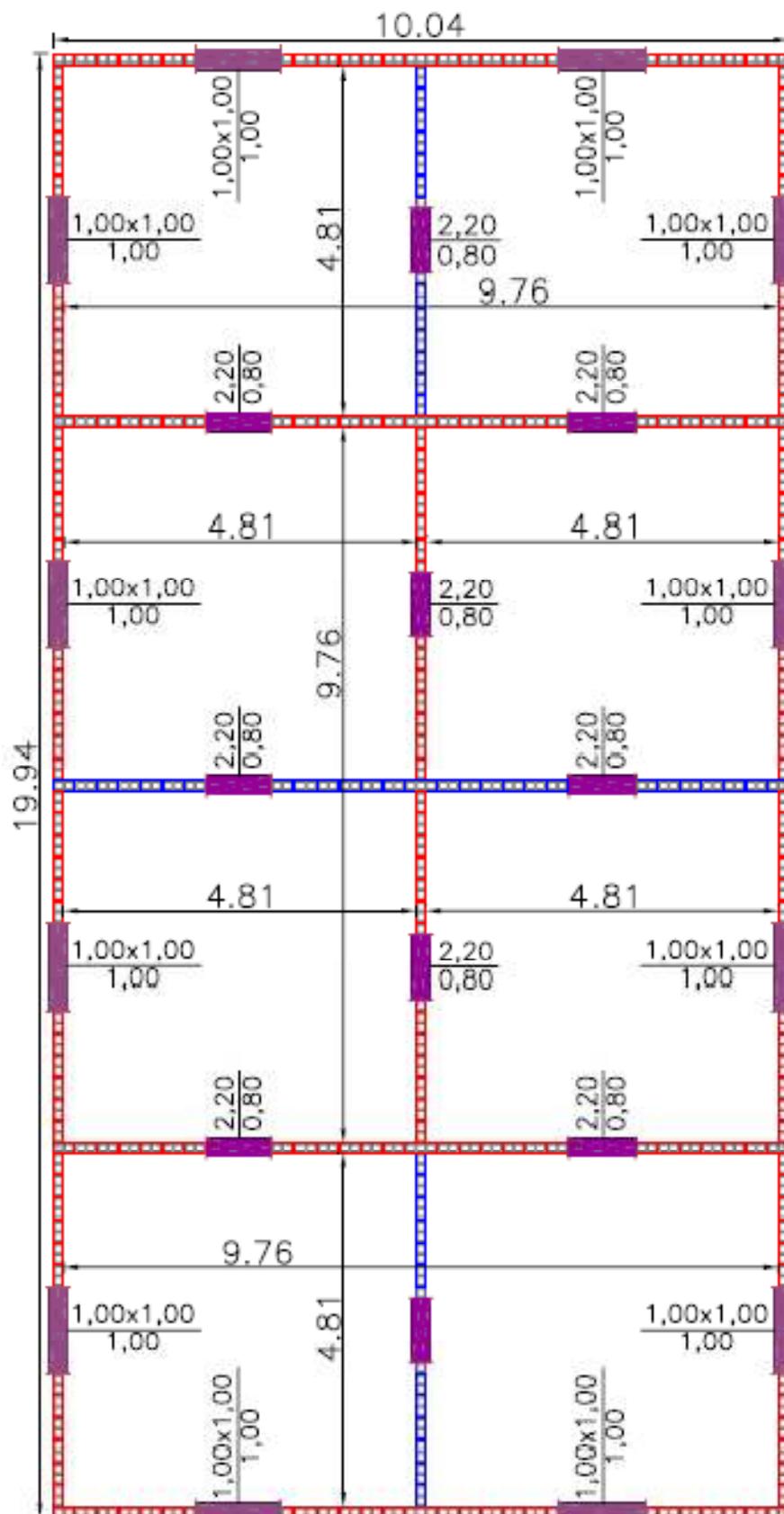


Figura 3.6 - Planta (10x20m) com 80% de paredes estruturais

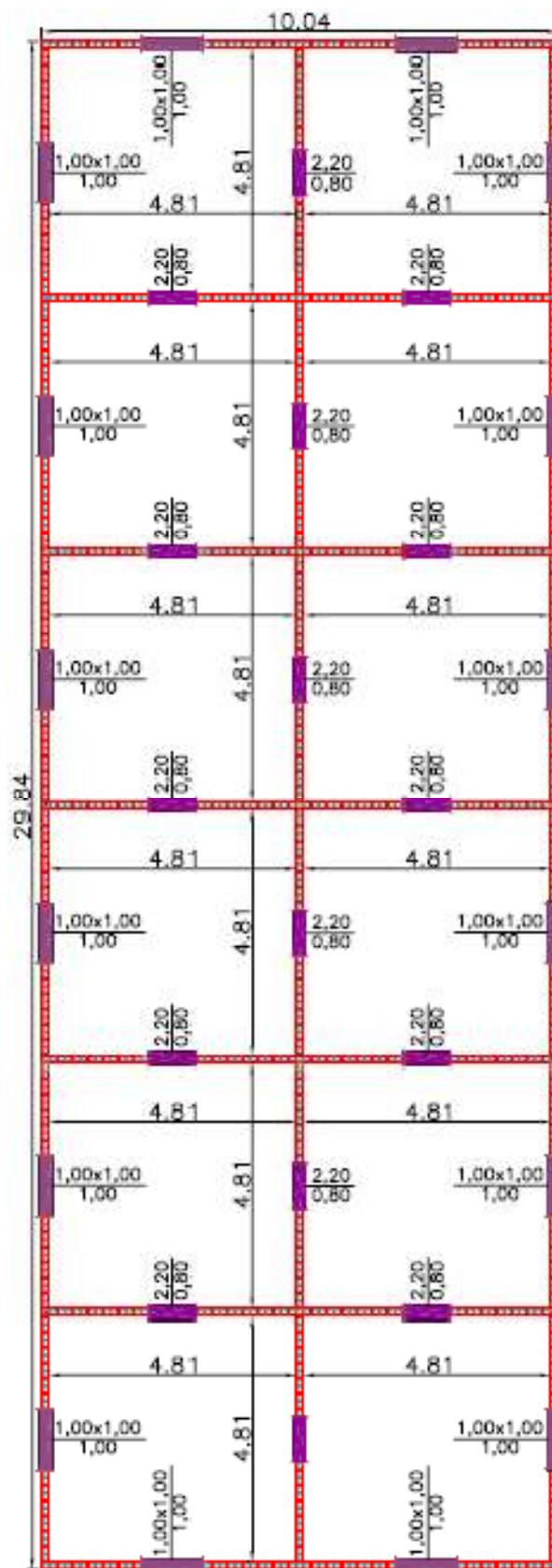


Figura 3.7 - Planta (10x30m) com 100% de paredes estruturais

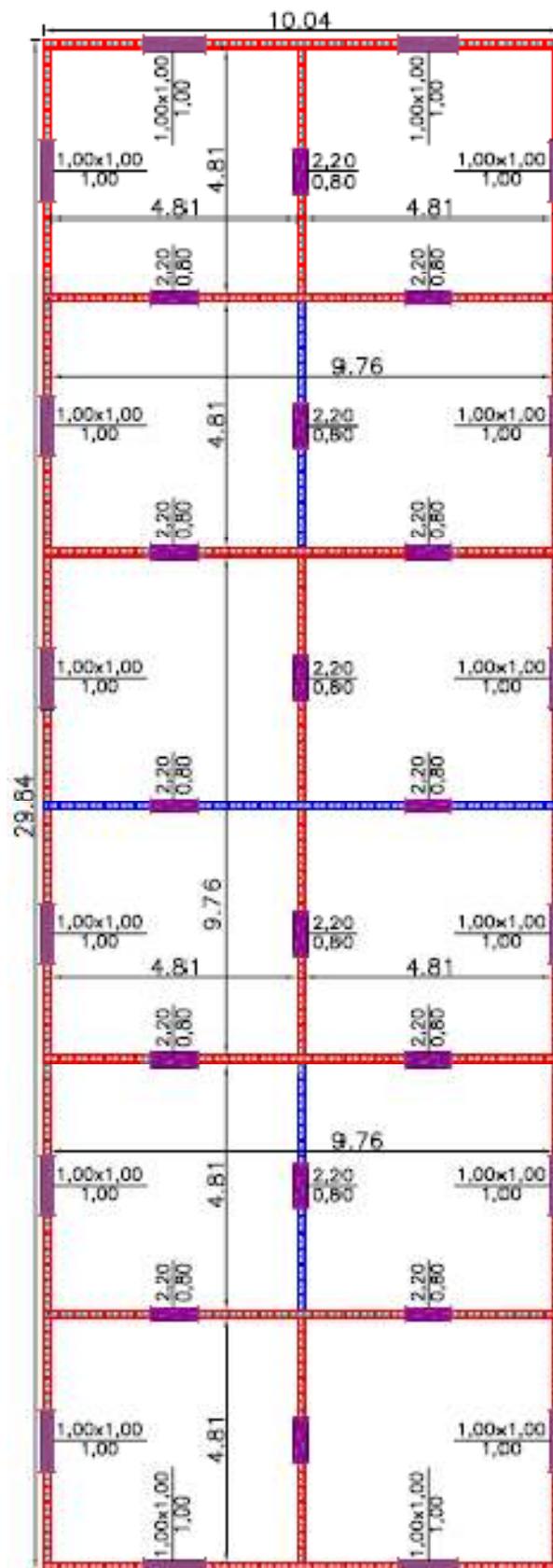


Figura 3.8 - Planta (10x30m) com 90% de paredes estruturais

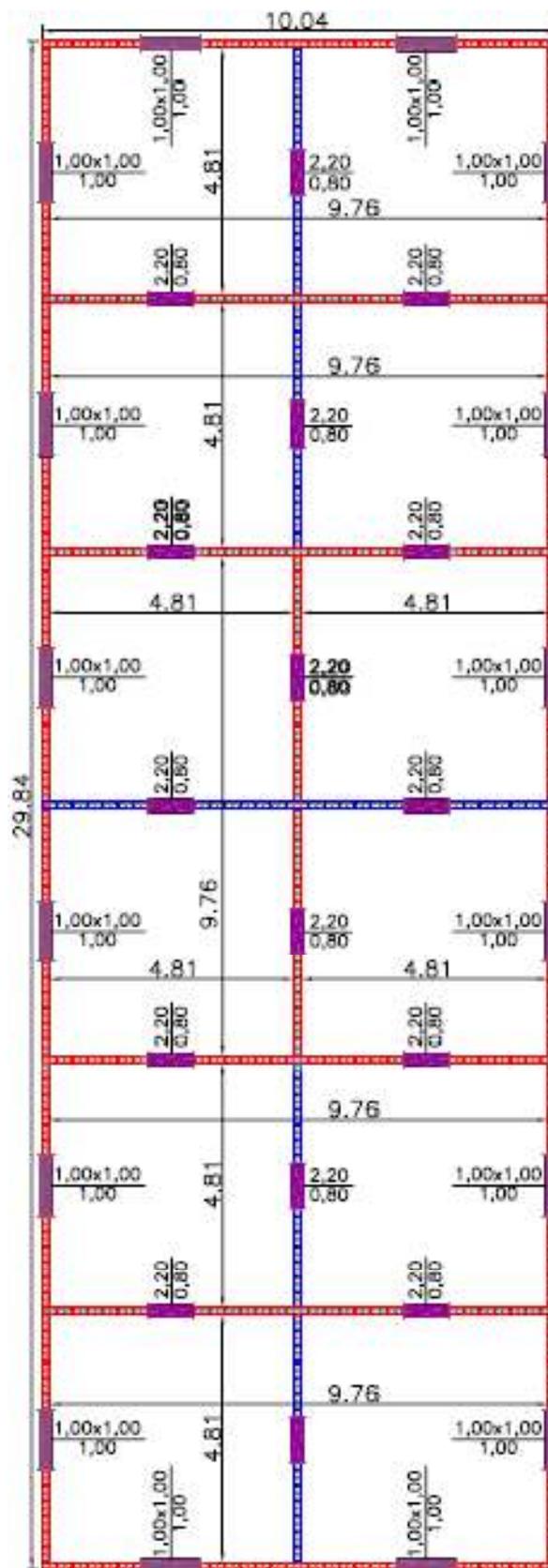


Figura 3.9 - Planta (10x30m) com 80% de paredes estruturais

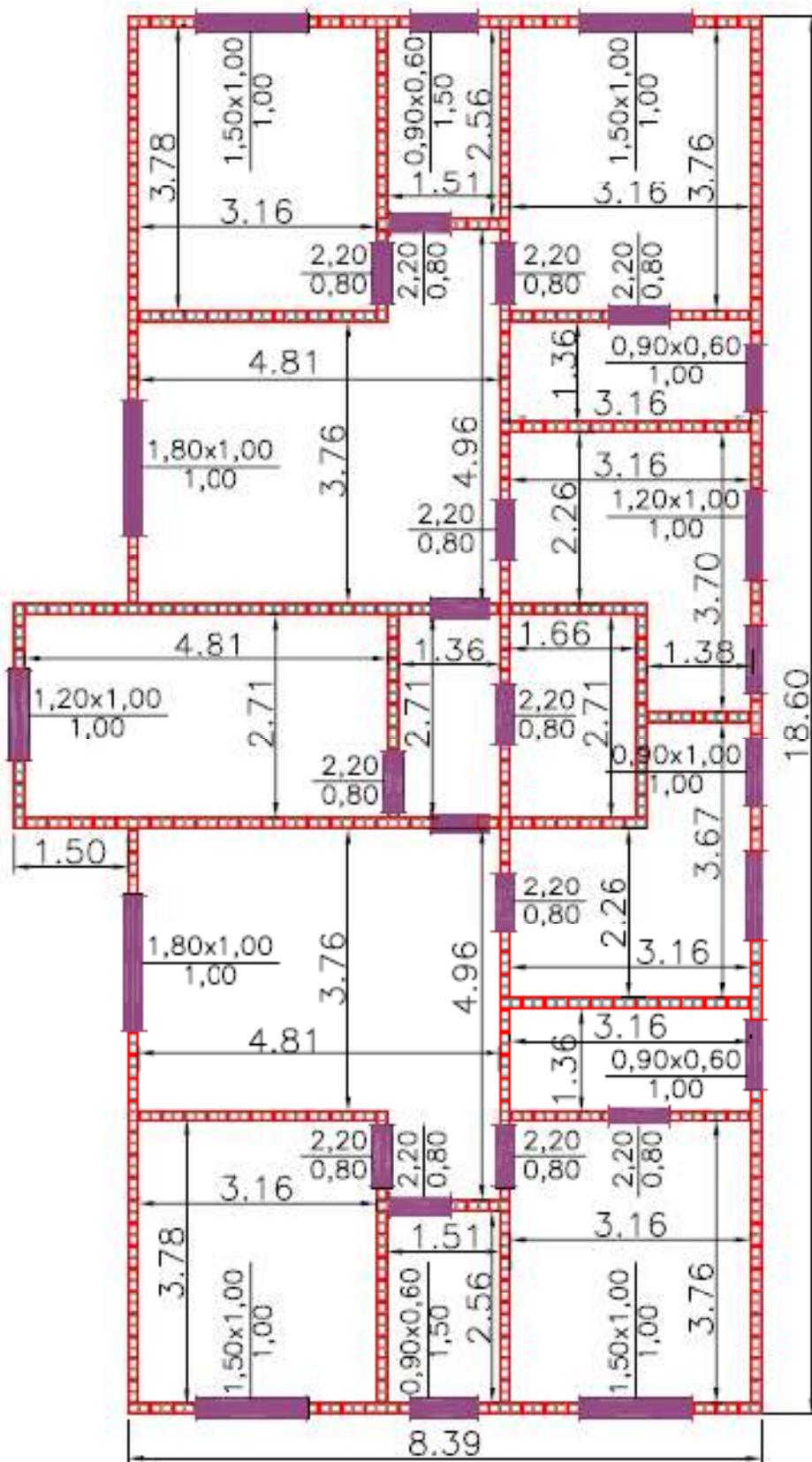


Figura 3.10 - Modelo real com 100% de paredes estruturais



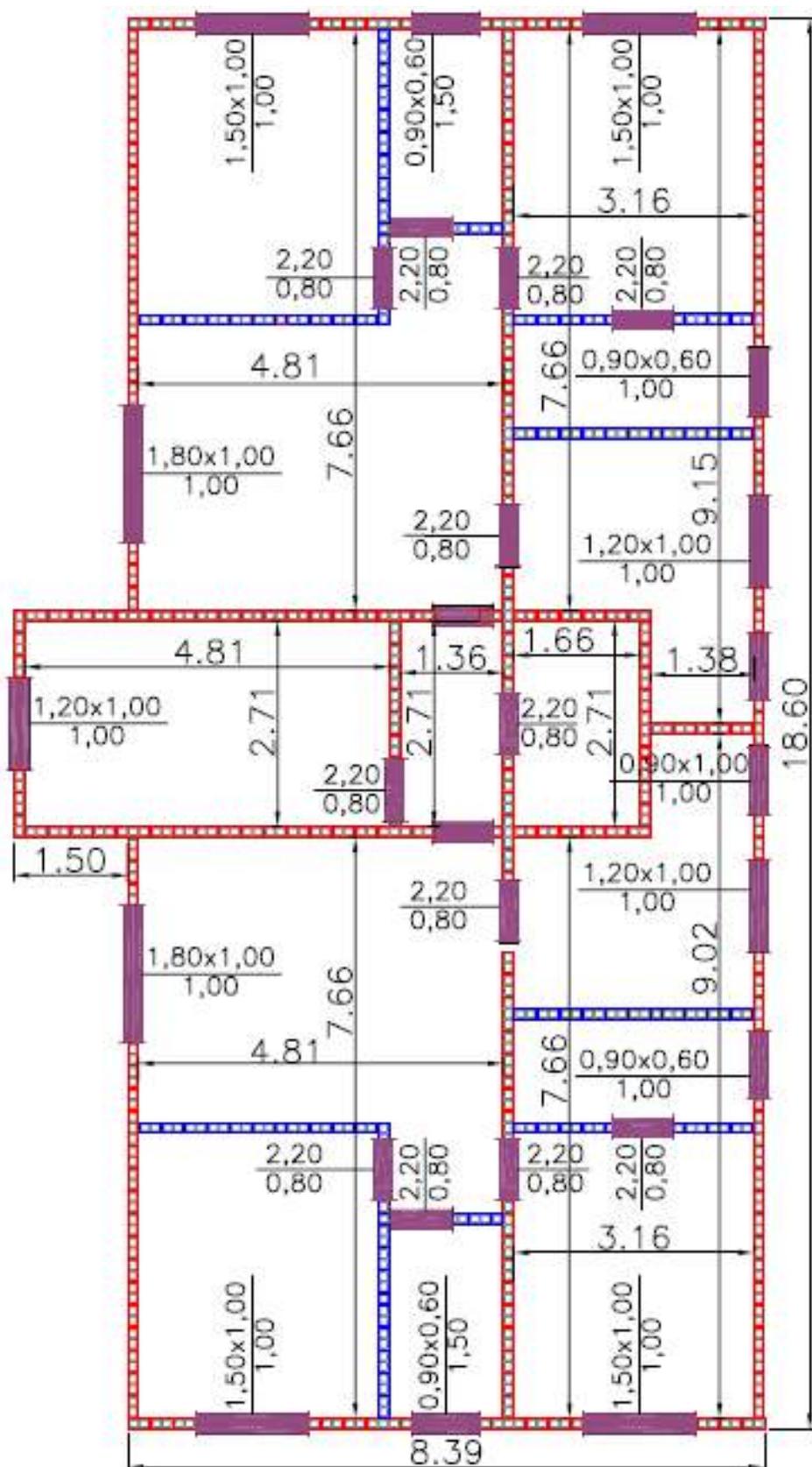


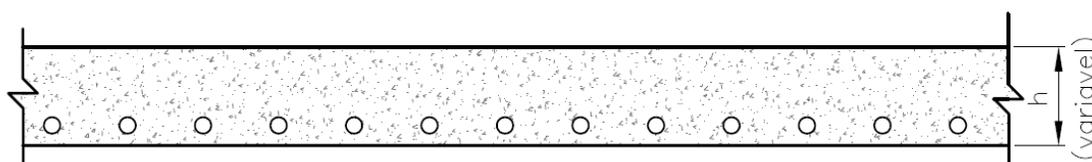
Figura 3.12 - Modelo real com 75% de paredes estruturais

Ao final deste trabalho serão estudados 36 modelos, distribuídos conforme o quadro 3.1. As modelagens foram organizadas pelo o número de pavimentos e dimensões de plantas.

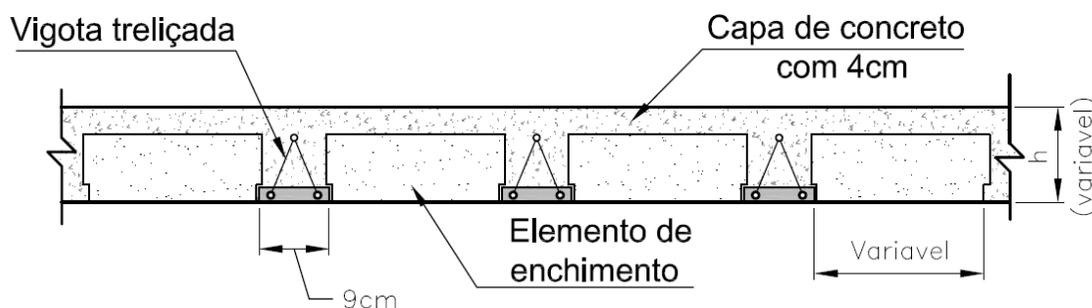
Número de pavimentos		4 Pavimentos		
Formas de planta	Tipos de laje	Maciça	Treliçada	Nervurada
	% de paredes estruturais			
10x10m	100%	✓	✓	✓
	90%	✓	✓	✓
	80%	✓	✓	✓
10x20m	100%	✓	✓	✓
	90%	✓	✓	✓
	80%	✓	✓	✓
10x30m	100%	✓	✓	✓
	90%	✓	✓	✓
	80%	✓	✓	✓
Caso real	100%	✓	✓	✓
	90%	✓	✓	✓
	75%	✓	✓	✓

**Quadro 3.1** - Distribuição dos modelos estruturais

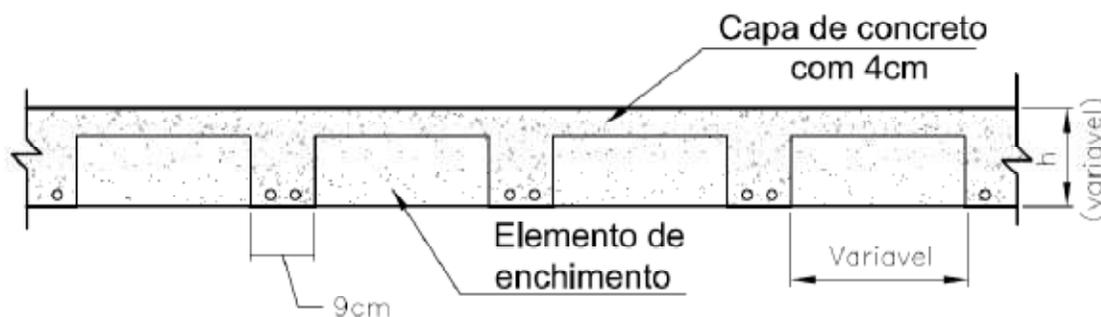
Nas figuras de 3.13 a 3.15 estão esquematizados os modelos de lajes maciça, treliçada e nervurada respectivamente.



**Figura 3.13** - Laje maciça



**Figura 3.14** - Laje treliçada



**Figura 3.15 - Laje nervurada**

### 3.3 AÇÕES CONSIDERADAS

Segundo a NBR 15961: 2011, na análise estrutural de edifícios de alvenaria estrutural devem ser consideradas a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

Portanto para os modelos estudados foram adotados os seguintes carregamentos:

- Permanente:  $g = 1\text{ kN/m}^2$ ;
- Variável:  $q = 1,5\text{ kN/m}^2$ ;
- Paredes de blocos de concreto com revestimento:  $g_2 = 2,6\text{ kN/m}^2$ .

### 3.4 ESCOLHA DAS LAJES

A escolha das lajes se deu principalmente em função do vão e do carregamento, dessa forma foram escolhidas as lajes maciça e nervurada com vigotas treliçadas. Além disso as lajes mais utilizadas nos edifícios de múltiplos pavimentos são as lajes maciças, treliçadas e nervuradas.

### 3.4.1 DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

As lajes foram discretizadas em modelo de grelha e dimensionadas através do software CAD/TQS (versão 14) que utiliza para a consideração da não-linearidade física do concreto armado, no cálculo dos deslocamentos, o método proposto por Carvalho (1994).

Conforme Carvalho (1994), esse método consiste em subdividir o carregamento total em incrementos de carga de tal forma que a rigidez em cada ponto do pavimento possa ser corrigida gradativamente à medida que a fissuração se propaga com aplicação do carregamento.

### 3.4.2 DESLOCAMENTOS DAS LAJES

Os deslocamentos das lajes foram verificados quanto ao estado limite de deformação excessiva, que conforme a NBR 6118:2003, deve ser feito através da combinação quase permanente das ações representada pela equação 3.1. Encontra-se no apêndice o deslocamento de cada laje.

$$F_{d,ser} = \sum F_{gi,k} + \sum \Psi_{2j} \cdot F_{qi,k} \quad (\text{eq. 3.1})$$

Onde:

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

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

$F_{qi,k}$  = valor característico das ações variáveis principais diretas;

$\Psi_{2j}$  = fator de redução de combinação quase permanente que para edifícios residenciais vale 0,3.

Os critérios adotados para verificação do deslocamento limite nas lajes foram:

Sem paredes sobre a laje, equação 3.2.

$$a_{lim} = \frac{L}{250} \quad (\text{eq. 3.2})$$

Onde:

$a_{lim}$  = deslocamento limite (cm);

$L$  = vão efetivo da laje (cm);

Com paredes sobre a laje os deslocamentos não devem ultrapassar 10mm e o limite dado pela equação 3.3.

$$a_{lim} = \frac{L}{500} \quad (\text{eq. 3.3})$$

Onde:

$a_{lim}$  = deslocamento limite (cm);

$L$  = vão efetivo da laje (cm).

Neste caso a NBR 6118: 2003 permite calcular o deslocamento final, ocorrido após a construção da parede, descontando o deslocamento inicial devido ao peso próprio de acordo com a equação 3.4.

$$a_f = (a_{par}) - (a_{pp}) \quad (\text{eq. 3.4})$$

Onde:

$a_f$  = deslocamento da laje (cm);

$a_{par}$  = deslocamento total incluindo peso da parede (cm);

$a_{pp}$  = deslocamento devido ao peso próprio (cm);

$L$  = vão efetivo da laje (cm).

### 3.5 DIMENSIONAMENTO DAS PAREDES ESTRUTURAIS

Após o dimensionamento das lajes e determinadas às respectivas espessuras, foram dimensionadas as paredes estruturais conforme as prescrições da NBR 15961: 2011. Todas as paredes estruturais foram dimensionadas quanto à compressão simples.

No dimensionamento considerou-se a amarração direta entre as paredes estruturais (onde 50% dos blocos penetram alternadamente na parede interceptada), argamassa sobre toda superfície do bloco (argamassa nas laterais e septos) e juntas horizontais preenchidas.

#### 3.5.1 COMPRESSÃO SIMPLES

De acordo com PARSEKIAN (2010), na NBR 10837: 1989 – Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto, o dimensionamento era feito através da verificação da carga admissível da parede. O critério foi modificado na NBR 15961: 2011 e hoje se deve verificar no estado limite último, conforme equação 3.5.

$$\gamma_f \times N_k \leq \begin{cases} 1,0 & \text{paredes} \\ 0,9 & \text{pilares} \end{cases} \times \frac{f_k}{\gamma_m} \times A \times \left[ 1 - \left( \frac{h_{ef}}{40 \times t_{ef}} \right)^3 \right] \quad (\text{eq.3.5})$$

Onde:

$\gamma_f$  = coeficiente de ponderação das ações desfavoráveis, para edificações em que as cargas acidentais não superam 5 kN/m<sup>2</sup> vale 1,4, conforme a NBR 15961: 2011;

$N_k$  =força normal característica (kN);

$f_k$  = resistência característica à compressão da alvenaria (kN);

$\gamma_m$  = coeficiente de ponderação das resistências que vale 2, conforme a NBR 15961: 2011;

$A$  = área bruta da seção transversal (m<sup>2</sup>).

$h_{ef}$  = espessura efetiva da parede (m);

$t_{ef}$  = altura efetiva da parede (m).

### 3.6 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

Para se fazer uma avaliação do comportamento estrutural e consumo de materiais, foram calculados os índices:

- Índice de parede estrutural.

É a relação entre o somatório linear de todas as paredes estruturais e a área do pavimento, dado pela equação 3.6.

$$I_{alv.est} = \frac{L_{alv.est.} (m)}{A_p (m^2)} \quad (\text{eq.3.6})$$

- Índice de parede vedação.

É a relação entre o somatório linear de todas as paredes vedação e a área do pavimento, dado pela equação 3.7.

$$I_{alv.ved.} = \frac{L_{alv.ved.} (m)}{A_p (m^2)} \quad (\text{eq.3.7})$$

- Taxa de aço I

É o consumo total de aço e pelo volume total de concreto, dado pela equação 3.8.

$$\text{Taxa de aço I} = \frac{P(kg)}{V (m^3)} \quad (\text{eq.3.8})$$

- Taxa de aço II

É o consumo total de aço pela área do pavimento do edifício, dado pela equação 3.9.

$$\text{Taxa de aço II} = \frac{P(kg)}{A_p (m^2)} \quad (\text{eq. 3.9})$$

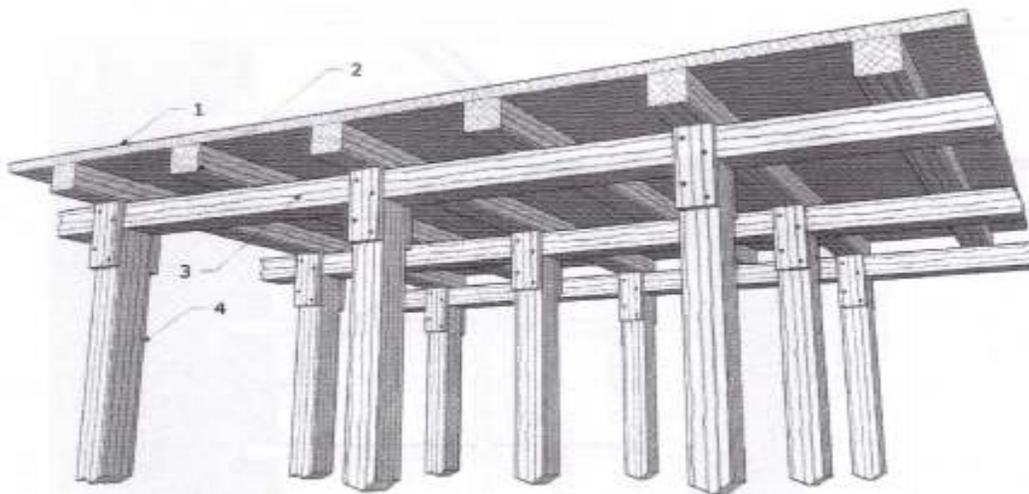
### 3.7 QUANTITATIVOS E CUSTOS

O consumo de materiais foi obtido através do software CAD/TQS que fornece um arquivo texto com o consumo de materiais e os custos dos materiais foram retirados da revista Guia da Construção (maio, 2011) e estão apresentados na tabela 3.1

**Tabela 3.1:** Tabela de custo de materiais.

Elemento	Custo/unidade	Custo
Concreto ( $f_{ck} = 25\text{MPa}$ e slump $\pm 10\text{mm}$ )	Custo/ $\text{m}^3$	R\$ 300,72
Aço	Custo/Kg	R\$ 3,85
Bloco estrutural	Custo/un	R\$ 1,76
Bloco de vedação	Custo/un	R\$ 1,69
Graute ( $f_{ck} = 9\text{MPa}$ )	Custo/ $\text{m}^3$	R\$ 280,00
Argamassa	Custo/ $\text{m}^3$	R\$ 220,00
Laje treliça e blocos EPS	Custo/ $\text{m}^2$	R\$ 23,40
Blocos de EPS para caixão perdido	Custo/ $\text{m}^3$	R\$ 178,25

O sistema de formas utilizado para as lajes maciça e nervurada foi o da figura 3.16, já o para o escoramento das lajes treliçadas foram eliminados desse sistema apresentado o assoalho e as guias de apoio.



**Figura 3.16** - Escoramento de laje.

**Fonte:** (NASCIMENTO, 2009).

Fôrma e escoramento de uma laje de edifício. (1) tábuas de assoalho da fôrma; (2) guias de apoio do assoalho; (3) travessões ou vigas de coroamento; (4) montantes, pés-direitos ou pontaltes.

Para composição do custo do escoramento da laje maciça foram considerados a distancia de 0,50m entre as guias e de 1m entre os travessões e os pontaletes. Dessa forma o custo do escoramento por metro quadrado para laje maciça e nervurada foi de R\$ 42,16 e para laje treliçada, eliminando o assoalho e as guias, o custo foi de R\$ 8,81. A tabela 3.2 mostra o custo de cada material.

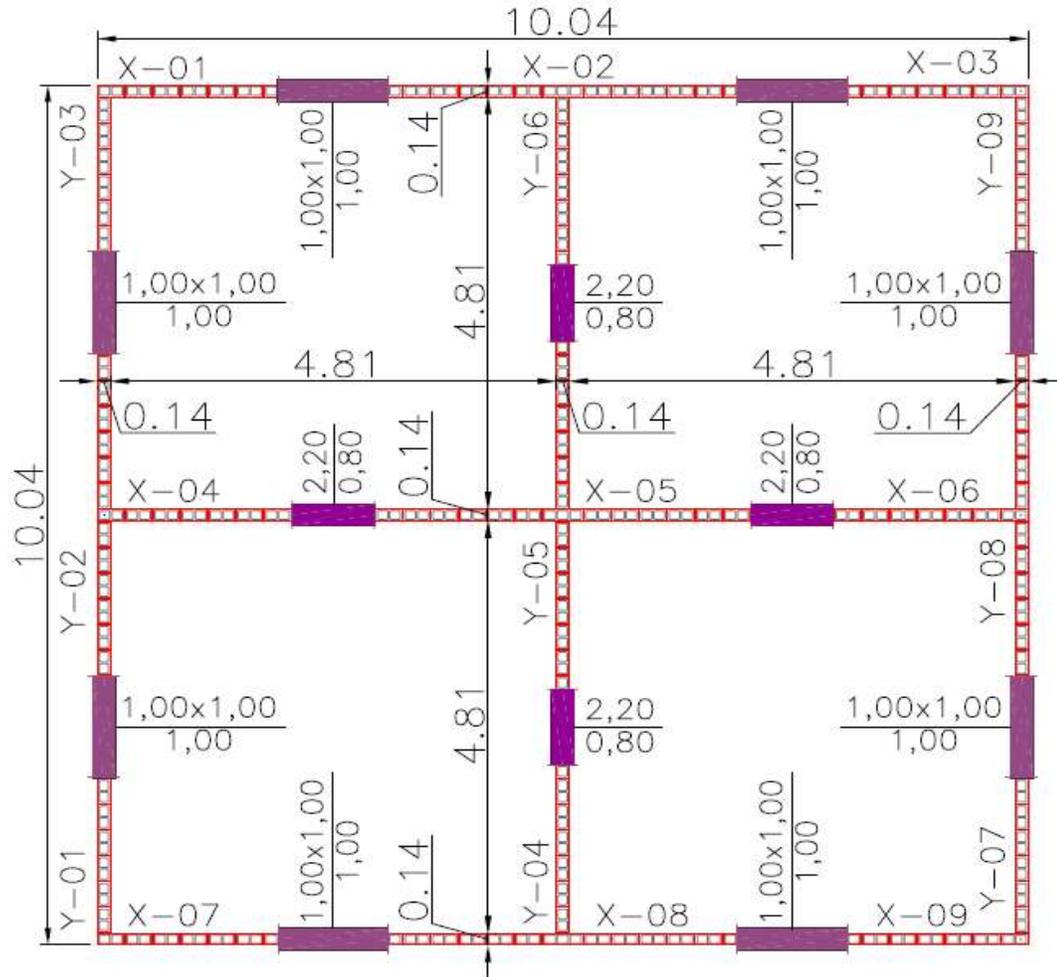
**Tabela 3.2:** Custo de materias para escoramento

<b>Elemento</b>	<b>Custo/unidade</b>	<b>Custo</b>
Pontalete de eucalipto	Custo/un	R\$ 4,89
Chapa plastificada	Custo/un	R\$ 39,13
Tabua pinus (2,5cmx15cm)	Custo/m	R\$ 1,96
Pontalete (7x7cm)	Custo/m	R\$ 1,95

### **3.8 EXEMPLO DE DIMENSIONAMENTO**

Através deste exemplo de dimensionamento pretende-se demonstrar os principais passos para o dimensionamento de um edificio de alvenaria estrutural com blocos de concreto. Todos os cálculos referentes ao dimensionamento dos modelos propostos seguiram esta metodologia de dimensionamento.

Para este exemplo de dimensionamento foi utilizado o modelo com 100% das paredes estruturais, laje maciça e 4 pavimentos. A planta de modulação de cada parede apresenta-se na figura 3.17.



**Figura 3.17** - Planta baixa do modelo de 4 pavimentos com 100% de paredes estruturais

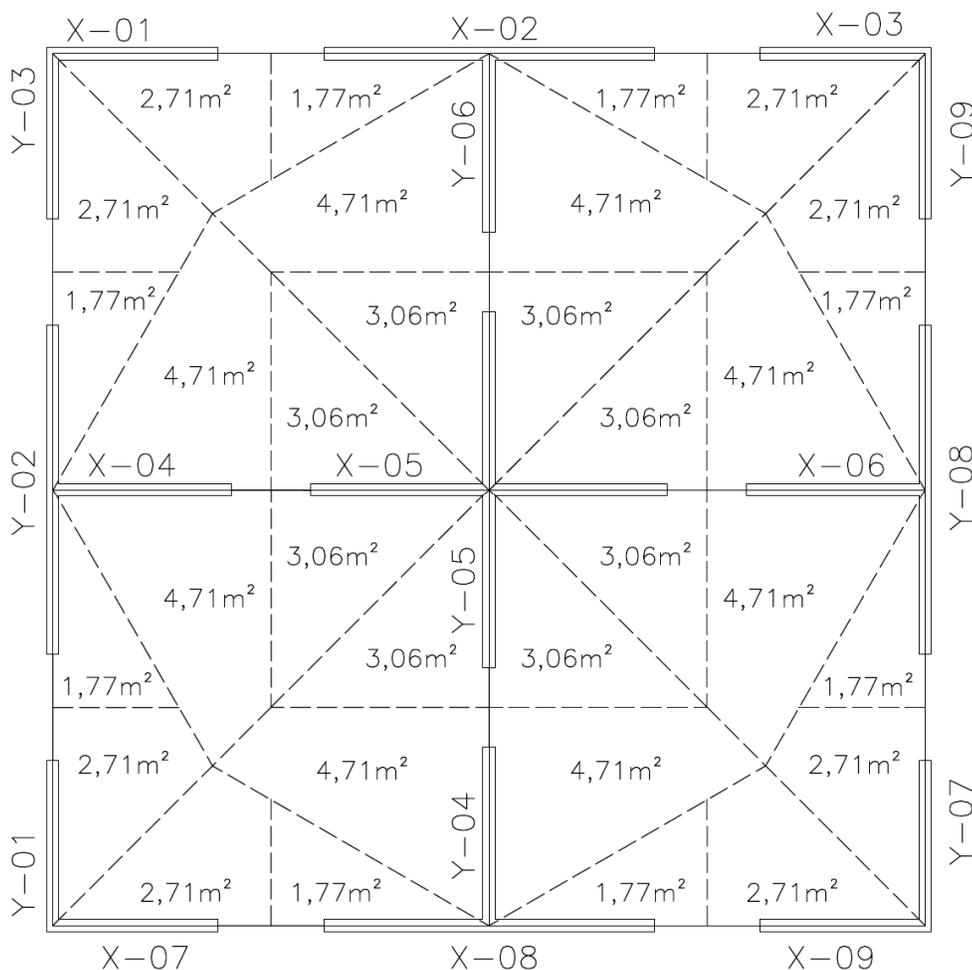
### 3.8.1 DETERMINAÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS

Conforme citado no capítulo 2.4, segundo a NBR 15961: 2011, na análise estrutural de edifícios de alvenaria estrutural devem ser consideradas a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

- Permanente:  $g = 1(\text{kN/m}^2)$ ;
- Acidental:  $q = 1,5(\text{kN/m}^2)$ ;
- Parede de blocos de concreto com revestimento:  $g_2 = 2,6 (\text{kN/m}^2)$ .

### 3.8.2 DISTRIBUIÇÃO DAS AÇÕES VERTICAIS

O carregamento da laje é distribuído para as paredes estruturais em função da área de influência da laje que atua sobre cada parede. As áreas de influência são traçadas a partir da divisão obtida pela teoria das charneiras plásticas, como ilustra a figura 3.18.



**Figura 3.18** - Área de influência da laje sobre cada parede

O carregamento total em cada parede é dado pela soma das reações da laje (permanente e acidental), peso próprio da parede e das aberturas.

A partir disso o carregamento em cada parede é uniformizado pelo método de interação de paredes e então dimensionada a resistência do bloco como mostra a tabela 3.3

**Tabela 3.3 - Dimensionamento das paredes**

Parede	PP (kN)	G (kN)	Q (kN)	Total G (kN)	Total G+Q (kN)	$f_k$ (MPa)	$f_{pk}$ (MPa)	$f_{bk}$ (MPa)	$f_{bk}$ (MPa) (adotado)	
4° Pavimento	Y1 = X1	17,87	2,25	3,36	20,12	23,48	0,29	0,42	0,52	4,00
	Y2 = X2	42,06	7,60	11,40	49,66	61,06	0,38	0,54	0,67	4,00
	Y3 = X3	17,87	2,25	3,36	20,12	23,48	0,29	0,42	0,52	4,00
	Y4 = X4	23,80	4,65	6,98	28,45	35,43	0,41	0,58	0,73	4,00
	Y5 = X5	58,00	15,52	23,28	73,52	96,80	0,55	0,79	0,99	4,00
	Y6 = X6	23,80	4,65	6,98	28,45	35,43	0,41	0,58	0,73	4,00
	Y7 = X7	17,87	2,25	3,36	20,12	23,48	0,29	0,42	0,52	4,00
	Y8 = X8	42,06	7,60	11,40	49,66	61,06	0,38	0,54	0,67	4,00
	Y9 = X9	17,87	2,25	3,36	20,12	23,48	0,29	0,42	0,52	4,00
3° Pavimento	Y1 = X1	35,74	4,50	6,72	40,24	46,96	0,58	0,83	1,04	4,00
	Y2 = X2	84,12	15,20	22,80	99,32	122,12	0,76	1,08	1,35	4,00
	Y3 = X3	35,74	4,50	6,72	40,24	46,96	0,58	0,83	1,04	4,00
	Y4 = X4	47,60	9,30	13,96	56,90	70,86	0,81	1,16	1,45	4,00
	Y5 = X5	116,00	31,04	46,56	147,04	193,60	1,11	1,58	1,98	4,00
	Y6 = X6	47,60	9,30	13,96	56,90	70,86	0,81	1,16	1,45	4,00
	Y7 = X7	35,74	4,50	6,72	40,24	46,96	0,58	0,83	1,04	4,00
	Y8 = X8	84,12	15,20	22,80	99,32	122,12	0,76	1,08	1,35	4,00
	Y9 = X9	35,74	4,50	6,72	40,24	46,96	0,58	0,83	1,04	4,00
2° Pavimento	Y1 = X1	53,61	6,75	10,08	60,36	70,44	0,87	1,25	1,56	4,00
	Y2 = X2	126,18	22,80	34,20	148,98	183,18	1,13	1,62	2,02	4,00
	Y3 = X3	53,61	6,75	10,08	60,36	70,44	0,87	1,25	1,56	4,00
	Y4 = X4	71,40	13,95	20,94	85,35	106,29	1,22	1,74	2,18	4,00
	Y5 = X5	174,00	46,56	69,84	220,56	290,40	1,66	2,38	2,97	4,00
	Y6 = X6	71,40	13,95	20,94	85,35	106,29	1,22	1,74	2,18	4,00
	Y7 = X7	53,61	6,75	10,08	60,36	70,44	0,87	1,25	1,56	4,00
	Y8 = X8	126,18	22,80	34,20	148,98	183,18	1,13	1,62	2,02	4,00
	Y9 = X9	53,61	6,75	10,08	60,36	70,44	0,87	1,25	1,56	4,00
1° Pavimento	Y1 = X1	71,48	9,00	13,44	80,48	93,92	1,16	1,66	2,08	4,00
	Y2 = X2	168,24	30,40	45,60	198,64	244,24	1,51	2,16	2,70	4,00
	Y3 = X3	71,48	9,00	13,44	80,48	93,92	1,16	1,66	2,08	4,00
	Y4 = X4	95,20	18,60	27,92	113,80	141,72	1,62	2,32	2,90	4,00
	Y5 = X5	232,00	62,08	93,12	294,08	387,20	2,22	3,17	3,96	4,00
	Y6 = X6	95,20	18,60	27,92	113,80	141,72	1,62	2,32	2,90	4,00
	Y7 = X7	71,48	9,00	13,44	80,48	93,92	1,16	1,66	2,08	4,00
	Y8 = X8	168,24	30,40	45,60	198,64	244,24	1,51	2,16	2,70	4,00
	Y9 = X9	71,48	9,00	13,44	80,48	93,92	1,16	1,66	2,08	4,00

## 4. RESULTADOS E ANALISE DE CUSTO

Nesta parte do trabalho são apresentados e analisados os resultados e também os custos dos 36 modelos estudados. Essa análise é feita através das taxas e índices relativos ao consumo de materiais e também de gráficos para análise dos custos.

### 4.1 MODELOS COM DIMENSÕES 10X10m

As tabelas de 4.1 a 4.5 apresentam os resultados de deslocamento das lajes e consumo de materiais e os custo das lajes e das alvenarias.

**Tabela 4.1** - Resultado dos deslocamentos das lajes

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Espessura	Menor vão (cm)	Deslocamento limite (cm)	Deslocamento		
					Inicial (cm)	Final (cm)	Resultante (cm)
100	Maciça	8	481	1,92	-	0,76	0,76
90		12	481	0,96	0,52	1,31	0,79
80		11	481	0,96	0,35	1,21	0,86
100	Treliçada	12	481	1,92	-	1,50	1,50
90		20	481	0,96	0,22	0,99	0,77
80		20	481	0,96	0,36	1,41	1,05
100	Nervurada	15	481	1,92	-	0,42	0,42
90		18	481	0,96	0,29	1,17	0,88
80		23	481	0,96	0,32	1,27	0,95

**Tabela 4.2 - Consumo de materiais e custos das lajes**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Concreto (m³)	Aço (kg)	Forma (m²)	Enchimento (EPS) (m³)	Laje-treliçada (m²)	Custo da lajes (R\$)
100	Maciça	8,00	847,60	100,00	-	-	26892,08
	Treliçada	5,00	391,40	100,00	-	100,00	22282,96
	Nervurada	7,50	362,10	100,00	9,60	-	25658,74
90	Maciça	12,00	894,20	100,00	-	-	32421,24
	Treliçada	6,50	353,80	100,00	-	100,00	23508,24
	Nervurada	8,30	408,10	100,00	11,68	-	28812,48
80	Maciça	11,00	1077,20	100,00	-	-	34036,56
	Treliçada	6,70	391,60	100,00	-	100,00	24330,94
	Nervurada	9,10	335,10	100,00	14,95	-	30982,10

**Tabela 4.3 - Consumo de materiais e custos das alvenarias**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Bloco estrutural (UN)	Bloco de vedação (UN)	Graute (m³)	Argamassa (m³)	Custo da alvenaria (R\$)
100	Maciça	9796	-	9,72	6,76	21449,76
	Treliçada	9796	-	9,72	6,76	21449,76
	Nervurada	9796	-	9,72	6,76	21449,76
90	Maciça	9022	774	9,63	6,76	21370,38
	Treliçada	9022	774	9,74	6,76	21401,18
	Nervurada	9022	774	9,53	6,76	21342,38
80	Maciça	8132	1664	8,69	6,76	21044,88
	Treliçada	8132	1664	8,5	6,76	20991,68
	Nervurada	8132	1664	8,98	6,76	21126,08

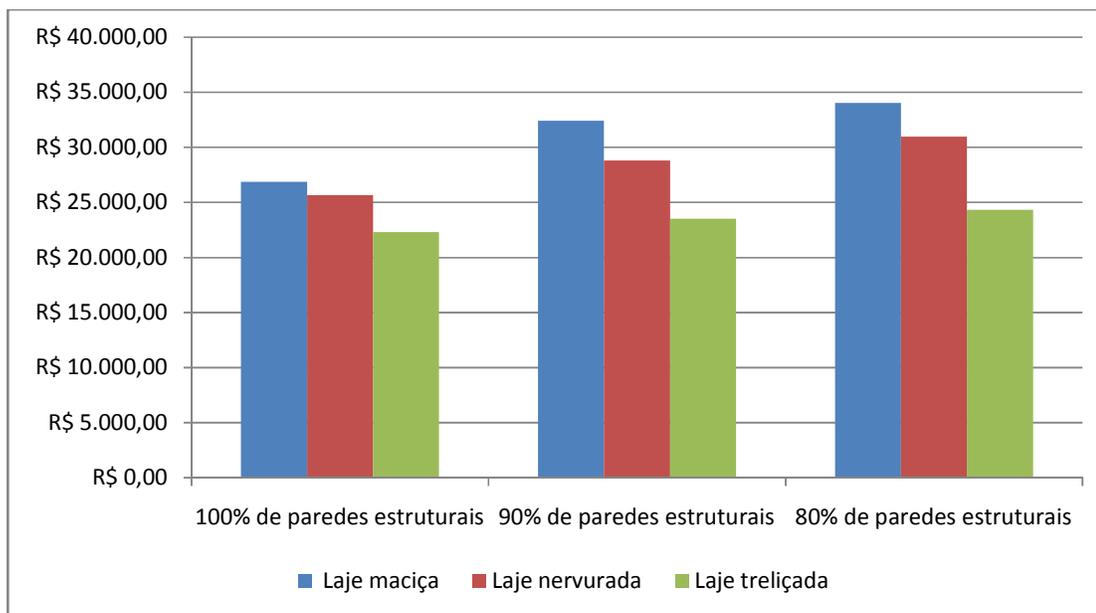
**Tabela 4.4 - Custo da estrutura (lajes + alvenarias)**

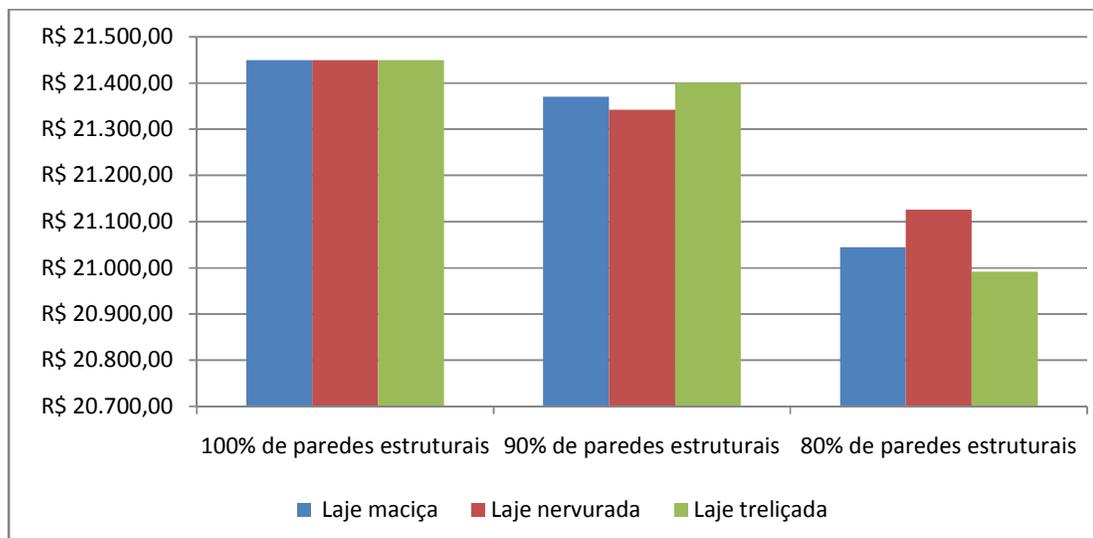
% de paredes estruturais	Tipo de laje	Custo da estrutura R\$
100	Laje maciça	48341,84
	Laje treliçada	43732,72
	Laje nervurada	47108,50
90	Laje maciça	53791,62
	Laje treliçada	44909,42
	Laje nervurada	50154,86
80	Laje maciça	55081,44
	Laje treliçada	45322,62
	Laje nervurada	52108,18

**Tabela 4.5 - Índices e taxas**

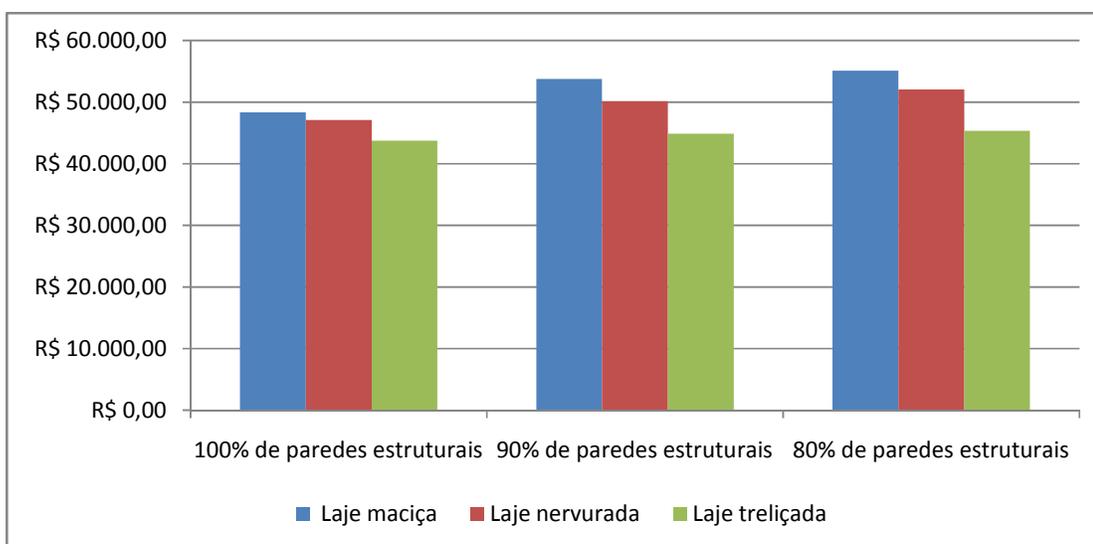
% de paredes estruturais	Tipo de laje	$I_{alv. Est.}$	$I_{alv. Ved.}$	Taxa de aço I	Taxa de aço II	Vão médio
100	Maciça	0,55	-	105,95	8,48	4,81
	Treliçada			78,28	3,91	
	Nervurada			48,28	3,62	
90	Maciça	0,5	0,05	74,52	8,94	5,63
	Treliçada			54,43	3,54	
	Nervurada			49,17	4,08	
80	Maciça	0,45	0,10	97,93	10,77	7,28
	Treliçada			58,45	3,92	
	Nervurada			36,82	3,35	

As figuras 4.1 a 4.3 apresentam o comparativo de custo das lajes, das alvenarias e do conjunto (alvenaria + laje).

**Figura 4.1 - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais**



**Figura 4.2** - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais



**Figura 4.3** - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais

Devido à distribuição das lajes o modelo de com 90% de paredes estruturais, composto por uma laje grande engastada em duas lajes pequenas, apresenta maior deslocamento que o modelo com 80% de paredes estruturais, composto por duas lajes grandes engastadas.

Portanto no modelo com 90% de paredes estruturais e laje maciça o maior deslocamento das lajes resultou em maior espessura da laje e conseqüentemente maior custo das lajes.

## 4.2 MODELOS COM DIMENSÕES 10X20m

As tabelas de 4.6 a 4.10 apresentam os resultados de deslocamento das lajes e consumo de materiais e os custos das lajes e das alvenarias.

**Tabela 4.6 - Resultado dos deslocamentos das lajes**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Espessura	Menor vão (cm)	Deslocamento limite (cm)	Deslocamento		
					Inicial (cm)	Final (cm)	Resultante (cm)
100	Maciça	8	481	1,92	-	0,75	0,75
90		12	481	0,96	0,40	1,15	0,75
80		12	481	0,96	0,44	1,42	0,98
100	Trelaçada	12	481	1,92	-	1,49	1,49
90		16	481	0,96	0,39	1,24	0,85
80		25	481	0,96	0,20	0,88	0,68
100	Nervurada	15	481	1,92	-	0,62	0,62
90		17	481	0,96	0,33	1,19	0,86
80		19	481	0,96	0,27	1,20	0,93

**Tabela 4.7 - Consumo de materiais e custos das lajes**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Concreto (m³)	Aço (kg)	Forma (m²)	Enchimento (EPS) (m³)	Laje-trelaçada (m²)	Custo da lajes (R\$)
100	Maciça	16,00	2115,60	200,00	-	-	60258,32
	Trelaçada	10,20	755,00	200,00	-	200,00	44378,38
	Nervurada	15,30	689,20	200,00	20,05	-	51745,39
90	Maciça	24,00	1675,80	200,00	-	-	63108,44
	Trelaçada	11,90	837,70	200,00	-	200,00	47696,85
	Nervurada	16,50	816,90	200,00	22,91	-	57194,61
80	Maciça	24,00	2116,00	200,00	-	-	69887,52
	Trelaçada	17,30	856,00	200,00	-	200,00	54474,22
	Nervurada	17,80	736,30	200,00	25,79	-	59570,55

**Tabela 4.8 - Consumo de materiais e custos das alvenarias**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Bloco estrutural (UN)	Bloco de vedação (UN)	Graute (m³)	Argamassa (m³)	Custo da alvenaria R\$
100	Maciça	18000	-	14,64	12,40	38507,20
	Treliçada	18000	-	14,64	12,40	38507,20
	Nervurada	18000	-	14,64	12,40	38507,20
90	Maciça	16460	1540	16,56	12,40	38937,00
	Treliçada	16460	1540	14,40	12,40	38332,20
	Nervurada	16460	1540	16,45	12,40	38906,20
80	Maciça	14932	1528	17,09	12,40	36375,84
	Treliçada	14932	1528	13,78	12,40	35449,04
	Nervurada	14932	1528	16,00	12,40	36070,64

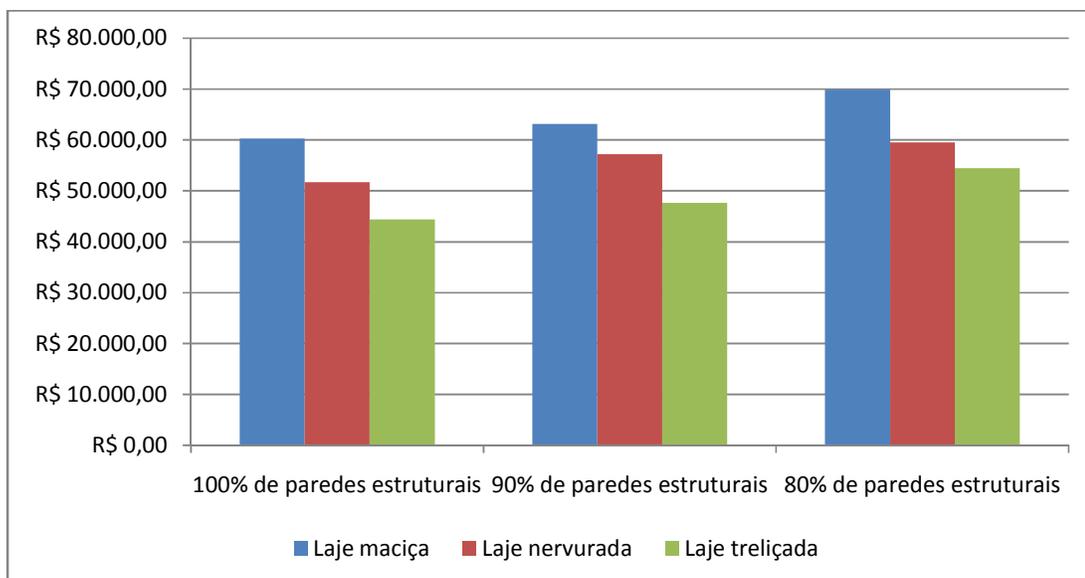
**Tabela 4.9 - Custo da estrutura (lajes + alvenarias)**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Custo da estrutura (R\$)
100	Maciça	98765,52
100	Treliçada	82885,58
100	Nervurada	90252,59
90	Maciça	102045,44
90	Treliçada	86029,05
90	Nervurada	96100,81
80	Maciça	106263,36
80	Treliçada	89923,26
80	Nervurada	95641,19

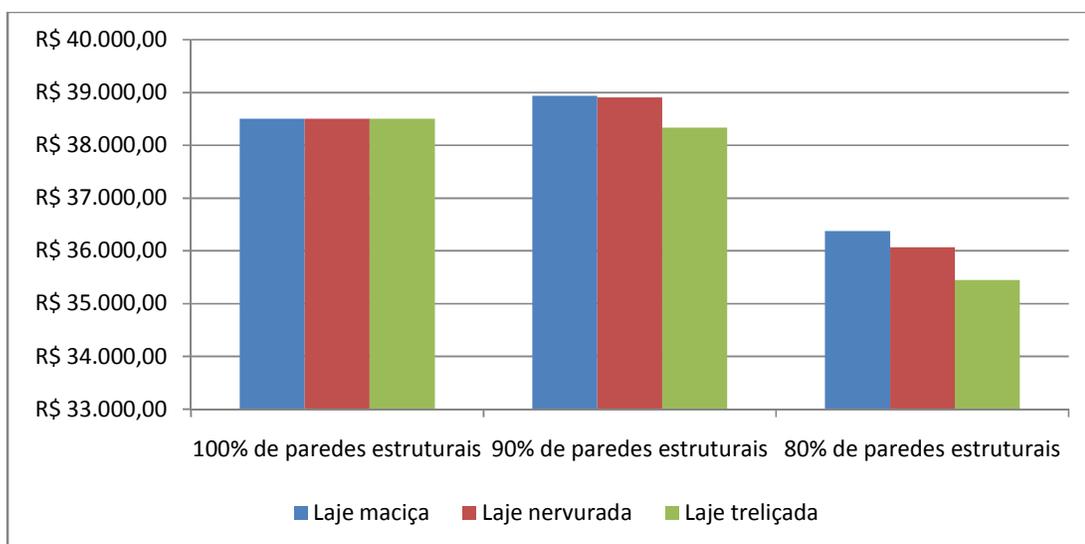
**Tabela 4.10 - Índices e taxas**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	I <sub>alv. Est.</sub>	I <sub>alv. Ved.</sub>	Taxa de aço I	Taxa de aço II	Vão médio
100	Maciça	0,55	-	132,23	10,58	4,81
	Treliçada			74,02	3,78	
	Nervurada			45,05	3,45	
90	Maciça	0,5	0,05	69,83	8,38	5,63
	Treliçada			70,39	4,19	
	Nervurada			49,51	4,08	
80	Maciça	0,45	0,10	88,17	10,58	6,93
	Treliçada			49,48	4,28	
	Nervurada			41,37	3,68	

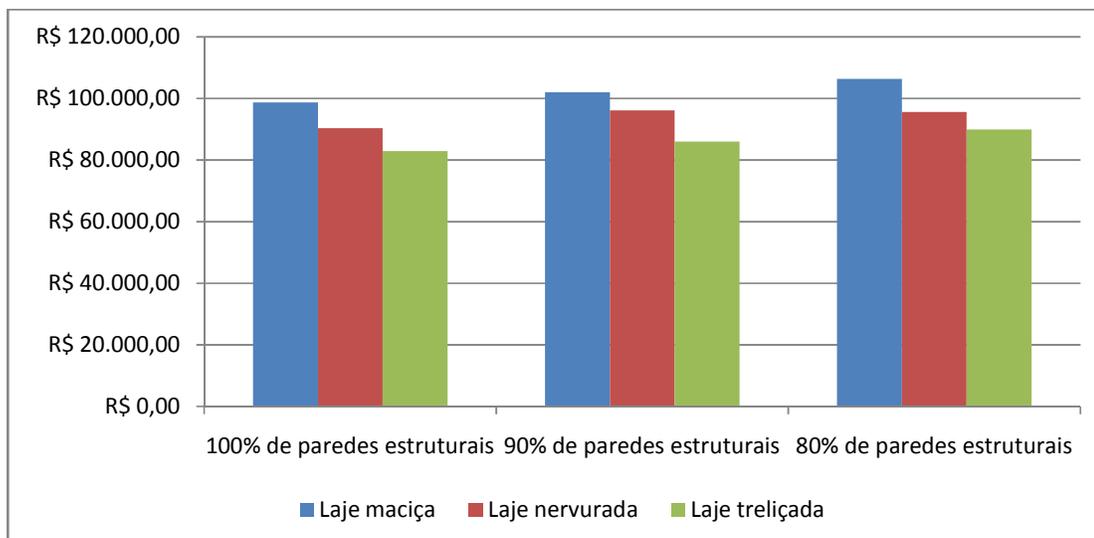
As figuras 4.4 a 4.6 apresentam o comparativo de custo das lajes, das alvenarias e do conjunto (alvenaria + laje).



**Figura 4.4 -** Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais



**Figura 4.5 -** Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais



**Figura 4.6** - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais

### 4.3 MODELOS COM DIMENSÕES 10X30m

As tabelas de 4.11 a 4.15 apresentam os resultados de deslocamento das lajes e consumo de materiais e o custo das lajes e das alvenarias.

**Tabela 4.11** - Resultado dos deslocamentos das lajes

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Espessura	Menor vão (cm)	Deslocamento limite (cm)	Deslocamento		
					Inicial (cm)	Final (cm)	Resultante (cm)
100	Maciça	8	494	1,98	-	0,75	0,75
90		11	494	0,99	0,29	1,05	0,76
80		11	494	0,99	0,42	1,32	0,90
100	Treliçada	12	494	1,98	-	1,50	1,50
90		20	494	0,99	0,23	1,02	0,79
80		20	494	0,99	0,23	0,87	0,64
100	Nervurada	15	494	1,98	-	0,53	0,53
90		17	494	0,99	0,24	1,08	0,84
80		18	494	0,99	0,26	1,22	0,96

**Tabela 4.12 - Consumo de materiais e custos das lajes**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Concreto (m³)	Aço (kg)	Forma (m²)	Enchimento (EPS) (m³)	Laje-treliçada (m²)	Custo da lajes (R\$)
100	Maciça	24,00	3092,00	300,00	-	-	89133,92
	Treliçada	15,20	1148,90	300,00	-	300,00	66699,84
	Nervurada	23,00	996,10	300,00	29,89	-	76965,75
90	Maciça	33,00	2291,50	300,00	-	-	87632,14
	Treliçada	20,20	1159,30	300,00	-	300,00	72874,40
	Nervurada	24,90	1322,40	300,00	33,19	-	86629,14
80	Maciça	33,00	2487,00	300,00	-	-	90642,84
	Treliçada	20,70	1213,50	300,00	-	300,00	74310,52
	Nervurada	25,70	1422,70	300,00	36,70	-	91638,70

**Tabela 4.13 - Consumo de materiais e custos das alvenarias**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Bloco estrutural (UN)	Bloco de vedação (UN)	Graute (m³)	Argamassa (m³)	Custo da alvenaria (R\$)
100	Maciça	25788	-	24	17,8	56022,88
	Treliçada	25788	-	24	17,8	56022,88
	Nervurada	25788	-	24	17,8	56022,88
90	Maciça	22734	3054	24,2	15,72	55407,50
	Treliçada	22734	3054	20,33	15,72	54323,90
	Nervurada	22734	3054	24,07	15,72	55371,10
80	Maciça	21206	4582	21,7	14,64	54362,94
	Treliçada	21206	4582	20,68	14,64	54077,34
	Nervurada	21206	4582	23,21	14,64	54785,74

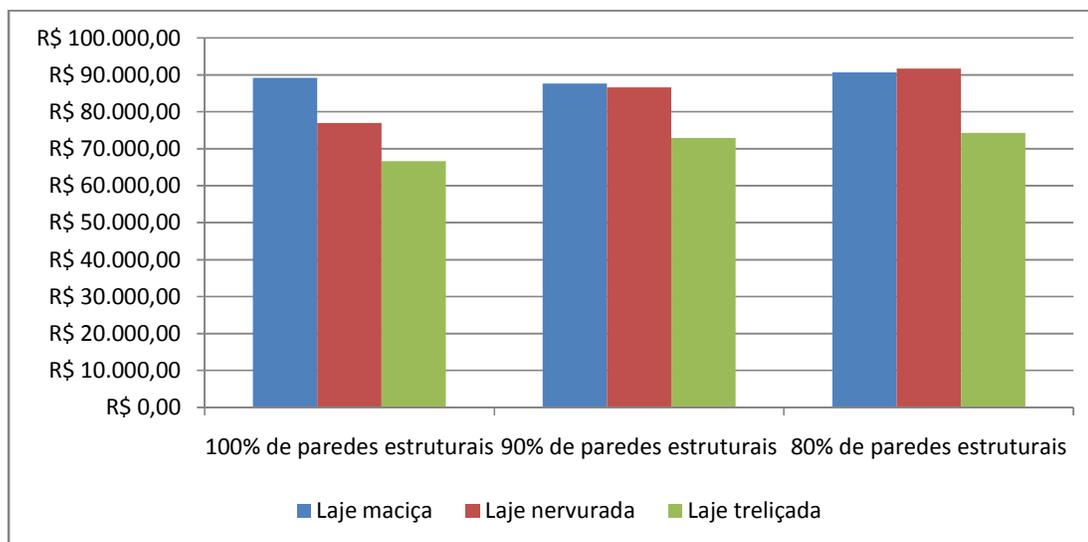
**Tabela 4.14 - Custo da estrutura (lajes + alvenarias)**

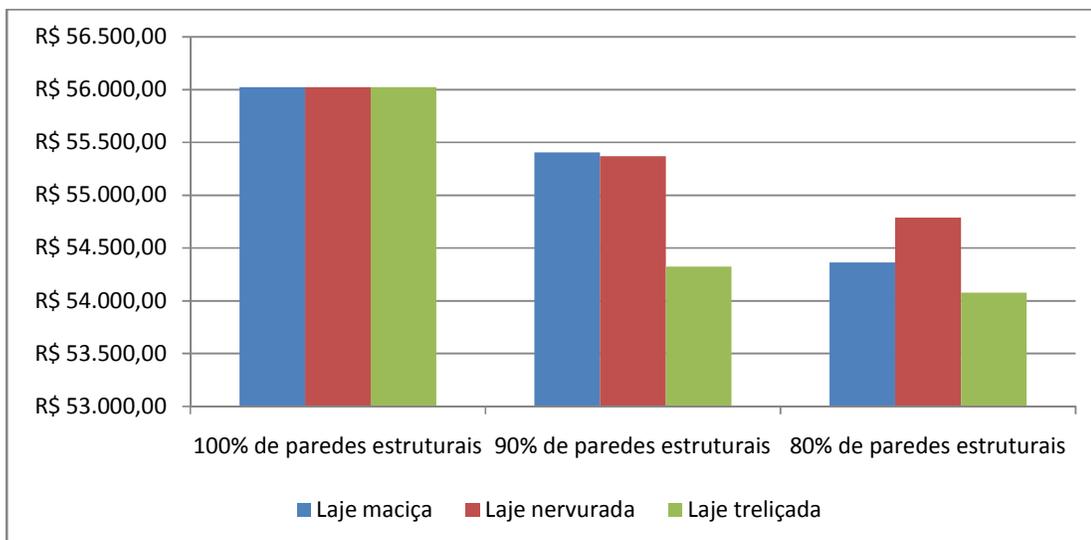
% de paredes estruturais	Tipo de laje	Custo da estrutura (R\$)
100	Maciça	145156,80
	Treliçada	122722,72
	Nervurada	132988,63
90	Maciça	143039,64
	Treliçada	127198,30
	Nervurada	142000,24
80	Maciça	145005,78
	Treliçada	128387,86
	Nervurada	146424,44

**Tabela 4.15 - Índices e taxas**

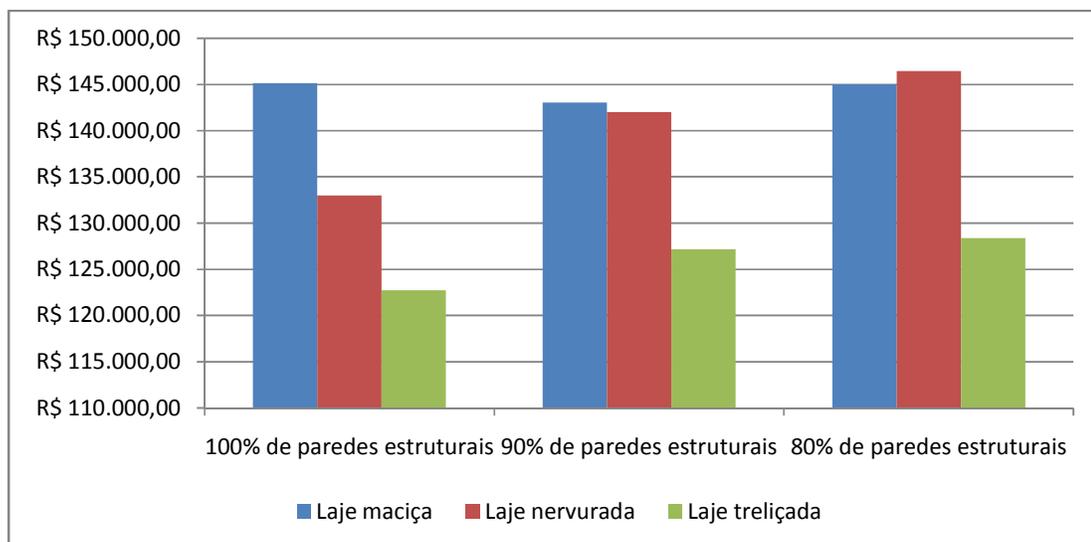
% de paredes estruturais	Tipo de laje	$I_{alv. Est.}$	$I_{alv. Ved.}$	Taxa de aço I	Taxa de aço II	Vão médio (m)
100	Maciça	0,54	-	128,83	10,31	4,81
	Treliçada			75,59	3,83	
	Nervurada			43,31	3,32	
90	Maciça	0,47	0,07	69,44	7,64	5,80
	Treliçada			57,39	3,86	
	Nervurada			53,11	4,41	
80	Maciça	0,44	0,10	75,36	8,29	7,06
	Treliçada			58,62	4,05	
	Nervurada			55,36	4,74	

As figuras 4.7 a 4.9 apresentam o comparativo de custo das lajes, das alvenarias e do conjunto (alvenaria + laje).

**Figura 4.7 - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais**



**Figura 4.8** - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais



**Figura 4.9** - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais

#### 4.4 MODELO REAL

As tabelas de 4.16 a 4.20 apresentam os resultados de deslocamento das lajes e consumo de materiais e o custo das lajes e das alvenarias.

**Tabela 4.16 - Resultado dos deslocamentos das lajes**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Espessura	Menor vão	Deslocamento limite	Deslocamento		
					Inicial	Final	Resultante
100	Maciça	8	376	1,51	-	0,43	0,43
90		8	376	0,75	0,43	0,56	0,13
75		13	376	0,75	0,29	1,03	0,74
75	Treliçada	14	376	1,51	-	1,00	1,00
90		14	376	0,75	1,09	1,34	0,25
100		25	376	0,75	0,19	0,84	0,65
75	Nervurada	15	376	1,51	-	0,32	0,32
90		15	376	0,75	0,27	0,36	0,09
100		23	376	0,75	0,23	1,09	0,86

**Tabela 4.17 - Consumo de materiais e custos das lajes**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Concreto (m³)	Aço (kg)	Forma (m²)	Enchimento (EPS) (m³)	Laje-treliçada (m²)	Custo da lajes (R\$)
100	Maciça	10,00	714,90	125,00	-	-	28308,26
100	Treliçada	7,20	407,90	125,00	-	125,00	27743,65
100	Nervurada	10,30	412,20	125,00	12,63	-	33012,73
90	Maciça	10,00	995,30	125,00	-	-	32626,42
90	Treliçada	7,30	477,50	125,00	-	125,00	28935,77
90	Nervurada	10,40	459,30	125,00	13,25	-	34300,42
75	Maciça	16,25	1193,30	125,00	-	-	43193,62
75	Treliçada	11,60	644,60	125,00	-	125,00	36681,50
75	Nervurada	13,50	637,60	125,00	20,86	-	46201,10

**Tabela 4.18 - Consumo de materiais e custos das alvenarias**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Bloco estrutural (UN)	Bloco de vedação (UN)	Graute (m³)	Argamassa (m³)	Cuto da alvenaria (R\$)
100	Maciça	19976	-	20,36	13,84	43903,36
100	Treliçada	19976	-	20,36	13,84	43903,36
100	Nervurada	19976	-	20,36	13,84	43903,36
90	Maciça	16746	3230	20,33	11,63	43182,66
90	Treliçada	16746	3230	20,00	11,63	43090,26
90	Nervurada	16746	3230	19,77	11,63	43025,86
75	Maciça	15038	4938	17,41	10,44	41983,7
75	Treliçada	15038	4938	17,00	10,44	41868,9
75	Nervurada	15038	4938	17,4	10,44	41980,9

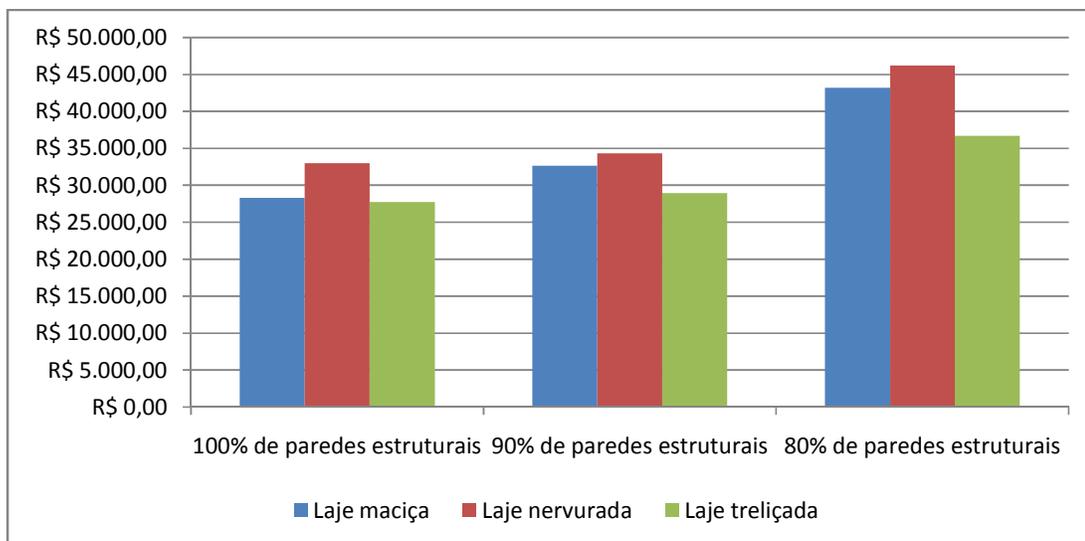
**Tabela 4.19 - Custo da estrutura (lajes + alvenarias)**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	Custo da estrutura R\$
100	Maciça	64630,12
100	Treliçada	72683,01
100	Nervurada	65738,49
90	Maciça	64537,74
90	Treliçada	75377,87
90	Nervurada	65699,96
75	Maciça	73335,9
75	Treliçada	79451,33
75	Nervurada	72354,08

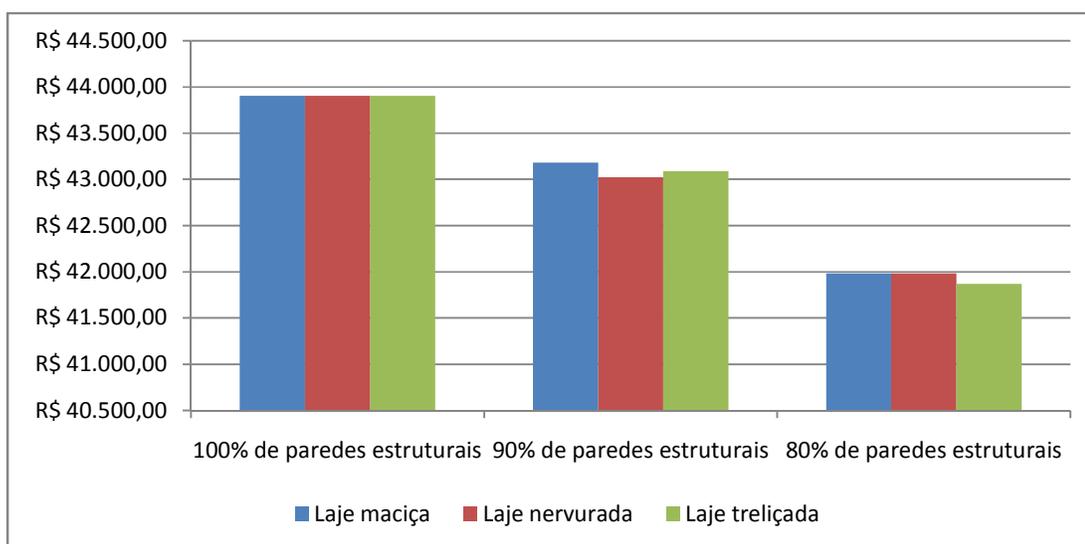
**Tabela 4.20 - Índices e taxas**

% de paredes estruturais	Tipo de laje	I <sub>alv. Est.</sub>	I <sub>alv. Ved.</sub>	Emc	Taxa de aço I	Taxa de aço II	Vão médio
100	Maciça	0,78	-	0,063	71,44	4,47	3,07
	Treliçada			0,042	62,07	2,60	
	Nervurada			0,064	40,02	2,57	
90	Maciça	0,70	0,08	0,063	75,52	4,72	3,32
	Treliçada			0,046	70,55	3,22	
	Nervurada			0,065	42,60	2,77	
75	Maciça	0,58	0,20	0,097	72,31	7,05	5,19
	Treliçada			0,061	61,34	3,72	
	Nervurada			0,082	41,40	3,39	

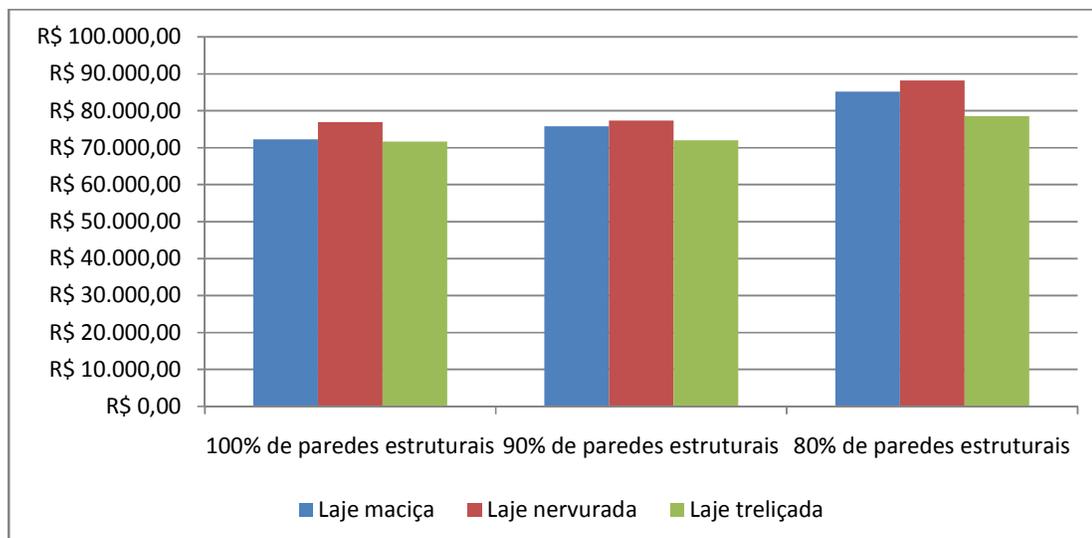
As figuras 4.10 a 4.9 apresentam o comparativo de custo das lajes, das alvenarias e do conjunto (alvenaria + laje).



**Figura 4.10** - Variação do custo das lajes em relação à quantidade de paredes estruturais



**Figura 4.11** - Variação do custo das alvenarias em relação à quantidade de paredes estruturais



**Figura 4.12** - Variação do custo do conjunto (alvenaria + laje) em relação à quantidade de paredes estruturais

## 4.5 ANALISE DE CUSTO

Para a análise de custo os modelos foram comparados separando-se o custo das lajes, das alvenarias e posteriormente comparado o conjunto lajes e alvenarias juntas.

Na maioria dos modelos o custo das alvenarias reduz com a redução do número de paredes estruturais, isso ocorre devido ao menor custo dos blocos de vedação e por ser poucos os pontos de graute acrescentados em consequência da redução do número de paredes estruturais.

O custo das lajes aumentam com a redução das paredes estruturais, pois para vencer vãos maiores são consumidas maiores quantidades de aço e concreto. As lajes, em geral, representam a maior parte do custo das estruturas dos edifícios de alvenaria, sendo assim a escolha do tipo de laje e sua distribuição deve ser criteriosa, pois o aumento no custo da laje pode aumentar consideravelmente o custo total da edificação.

Analisando o conjunto (alvenaria e laje) em todos os modelos estudados a redução de paredes estruturais aumenta o custo das edificações de alvenaria estrutural.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo estão contidas as conclusões das 36 alternativas estruturais estudadas e sugestões para novos trabalhos.

### 5.1 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho foi investigar a influência que o número de paredes estruturais e o tipo de laje representam no comportamento estrutural e no custo dos edifícios de alvenaria de 4 pavimentos. Para alcançar tal objetivo realizou-se um levantamento de custo de cada alternativa adotada considerando o consumo dos materiais empregados no conjunto (alvenarias e lajes).

Nos exemplos analisados, todos os modelos apresentaram tensões de compressão simples normais, ou seja, em nenhum dos casos foi necessário aumentar a resistência do bloco, porém, em alguns casos foi necessário acrescentar alguns pontos de graute para aumentar a resistência da parede. Isto significa que para edificações de 4 pavimentos o aumento dos vãos de laje e a diminuição de paredes estruturais não altera o comportamento estrutural.

O custo de uma edificação de alvenaria estrutural depende principalmente da distribuição das cargas verticais, entretanto, o fato das lajes maciças e nervuradas distribuírem melhor o carregamento que as lajes treliçadas, pelo menos nas edificações de 4 pavimentos, não contribui significativamente para redução dos custos das alvenarias. Os resultados demonstram que as lajes treliçadas carregam menos a estrutura devido ao menor peso próprio, mesmo com o aumento dos vãos da laje essa situação se mostra favorável ao carregamento da estrutura. Sendo assim para as edificações de 4 pavimentos o melhor é adotar as lajes treliçadas.

Conclui-se que a redução do número de paredes estruturais aumenta o custo das edificações de 4 pavimentos em alvenaria estrutural devido ao aumento do custo da laje, sendo as lajes o fator determinante no custo das estruturas de alvenaria.

Para edifícios cujas alturas ultrapassem as dos exemplos apresentados, estudos complementares devem ser feitos, uma vez que, nesses casos, a

consideração das ações horizontais torna-se necessária. Tal estudo pode ser tema para um novo trabalho, como continuidade deste.

Finalmente, espera-se que as informações contidas possam auxiliar todos os que desejam utilizar esta técnica construtiva na escolha do modelo estrutural a ser empregado.

## **5.2 SUGESTÕES DE PESQUISA**

A seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar um estudo com modelos de maior número de pavimentos uma vez que, a consideração das ações horizontais torna-se necessária.
- Realizar um estudo semelhante utilizando blocos cerâmicos.
- Fazer um estudo utilizando outros tipos de lajes.

## Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 10837:1989 - Cálculo de alvenaria estrutural com blocos vazados de concreto.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 15961:2011 - Alvenaria estrutural - blocos de concreto.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6118:2003 – Projetos de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 6136:2007 Blocos vazados de concreto simples para alvenaria.** Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **NBR 7480:2007 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado.** Rio de Janeiro.

ACCETTI, K. M.; **Contribuição ao projeto estrutural de edifícios de em alvenaria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ALBUQUERQUE, A. T.; **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ARAGÃO, H. G. **Análise estrutural de lajes pré-moldadas produzidas com concreto reciclado de construção e demolição.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2007.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA - ABCI.** Manual Técnico de Alvenaria. Editora Pro editores. São Paulo, 1990.

ACCETI, K. M.; **Contribuição ao projeto estrutural de edifícios em alvenaria.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ALBUQUERQUE, A. T.; **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

ATAIDE, C. A. V.; **Estudo comparativo entre o método das tensões admissíveis e dos estados limites para alvenaria estrutural.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BARRETO, A. S. P.; **Análise numérica de painéis de alvenaria estrutural utilizando técnica de homogeneização.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade federal de Pernambuco. Recife, 2002.

BASTOS, S. S.; **Contribuição ao projeto de edifícios em alvenaria estrutural pelo método das tensões admissíveis.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

CAMACHO, J. S., **Contribuição ao estudo de modelos físicos reduzidos de alvenaria estrutural cerâmica**. Tese (Doutorado) Escola politécnica, universidade de São Paulo, 1995.

CAMACHO, J. S.; **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. 2006. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

CAPUZZO, V. N.; **Estudo teórico e experimental da interação de paredes de alvenaria estrutural submetidas a ações verticais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

CARNEIRO, F., MARTINS, J.G.; **Análise de estruturas: Contraventamento de edifícios. Série Estruturas**. 1ª edição. 2008.

CARVALHO R. C.; FIGUEIREDO Filho J. R.; FURLAN Jr. S.; MESQUITA V. V. Escolha da altura de lajes com nervuras pré-moldadas para pavimentos de edificações considerando as verificações do estado limite último e de deformação excessiva. **XXIX Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural**, "Jubileo Profesor Julio Ricaldoni". Punta del Este Uruguai, 2000.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado: segundo a NBR 6118: 2003**. Edufscar, São Carlos, 2007.

CAVALHEIRO, O. P. **Fundamentos de alvenaria estrutural**. Notas de aula. Santa Maria, 1995.

CAVALHEIRO, O. P.; GOMES, N. S. Alvenaria estrutural de blocos vazados: resultados de ensaios de elementos e redutores de resistência à compressão. **VII International Seminar on Structural Masonry for Developing Countries**, Proceedings. Belo Horizonte, Brazil. 2002.

DROPPA, A. J.; EL DEBS, M. K.; Análise não-linear de lajes pré-moldadas com armação treliçada: comparação de valores teóricos com experimentais e simulações numéricas em painéis isolados. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, nº 17, 2001.

DRYSDALE, R. G.; **Masonry structures: Behavior and design**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1994.

DUARTE, R. B.; **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural**. Porto Alegre: CFP SENAI, 1999.

FIGUEIREDO, J. R. F.; **Alternativas estruturais para pavimentos de edifícios em concreto armado**. Notas de aula. São Carlos, 2007.

FIGUEIREDO, J. R. F.; **Introdução ao estudo dos pavimentos de edifícios em concreto armado**. Notas de aula. São Carlos, 2007.

FIGUEIREDO, J. R. F.; **Sistemas estruturais para lajes sem vigas: subsídios para o projeto e execução**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1989.

FUSCO, P. B.; **Técnicas de armar estruturas de concreto**. São Paulo, PINI, 1994.

GUARDA, M. C.C.; **Calculo dos deslocamentos em pavimentos de edifícios de concreto armado**. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas). Escola de

Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

HENDRY, A. W. **Structural brickwork**, London: McMillan Press, 1981.

NASCIMENTO, O. D. A. F.; **Apostila de Estruturas de madeira - formas de madeira**. 2009.

PAES, M. S.; **Interação entre edifícios de alvenaria estrutural e pavimento em concreto armado considerando-se o efeito arco com a atuação de cargas verticais e ações horizontais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

PARSEKIAN, G. A.; **Apostila do curso: Cálculo de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos**. Campinas, 2010.

PEIXOTO, P. H. H.; **Aplicabilidade da alvenaria estrutural para edifícios de alto padrão em Fortaleza – estudos de caso**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

PINHEIRO, L. M.; MUZARDO C. D.; SANTOS, S. P.; **Estruturas de Concreto**. Notas de Aula. Universidade Paulista. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2003.

PITTA, J. A. A.; **Ações devidas ao vento em edificações**. Edufscar, 2001.

RAMALHO, M. A., CORREA, M. R. S.; **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo: Pini, 2003.

RAUBER, F. C.; **Contribuições ao projeto arquitetônico de edifícios em alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2005.

**Revista Guia da Construção (custos, suprimentos e soluções técnicas)**, nº 118, ano 64, maio 2011.

ROMAN, H. R.; MUTTI, C. N.; ARAÚJO, H. N.; **Construindo em alvenaria estrutural**. 1ª edição. Florianópolis: Editora da UFSC, 1999.

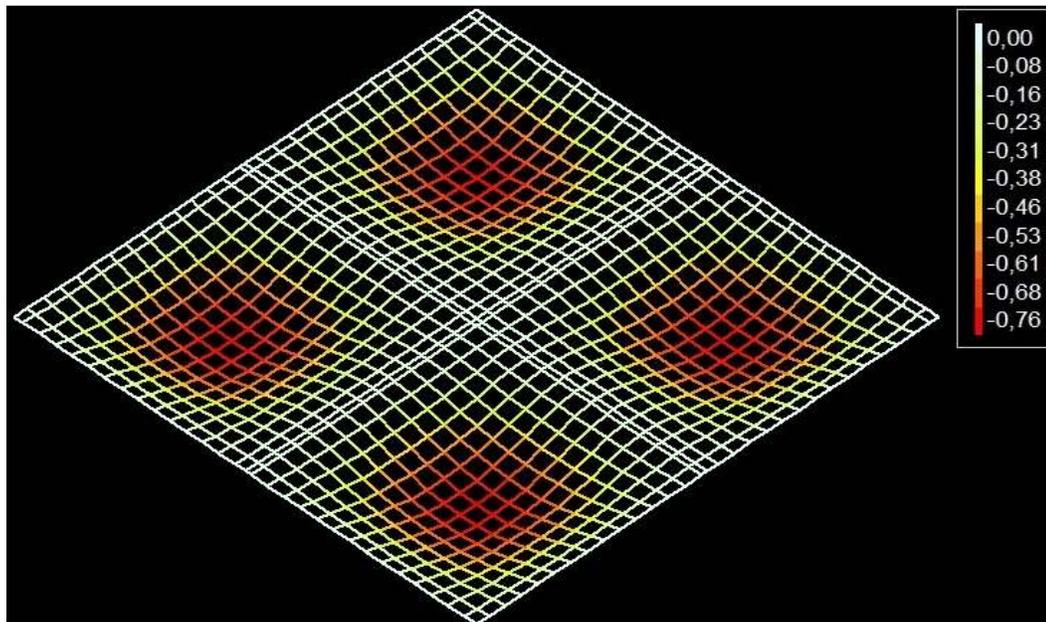
SCHWETZ, P. F.; **Análise teórico experimental de uma laje nervurada em modelo reduzido sujeita a um carregamento linear**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2005.

SILVA, I. M.; **Análise de edifícios e alvenaria estrutural sujeitos às ações do vento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

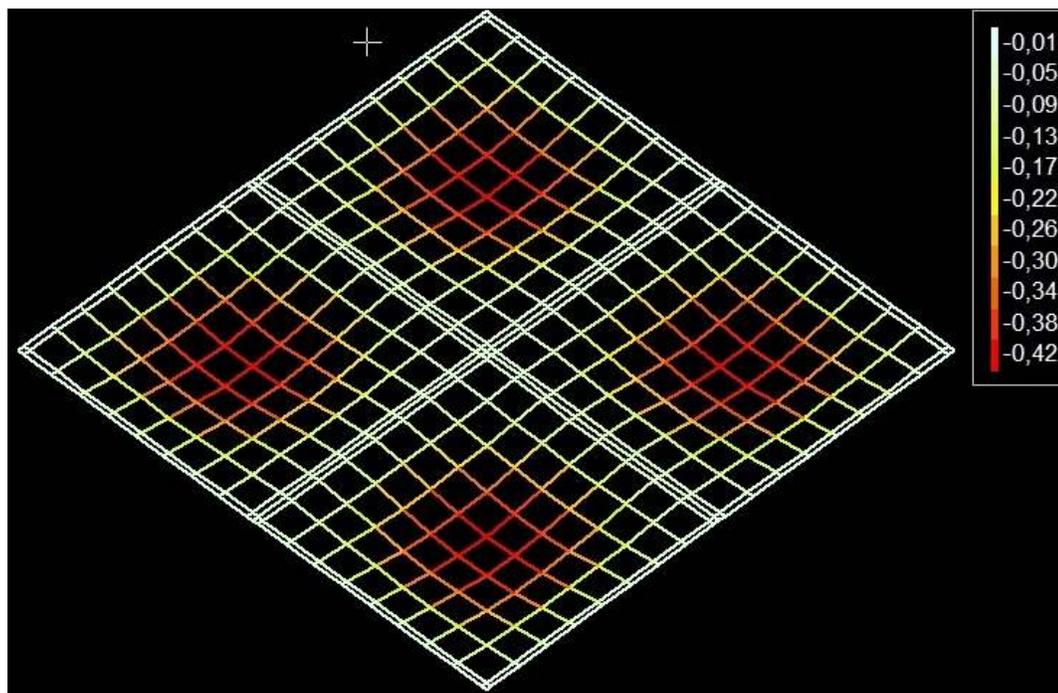
SPOHR, V. H.; **Análise comparativa: sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes nervuradas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

VILATÓ, R. R.; FRANCO, L. S.; **A capacidade resistente da alvenaria estrutural não armada**. Notas de aula. 2000.

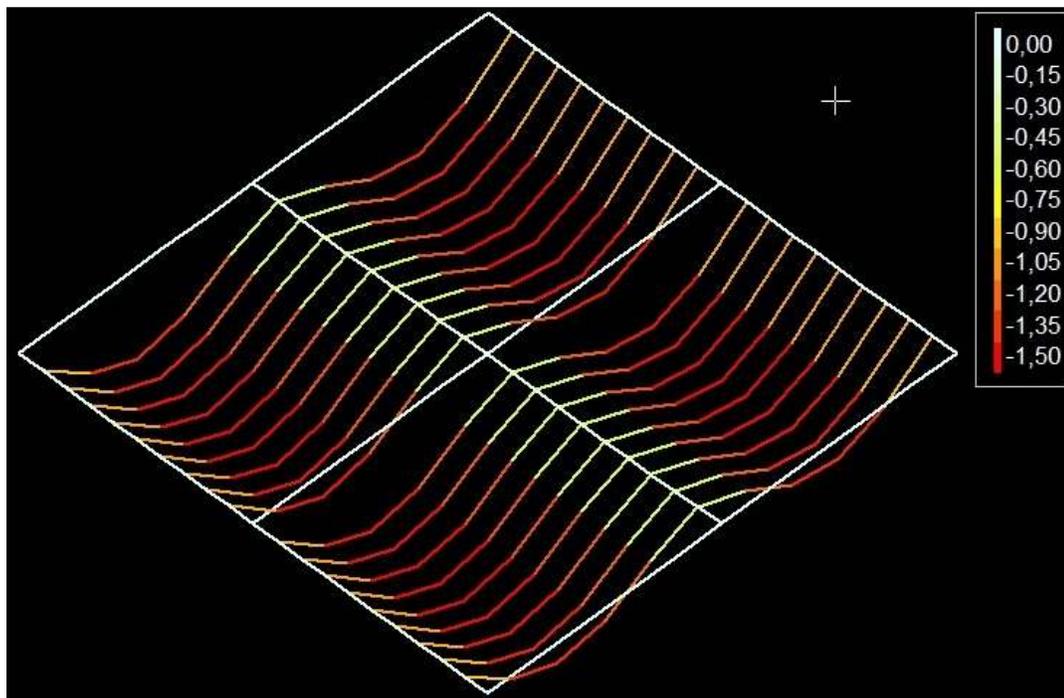
## Apêndice



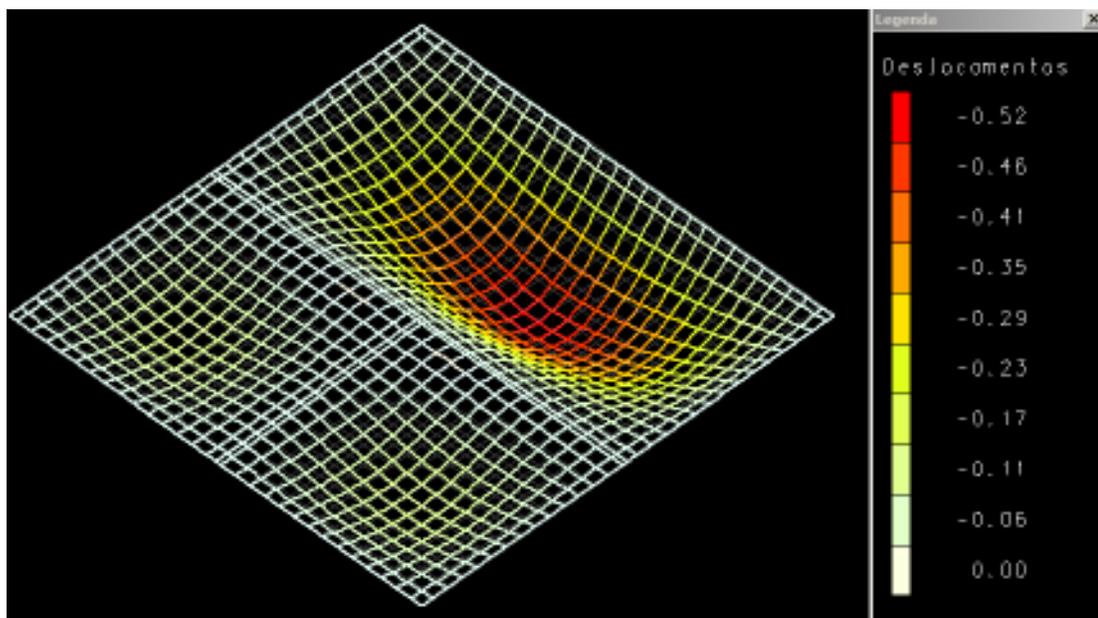
**Figura 1** - Modelo 10x10m com laje maciça e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



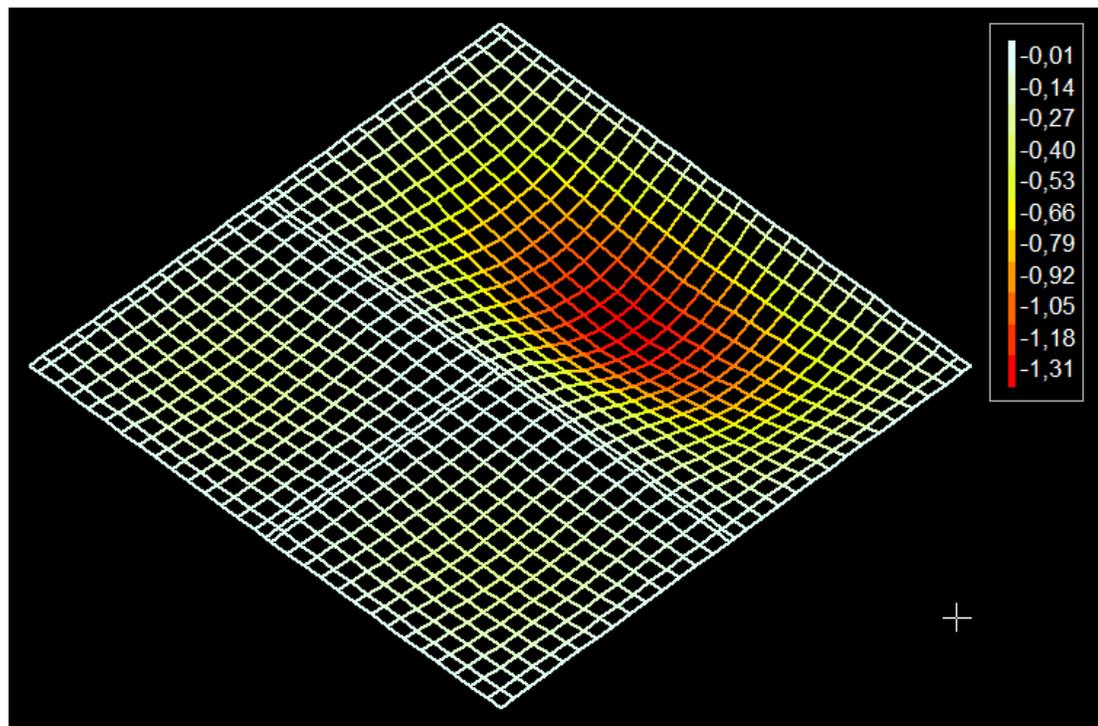
**Figura 2** - Modelo 10x10m com laje nervurada e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



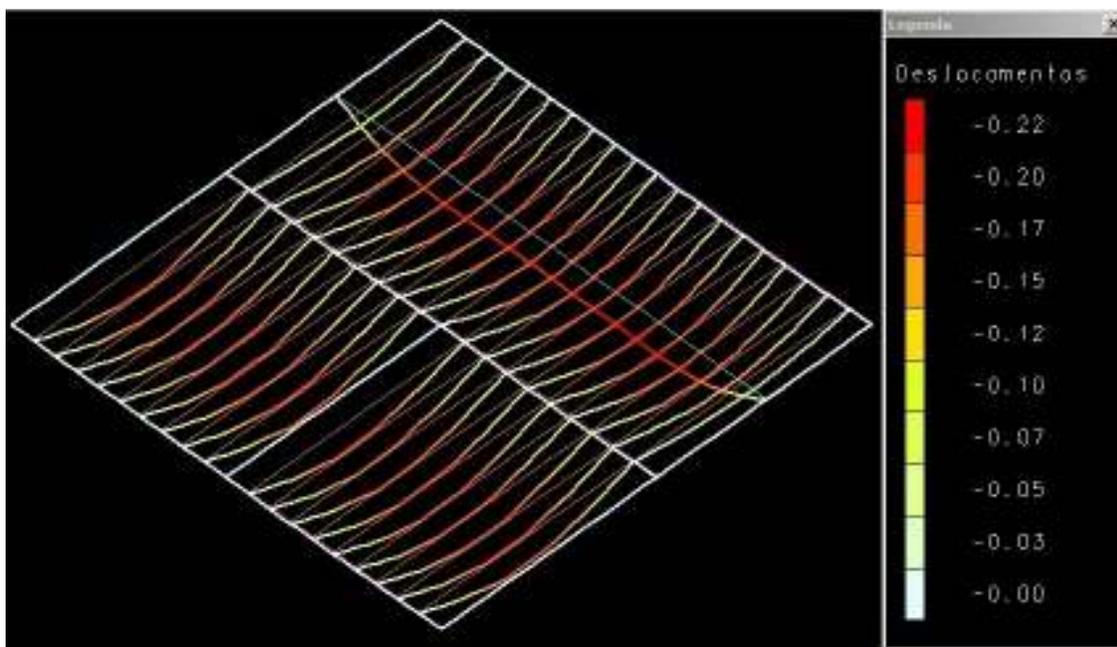
**Figura 3** - Modelo 10x10m com laje treliçada e 100% paredes estruturais: Deslocamento final da laje



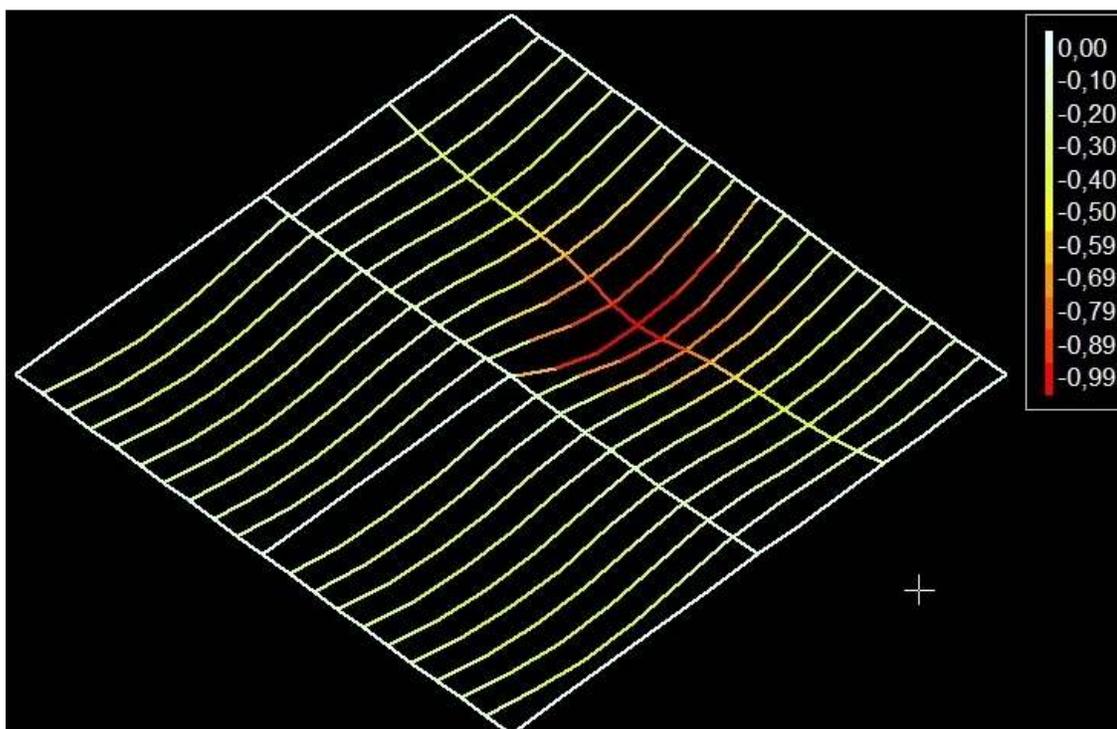
**Figura 4** - Modelo 10x10m com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



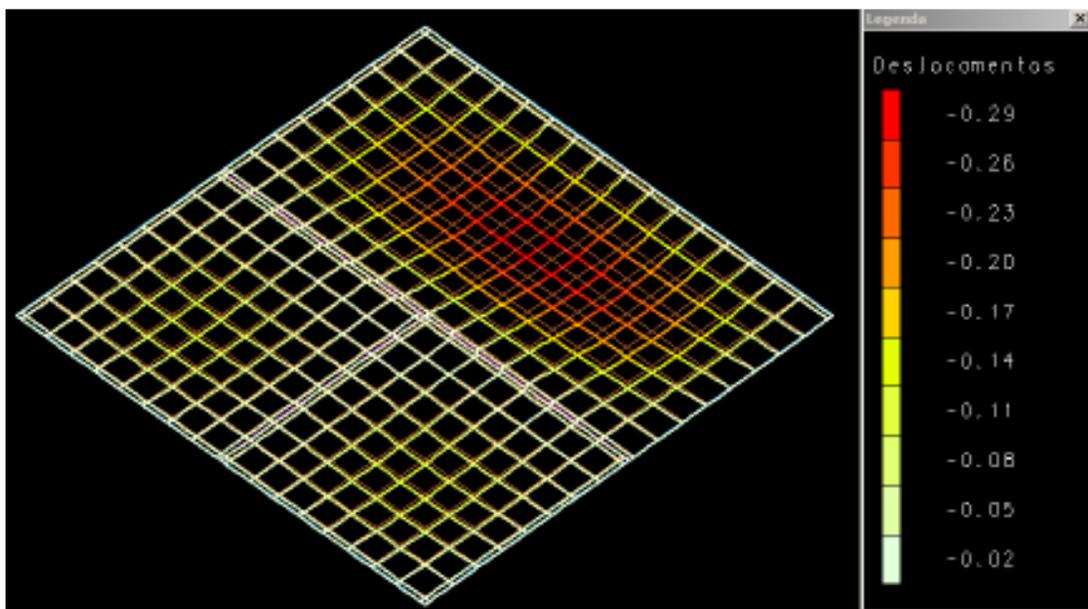
**Figura 5** - Modelo 10x10m com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



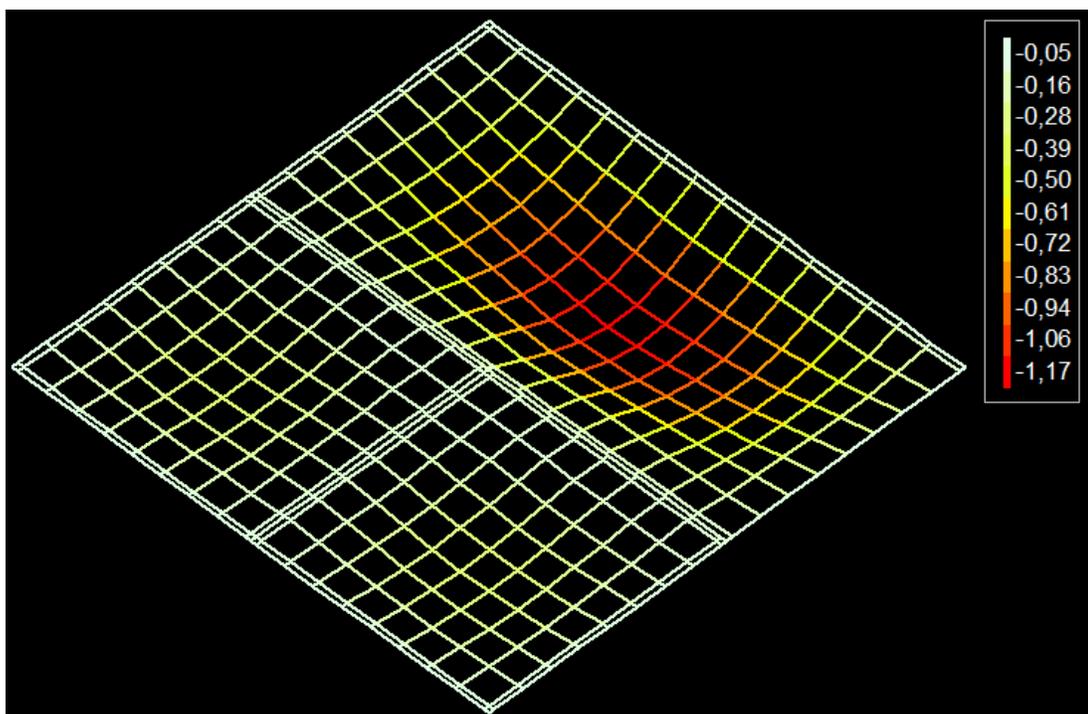
**Figura 6** - Modelo 10x10m com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



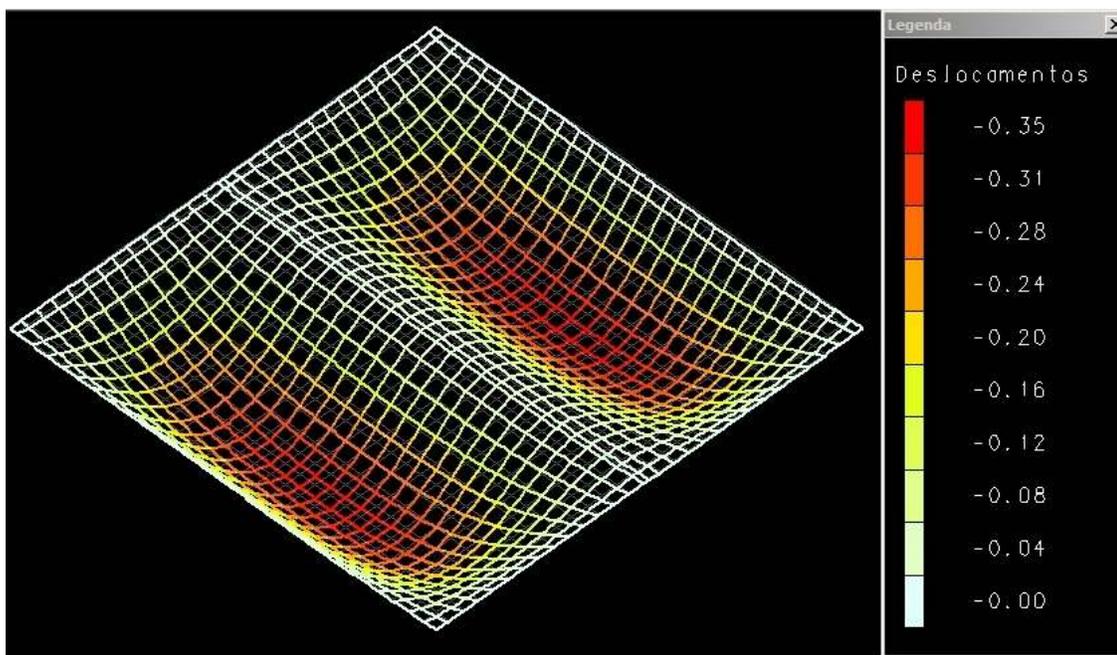
**Figura 7** - Modelo 10x10m com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



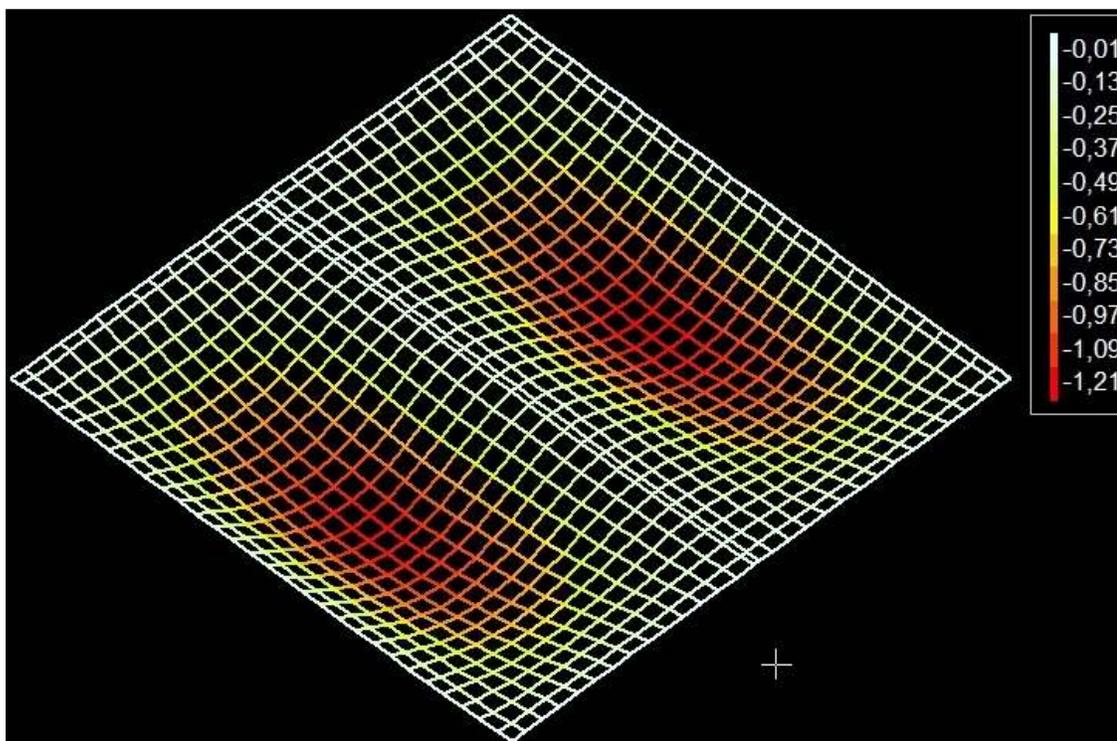
**Figura 8** - Modelo 10x10m com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



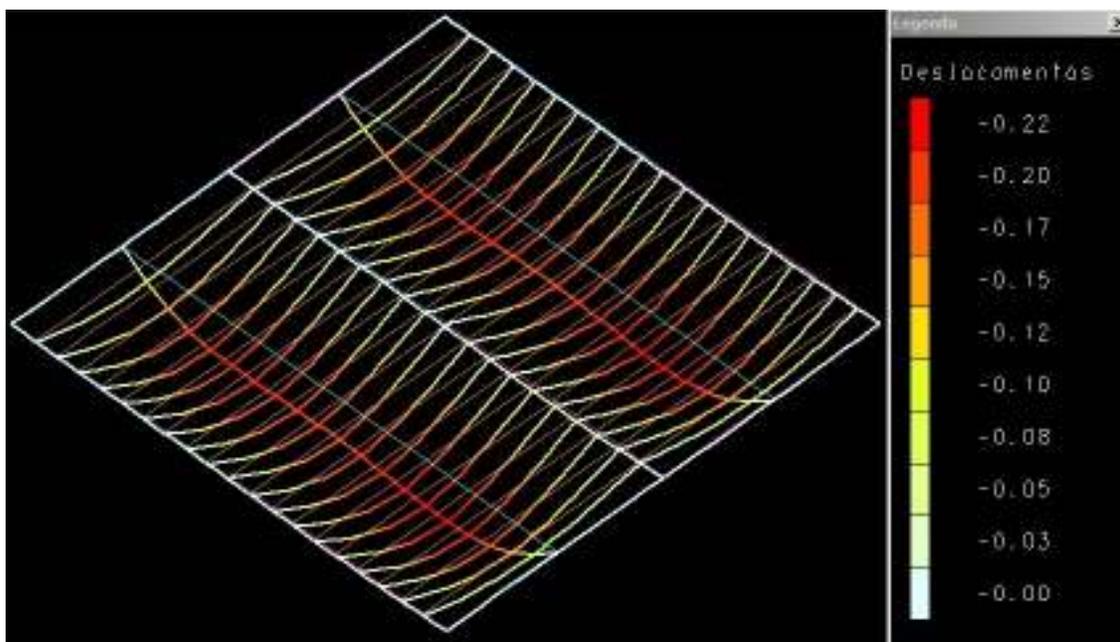
**Figura 9** - Modelo 10x10m com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



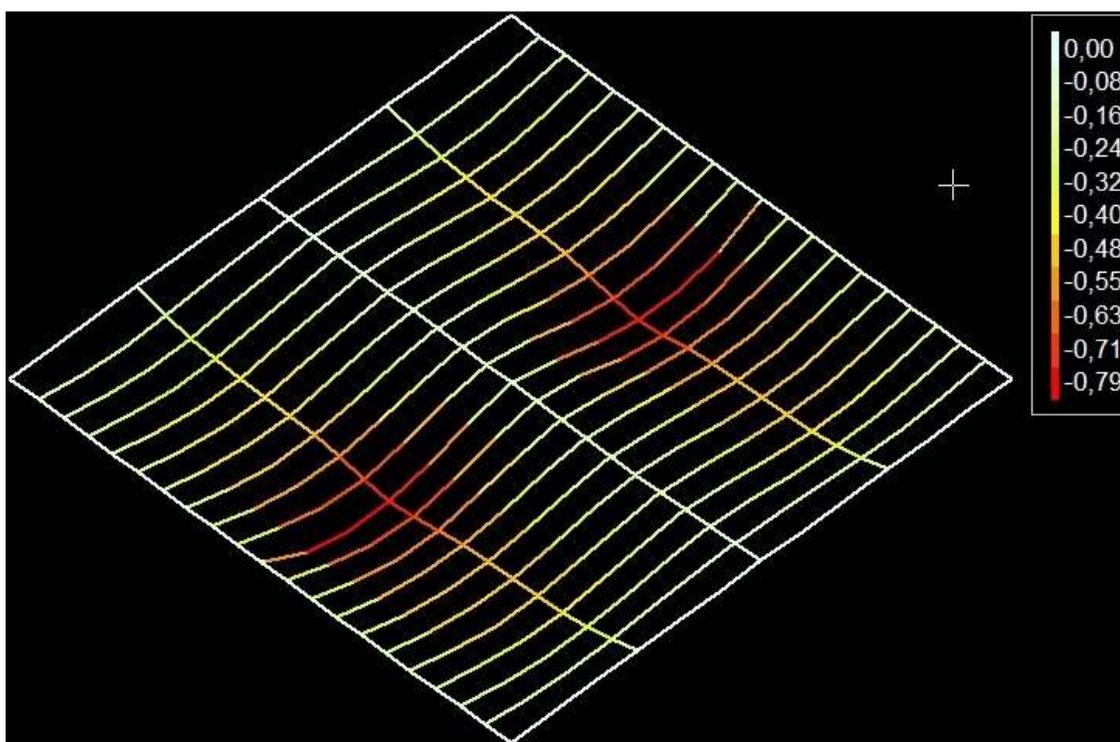
**Figura 10** - Modelo 10x10m com laje maciça e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



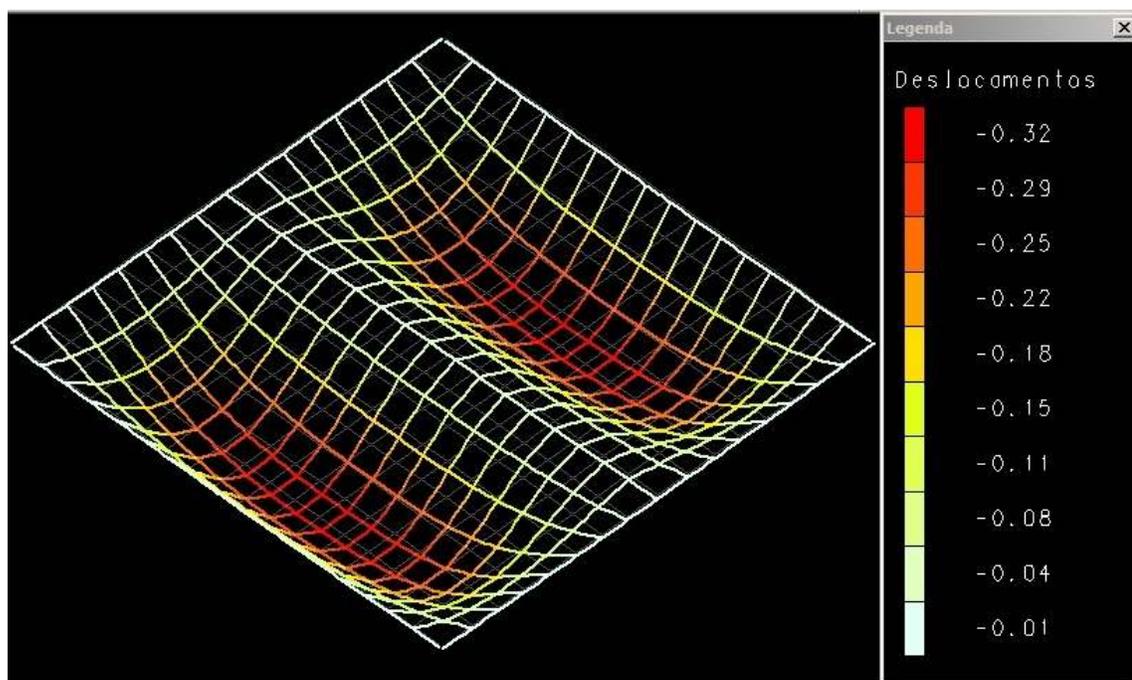
**Figura 11** - Modelo 10x10m com laje maciça e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



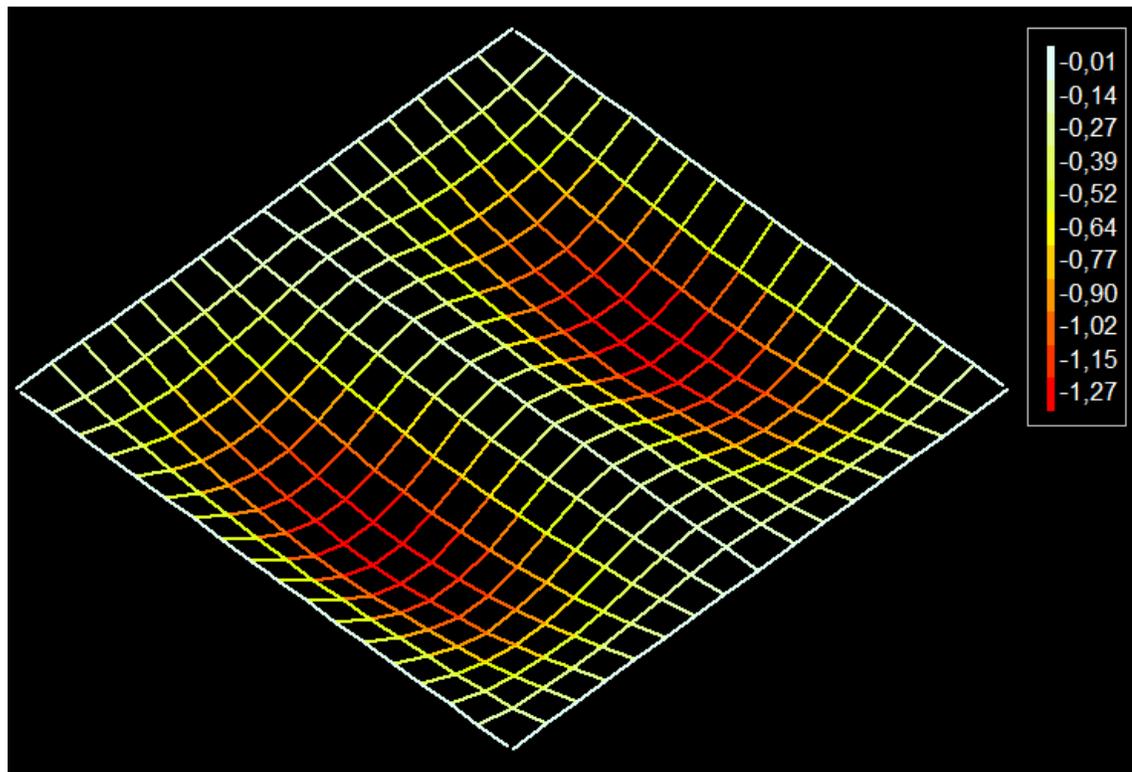
**Figura 12** - Modelo 10x10m com laje treliçada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



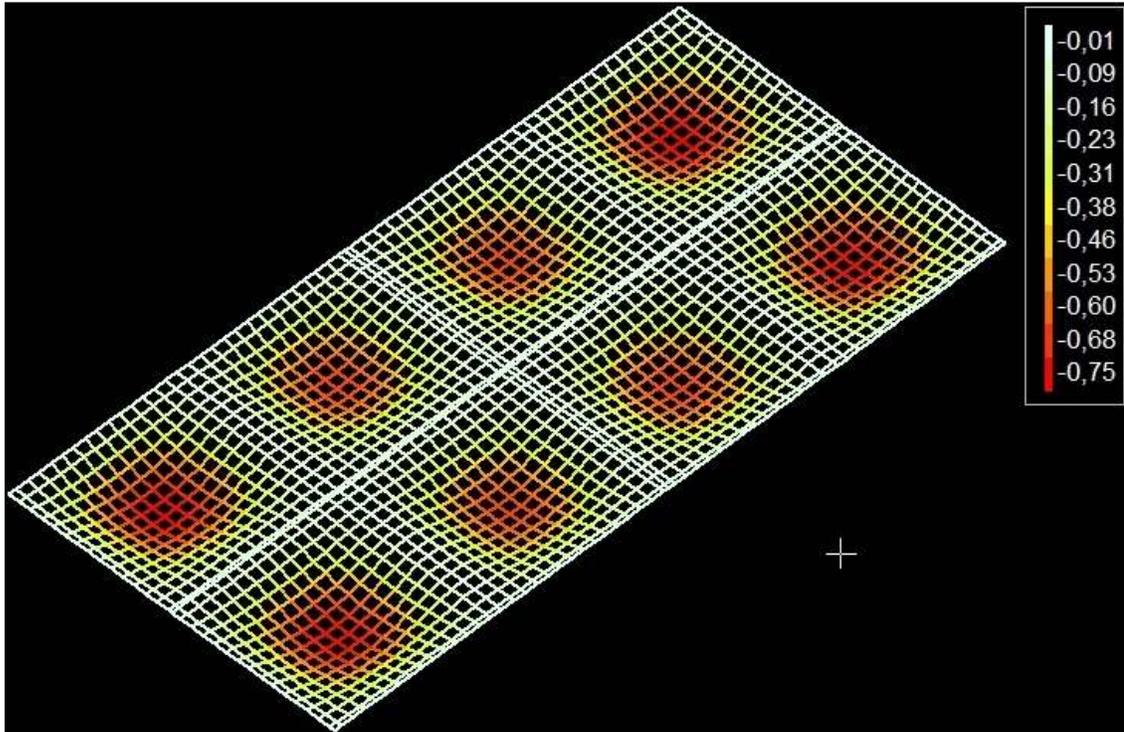
**Figura 13** - Modelo 10x10m com laje treliçada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



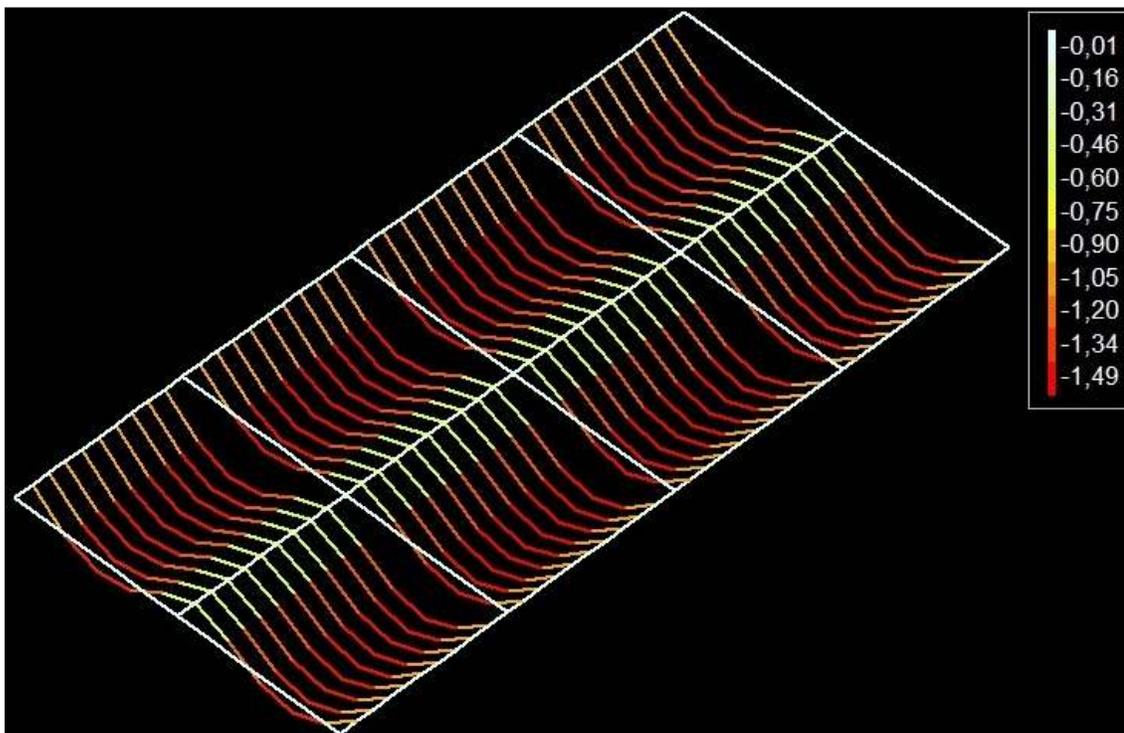
**Figura 14** - Modelo 10x10m com laje nervurada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



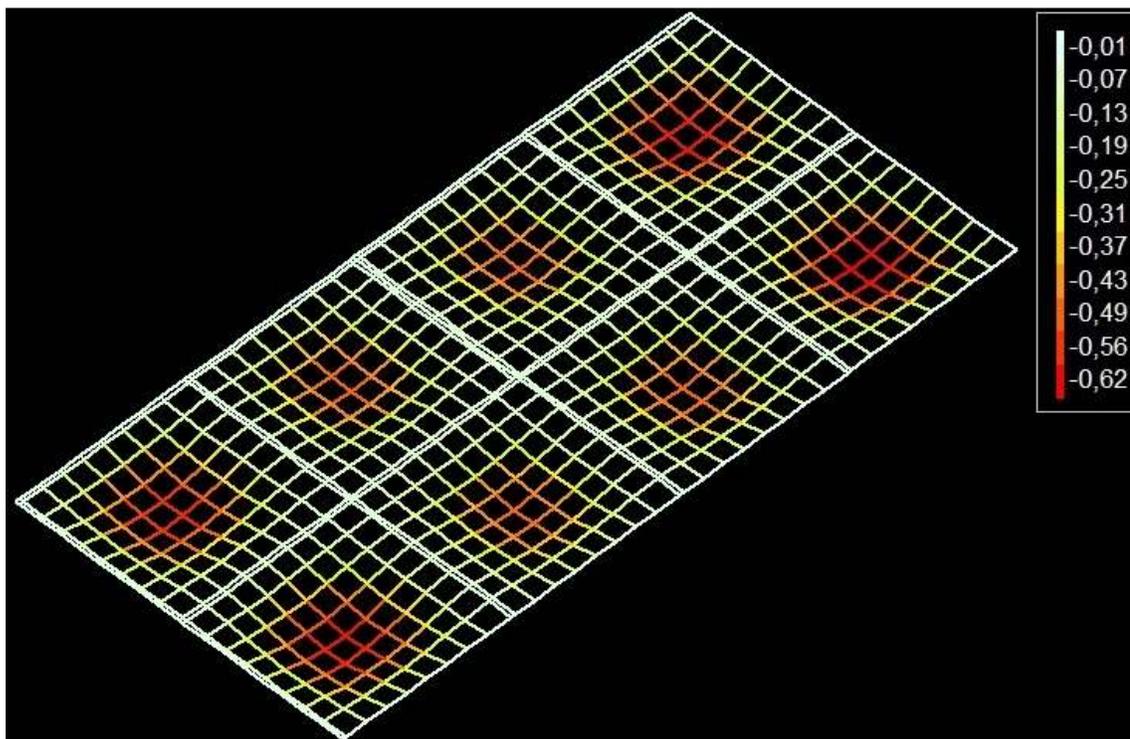
**Figura 15** - Modelo 10x10m com laje nervurada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



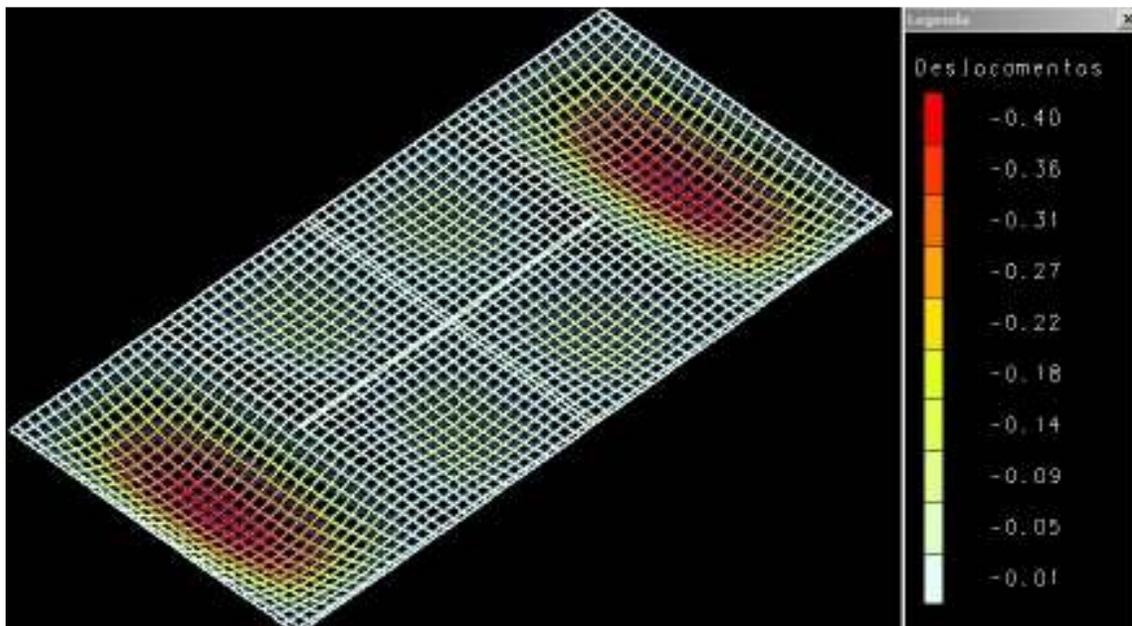
**Figura 16** - Modelo 10x20m com laje nervurada e 100% de paredes estruturais:  
Deslocamento final da laje



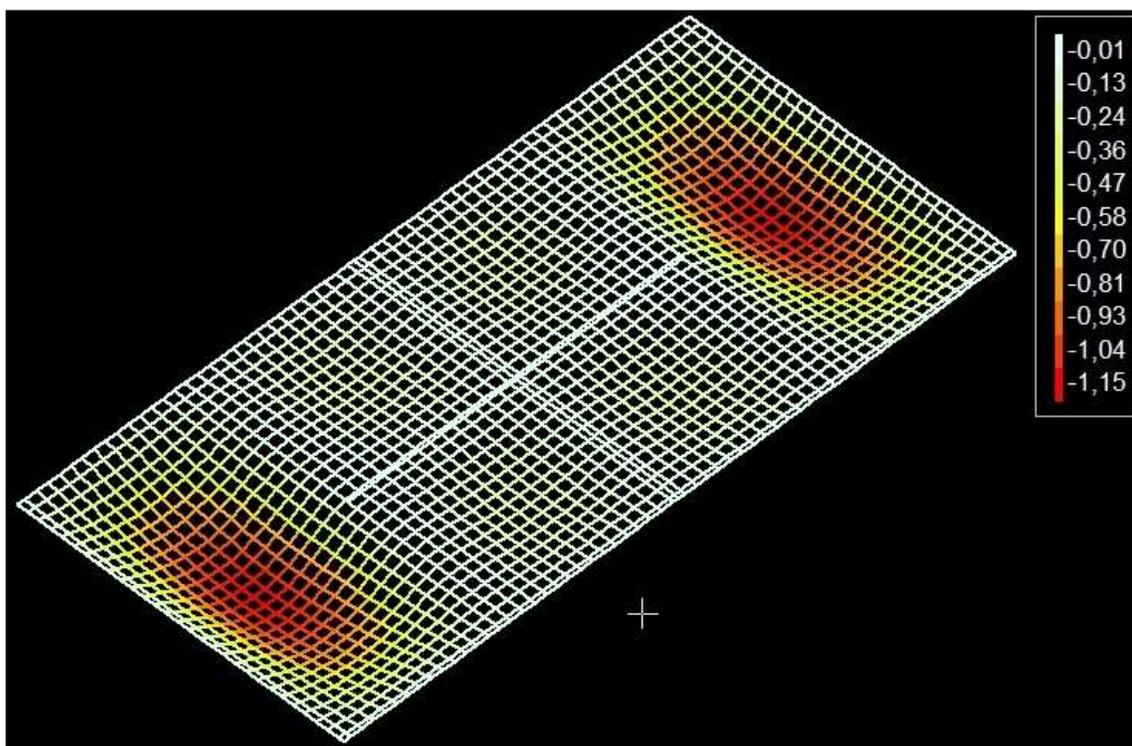
**Figura 17** - Modelo 10x20m com laje treliçada e 100% de paredes estruturais:  
Deslocamento final da laje



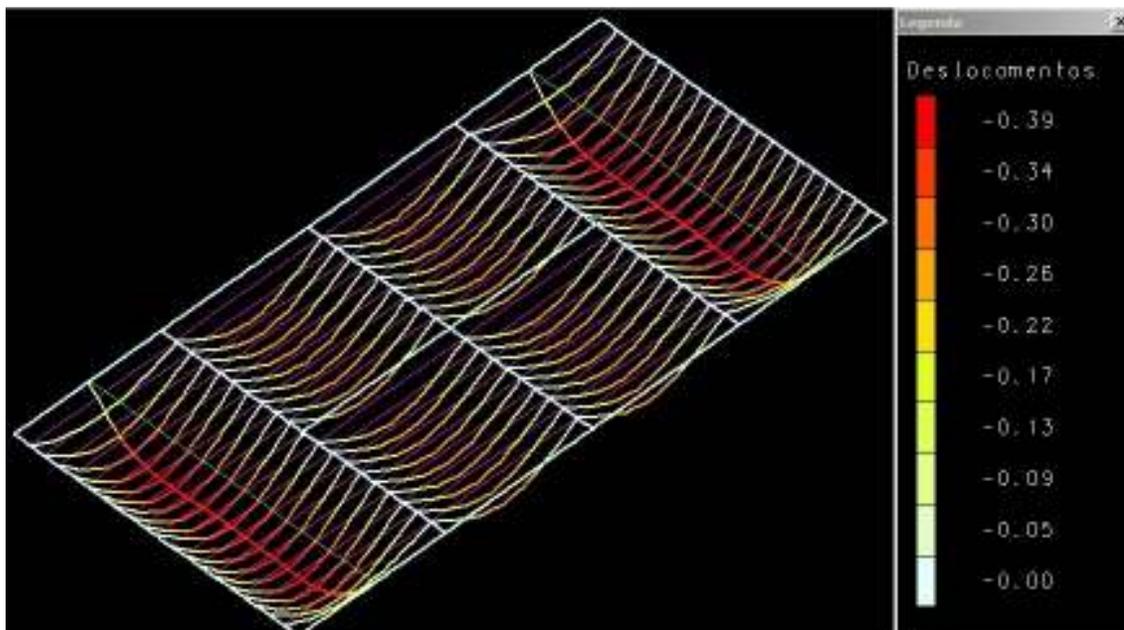
**Figura 18** - Modelo 10x20m com laje nervurada e 100% de paredes estruturais:  
Deslocamento final da laje



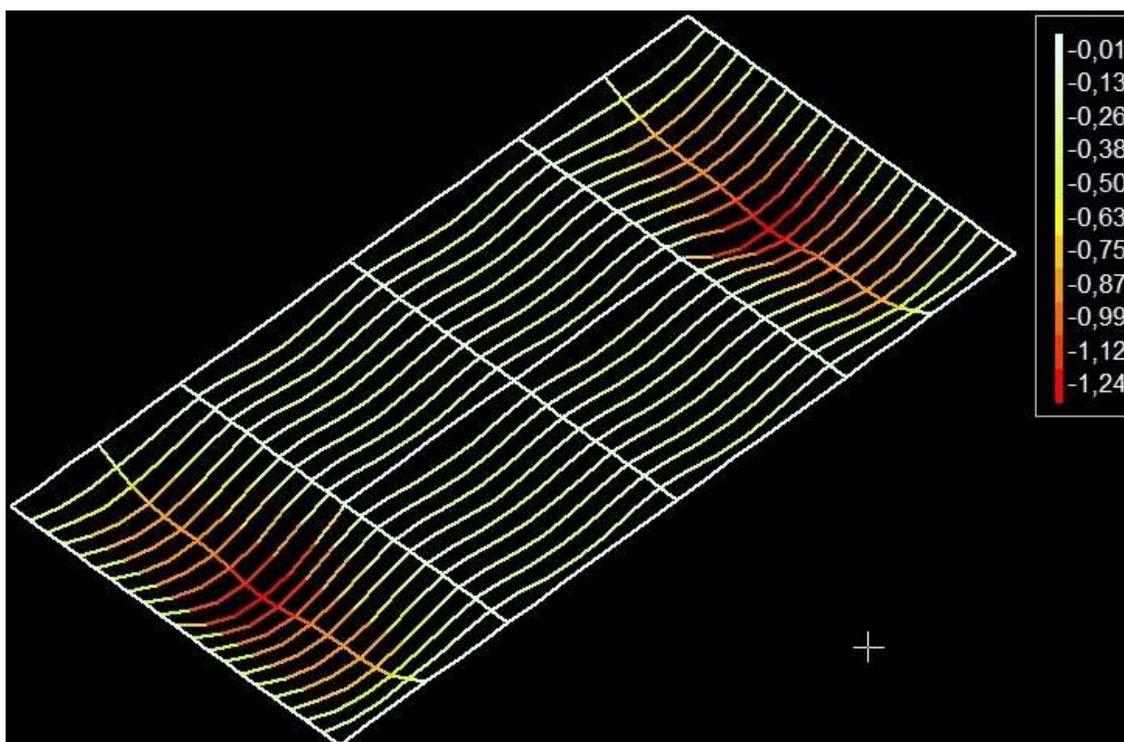
**Figura 19** - Modelo 10x20m com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



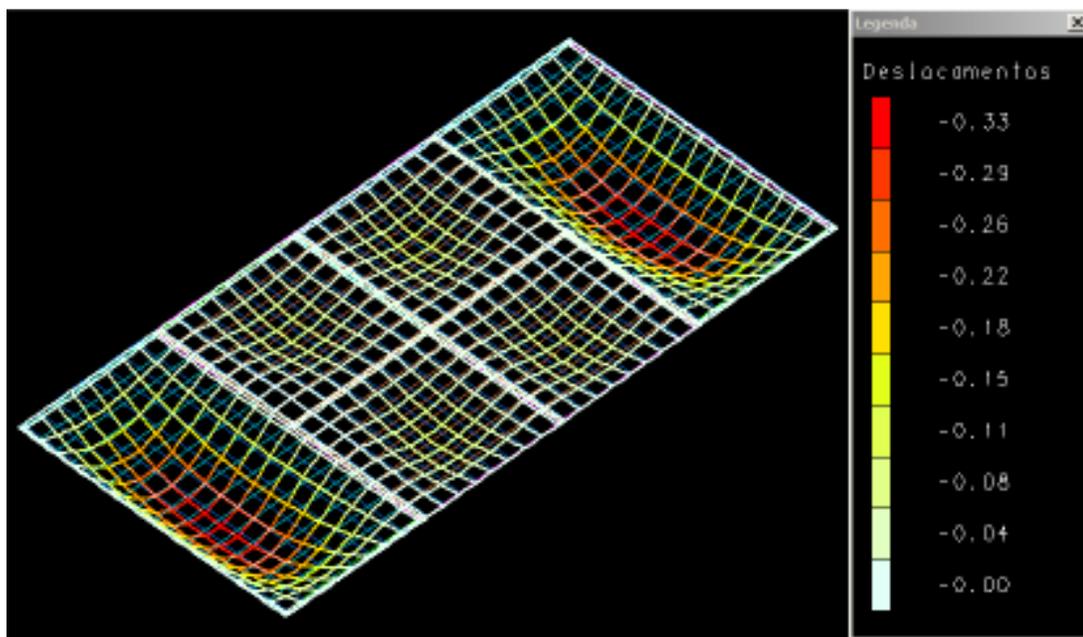
**Figura 20** - Modelo 10x20m com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



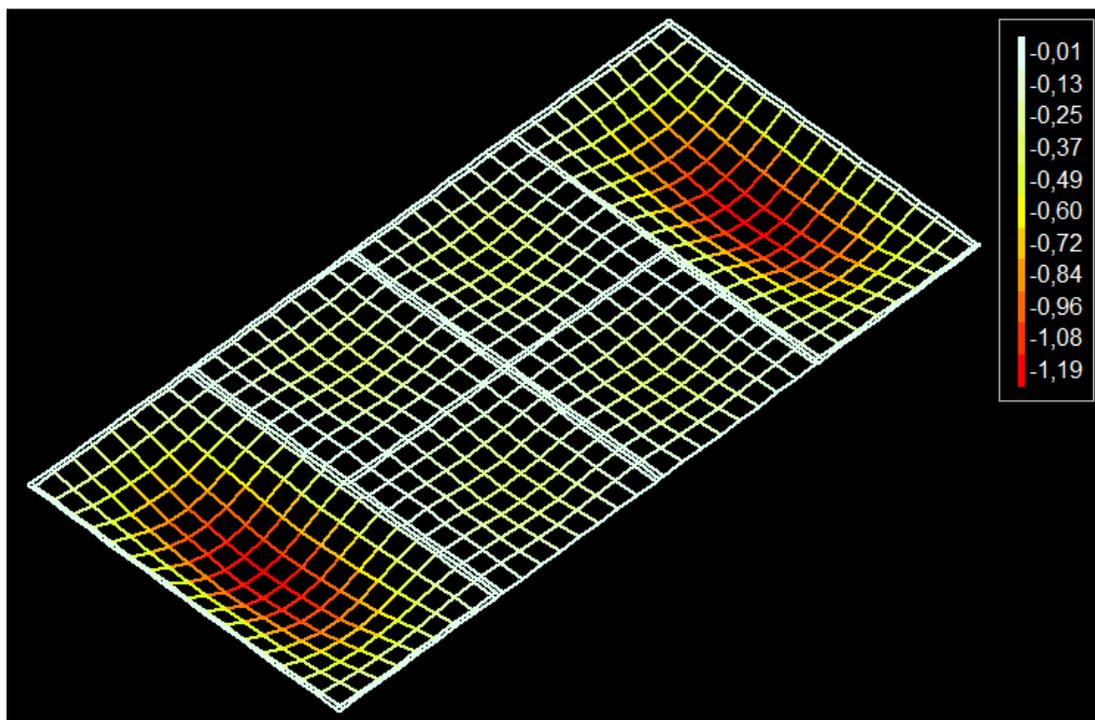
**Figura 21** - Modelo 10x20m com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



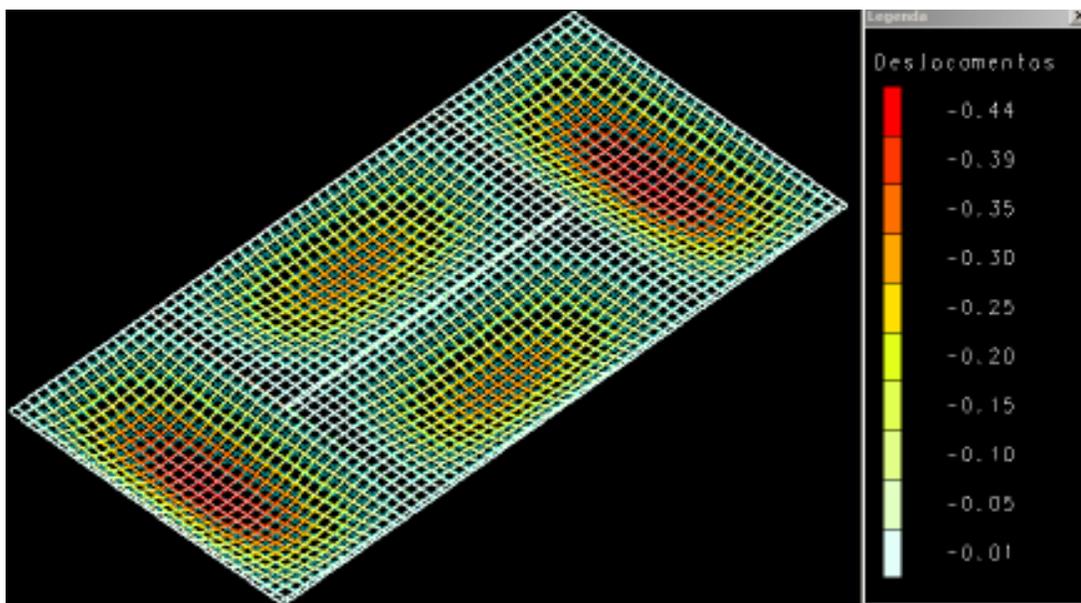
**Figura 22** - Modelo 10x20m com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



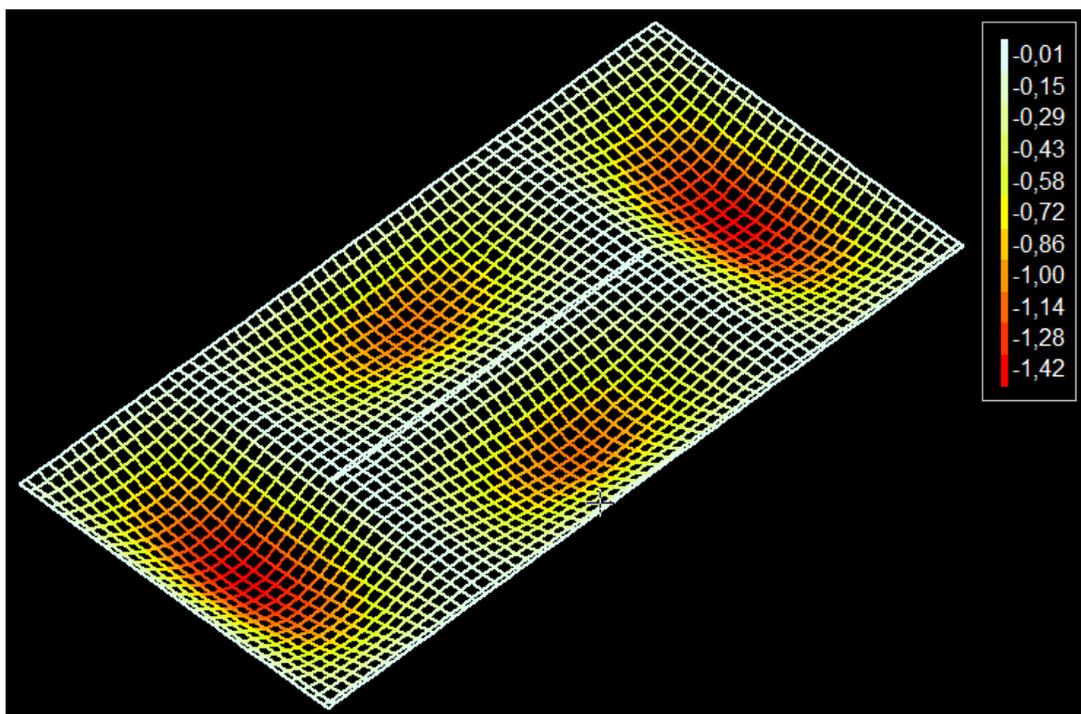
**Figura 23** - Modelo 10x20m com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



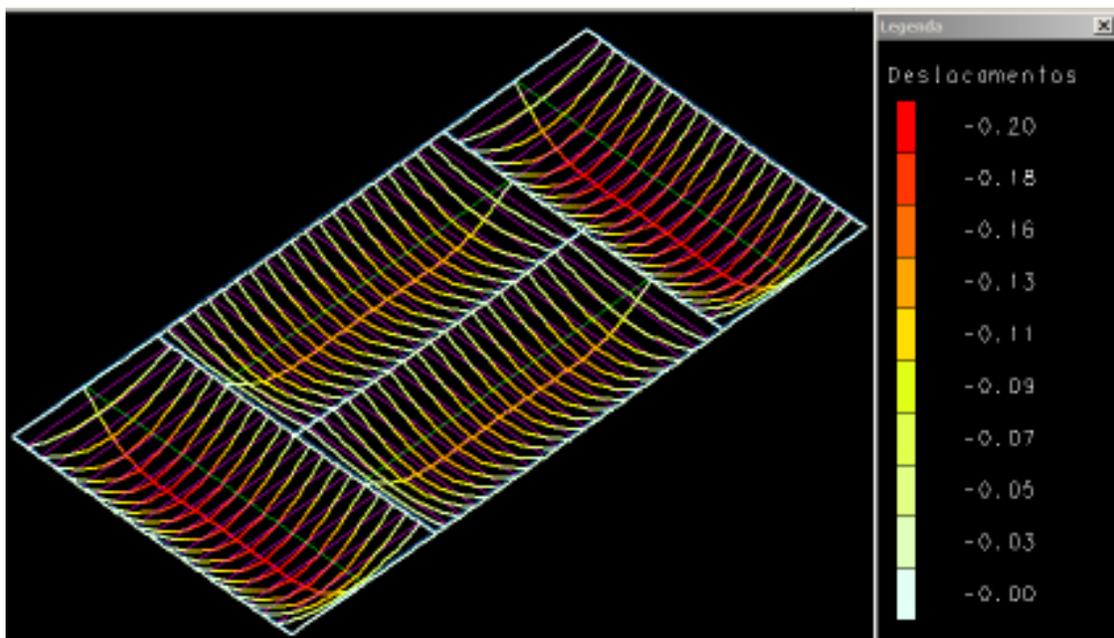
**Figura 24** - Modelo 10x20m com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



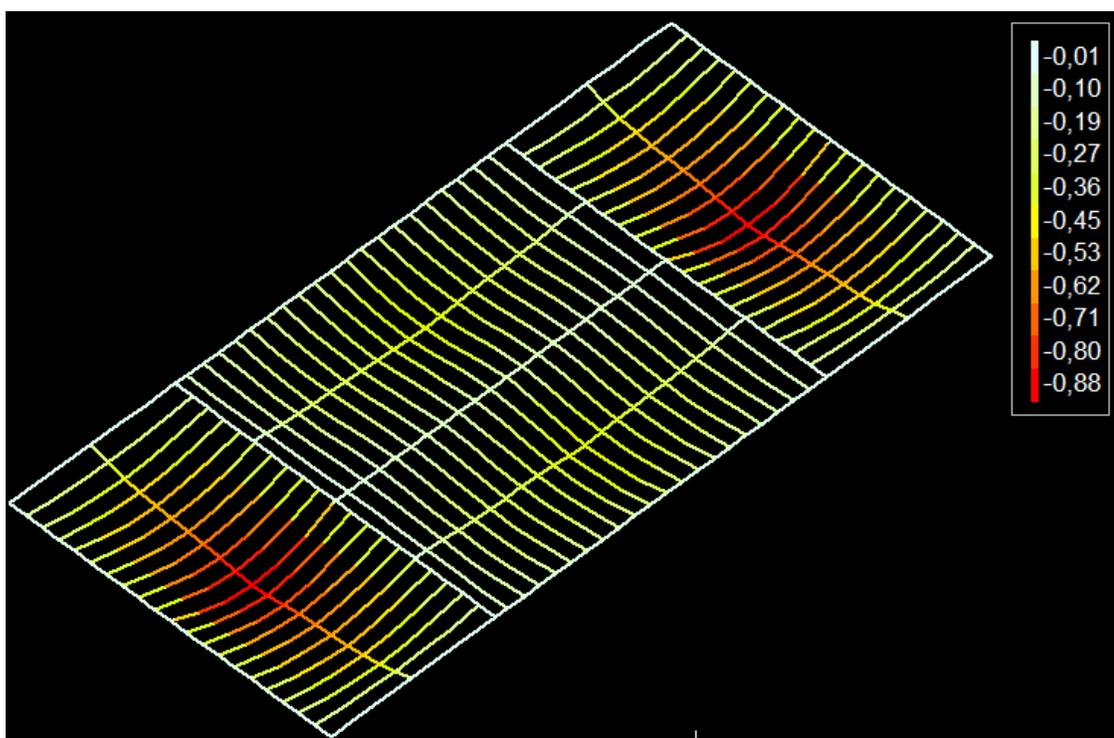
**Figura 25** - Modelo 10x20m com laje maciça e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



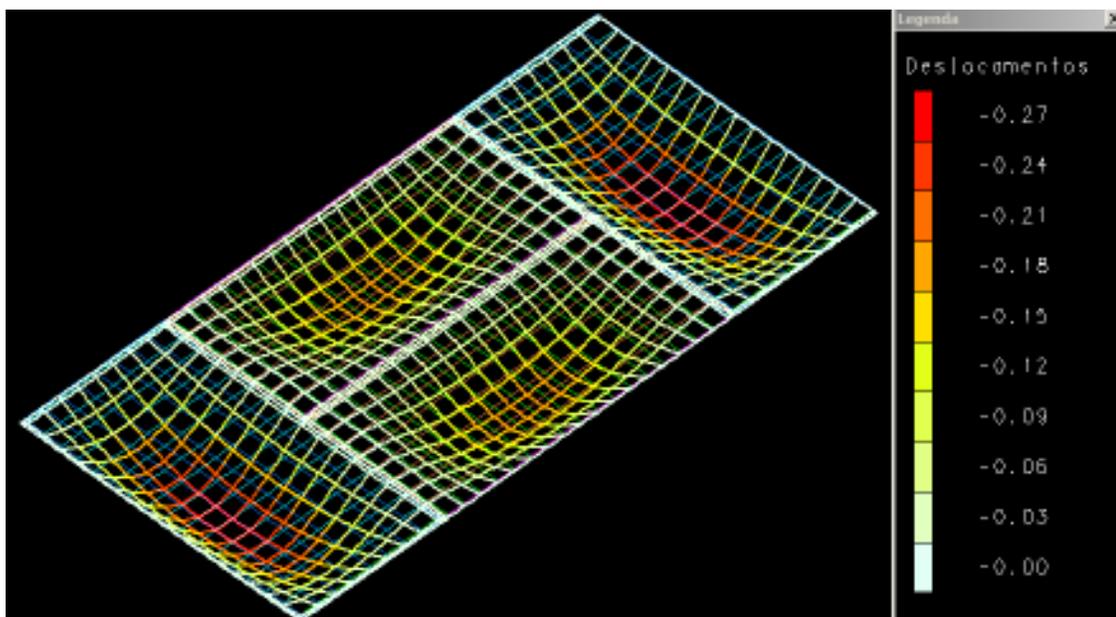
**Figura 26** - Modelo 10x20m com laje maciça e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



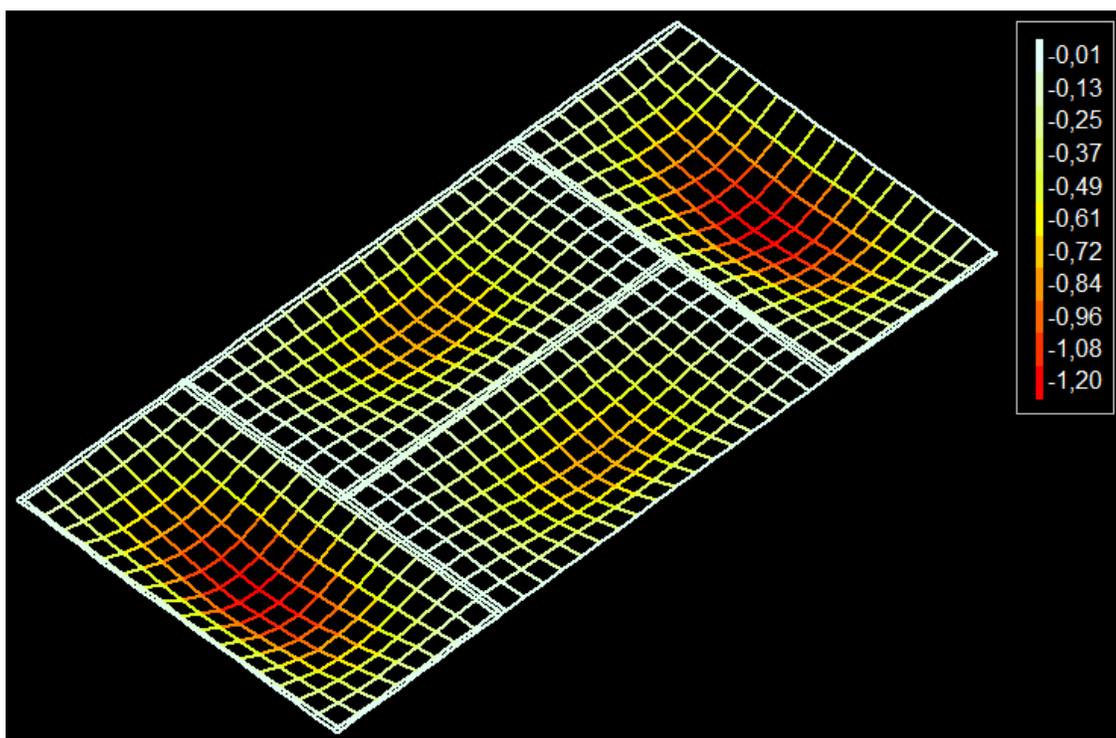
**Figura 27** - Modelo 10x20m com laje treliçada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



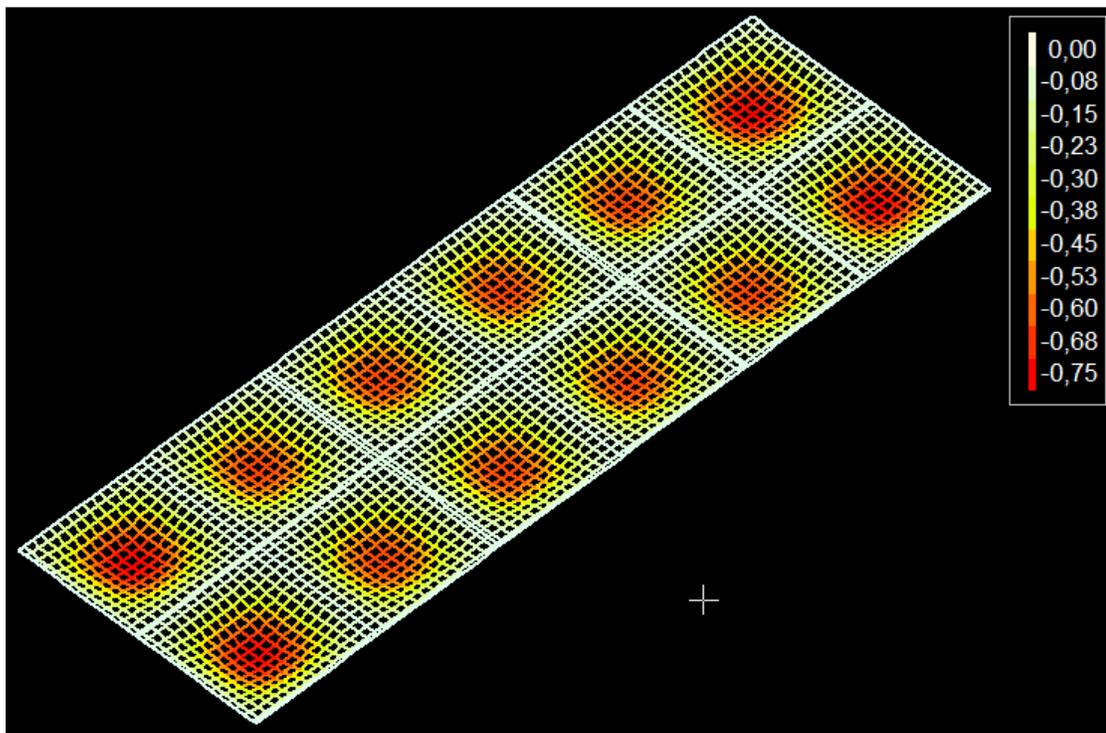
**Figura 28** - Modelo 10x20m com laje treliçada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



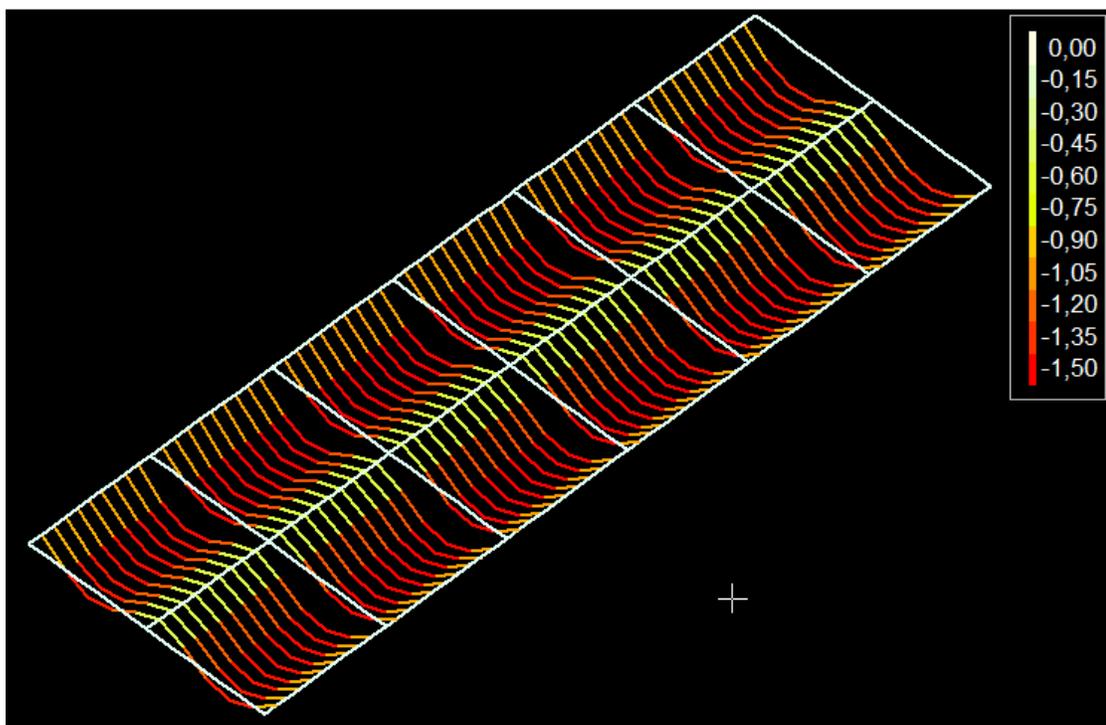
**Figura 29** - Modelo 10x20m com laje nervurada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



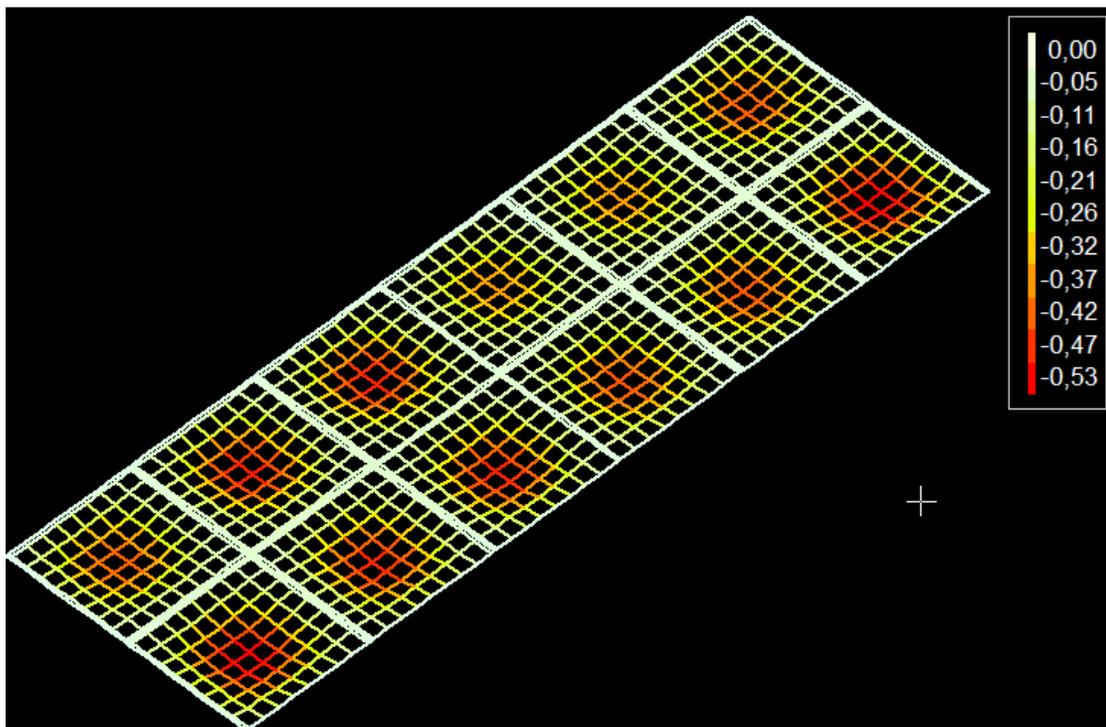
**Figura 30** - Modelo 10x20m com laje nervurada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



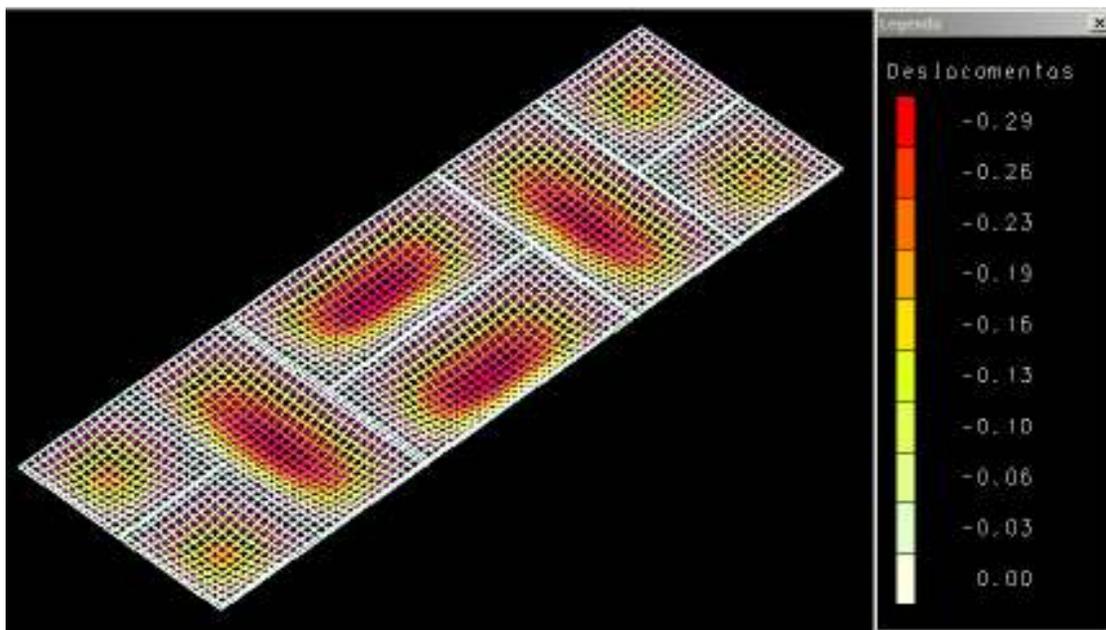
**Figura 31** - Modelo 10x30m com laje maciça e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



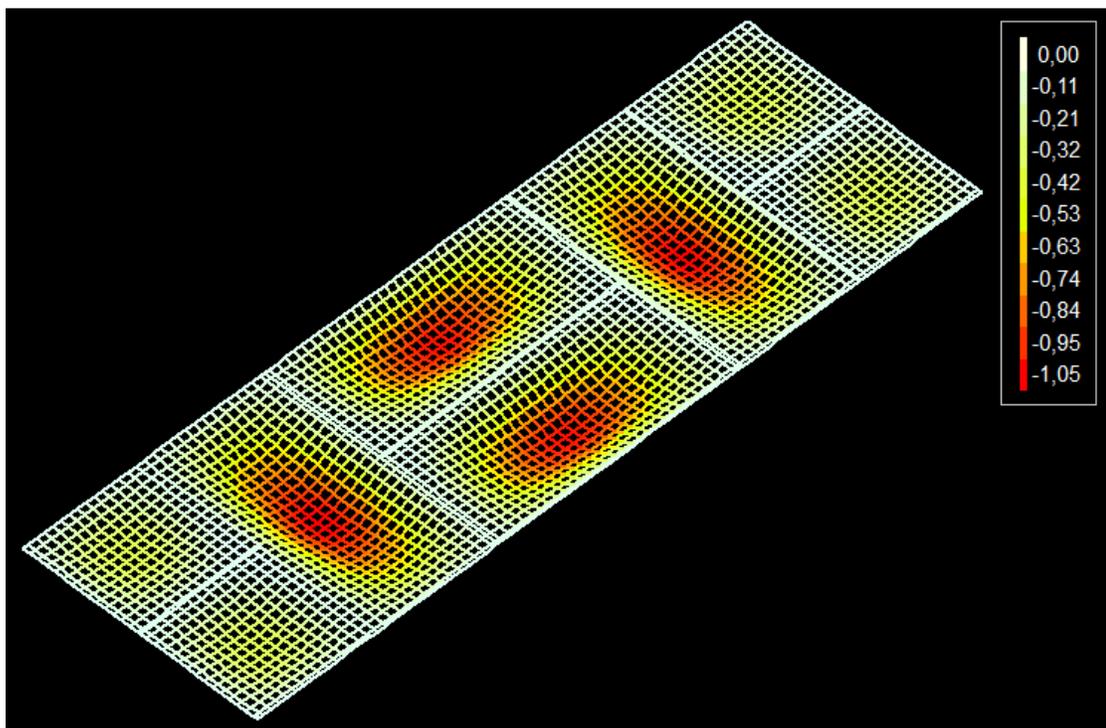
**Figura 32** - Modelo 10x30m com laje treliçada e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



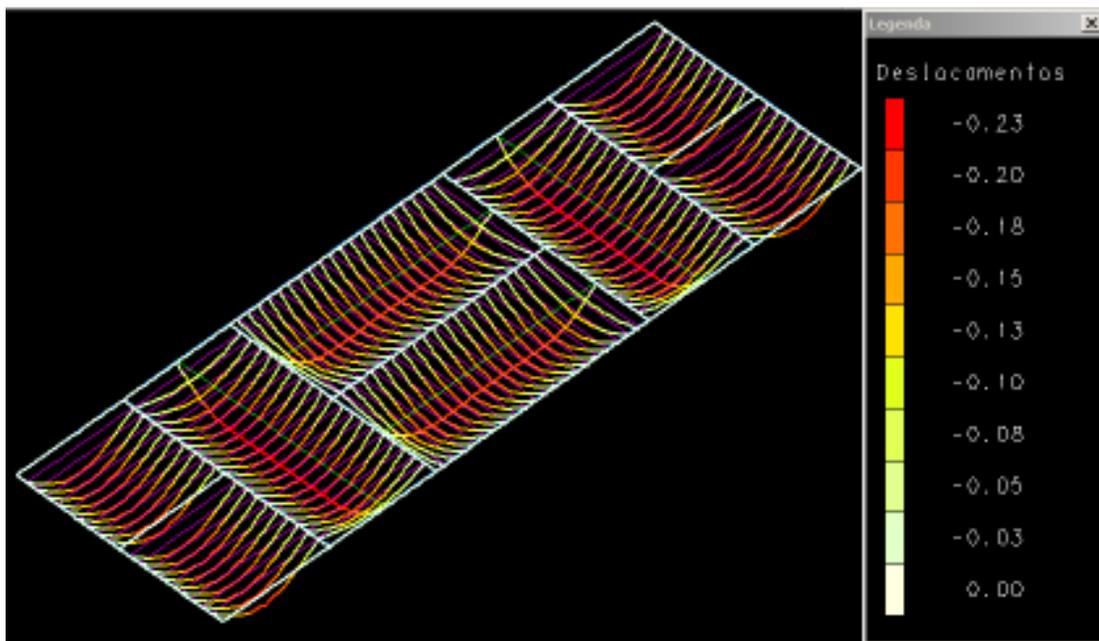
**Figura 33** - Modelo 10x30m com laje nervurada e 100% de paredes estruturais:  
Deslocamento final da laje



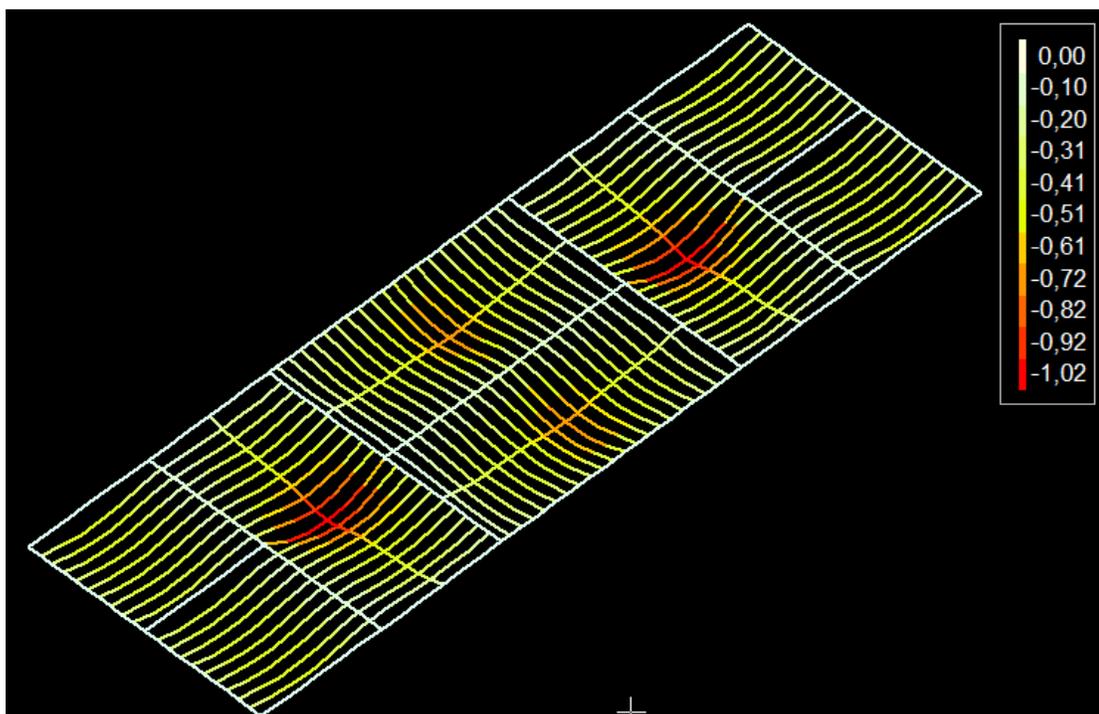
**Figura 34** - Modelo 10x30m com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



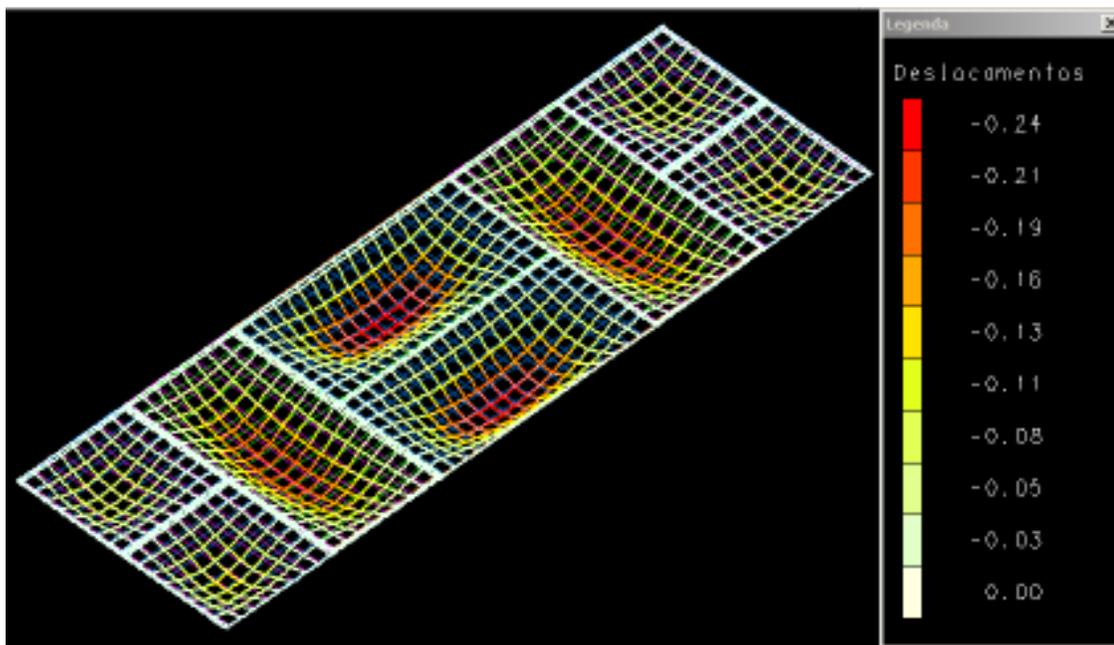
**Figura 35** - Modelo 10x30m com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



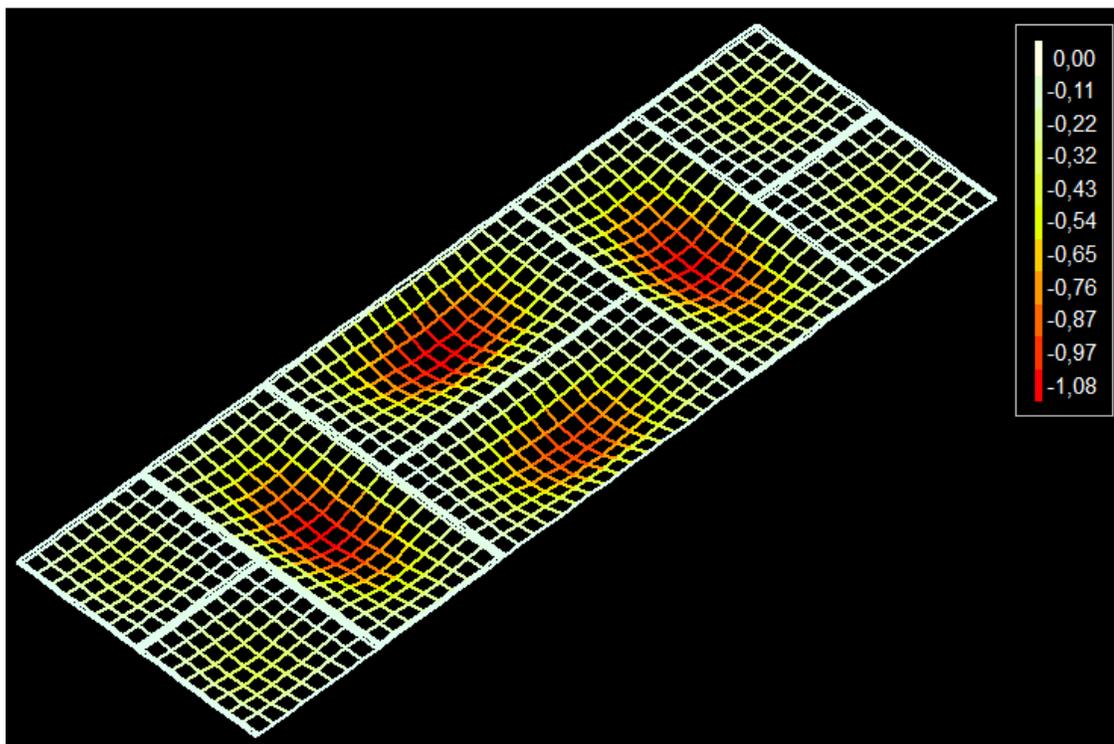
**Figura 36** - Modelo 10x30m com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



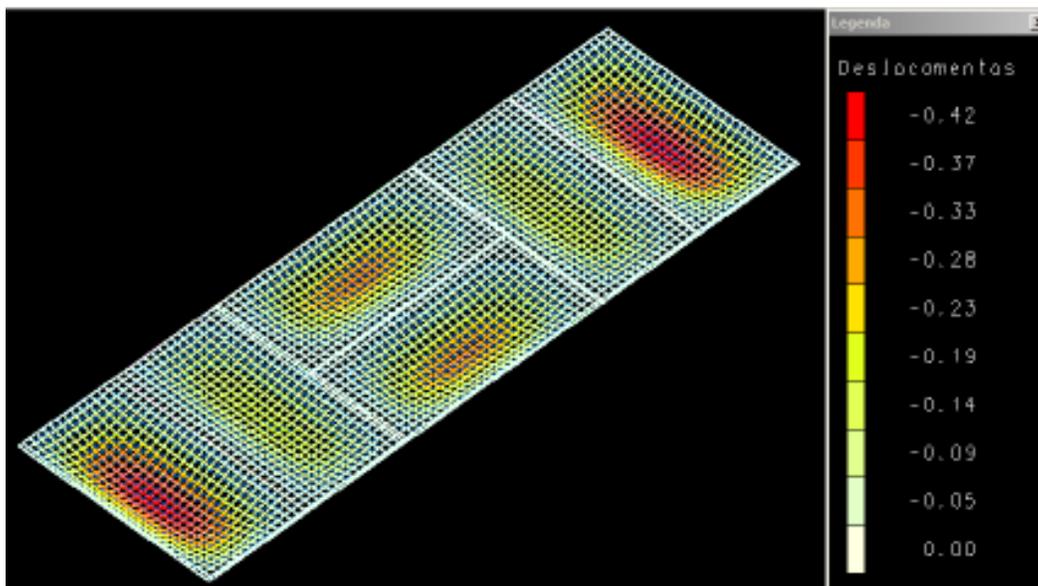
**Figura 37** - Modelo 10x30m com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



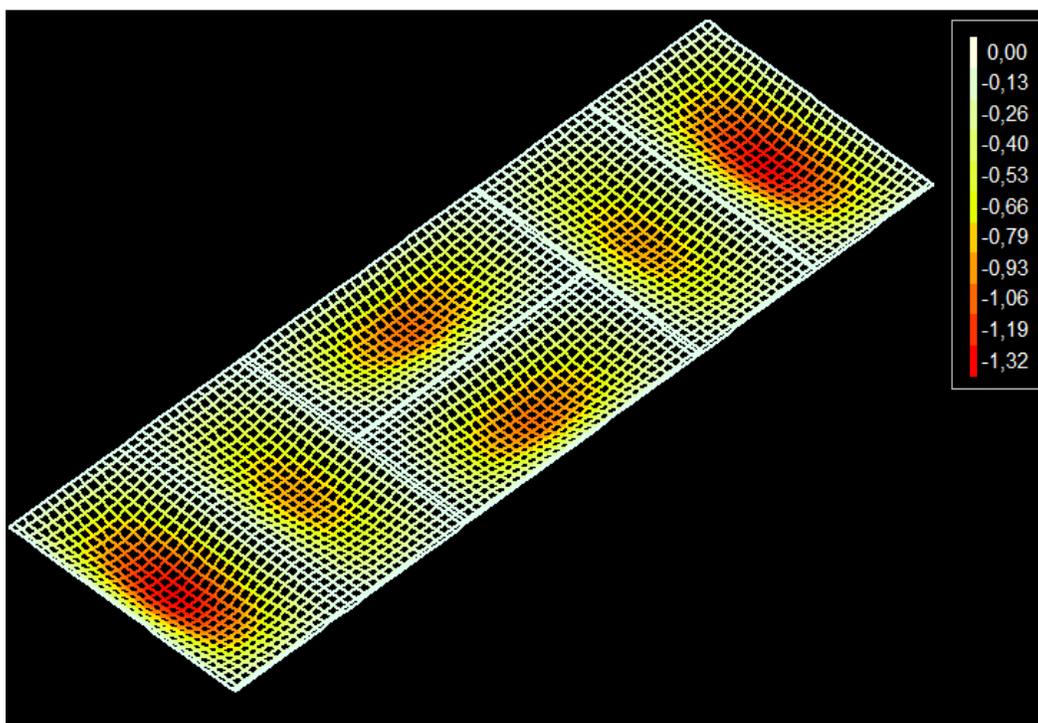
**Figura 38** - Modelo 10x30m com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



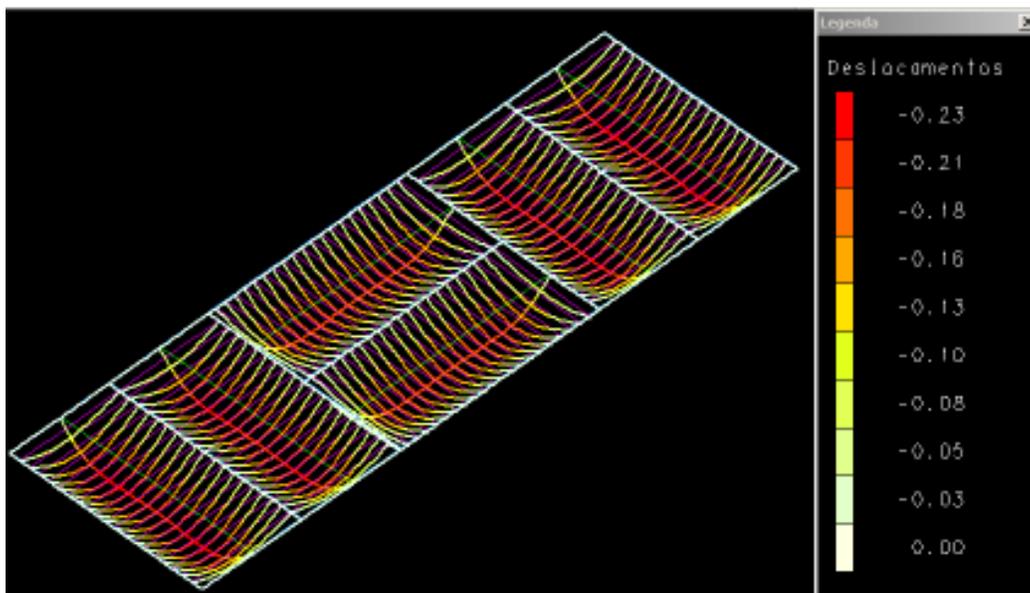
**Figura 39** - Modelo 10x30m com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



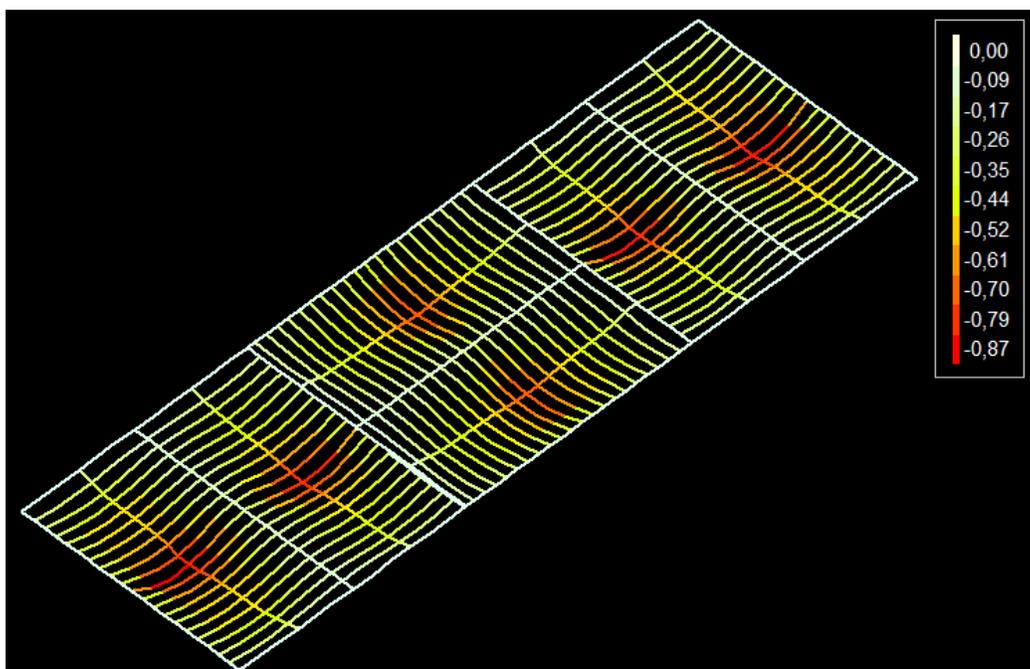
**Figura 40** - Modelo 10x30m com laje maciça e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



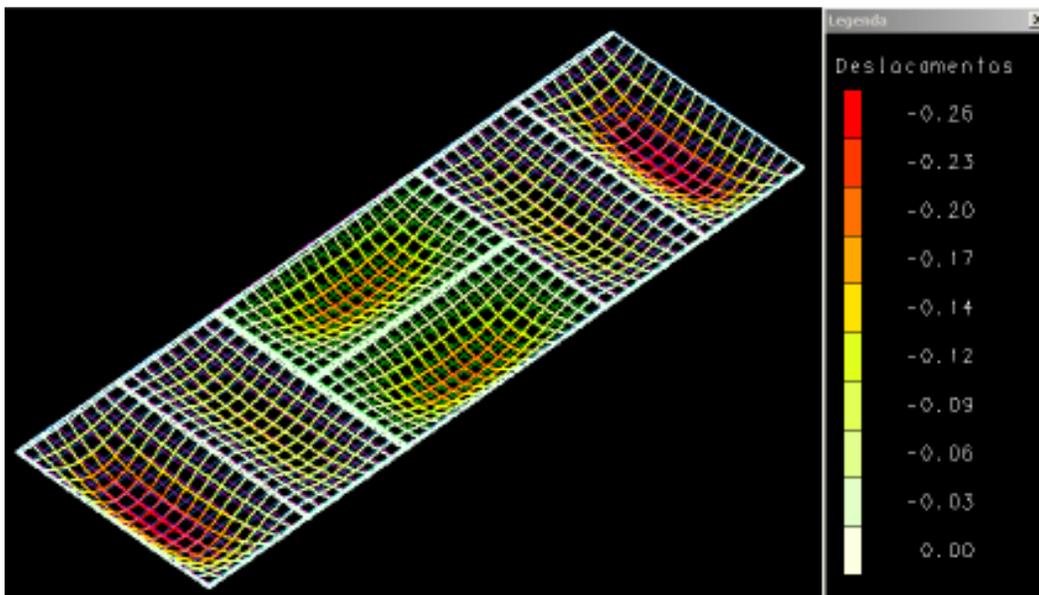
**Figura 41** - Modelo 10x30m com laje maciça e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



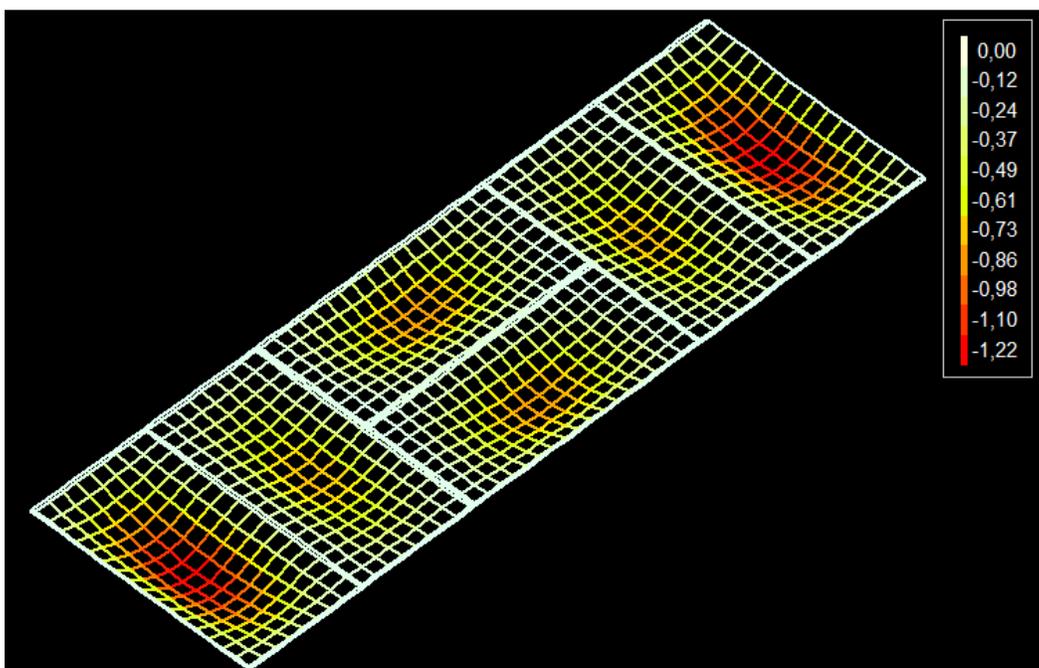
**Figura 42** - Modelo 10x30m com laje treliçada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



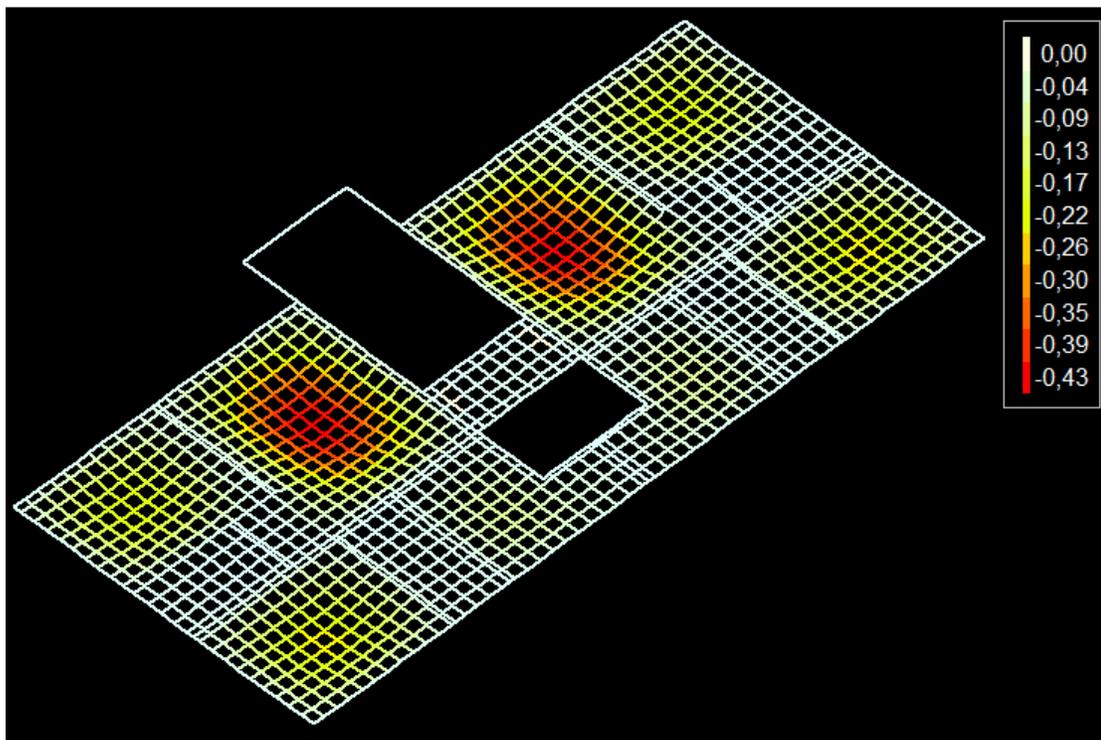
**Figura 43** - Modelo 10x30m com laje treliçada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



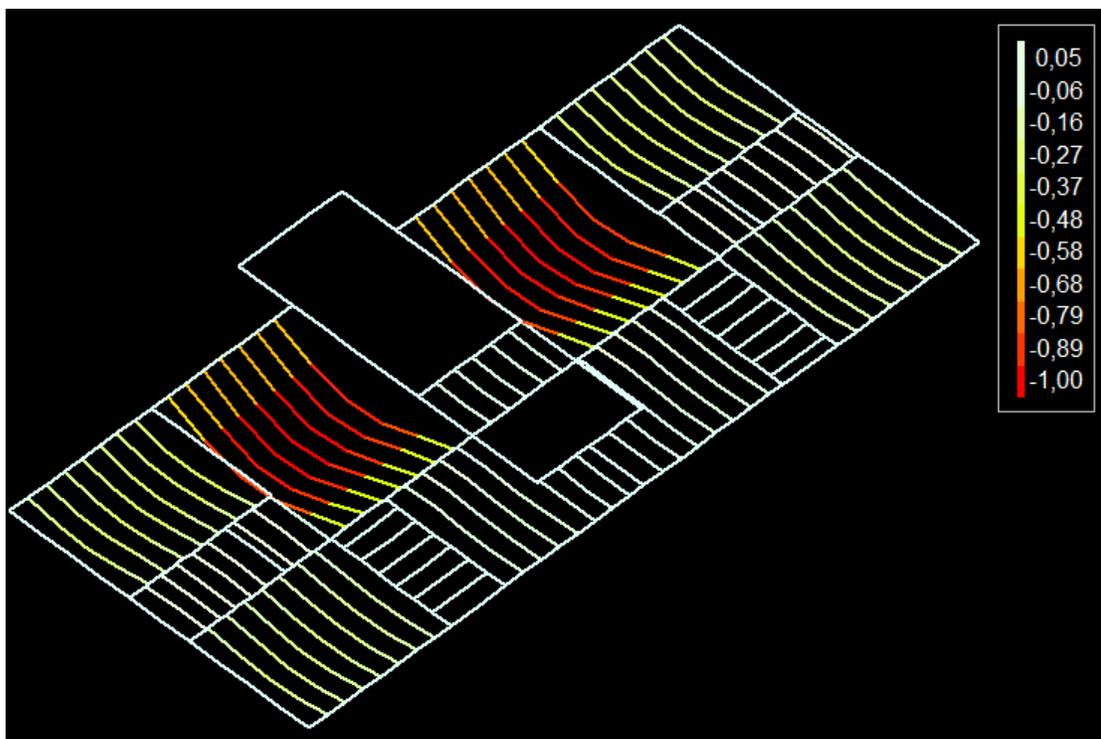
**Figura 44** - Modelo 10x30m com laje nervurada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



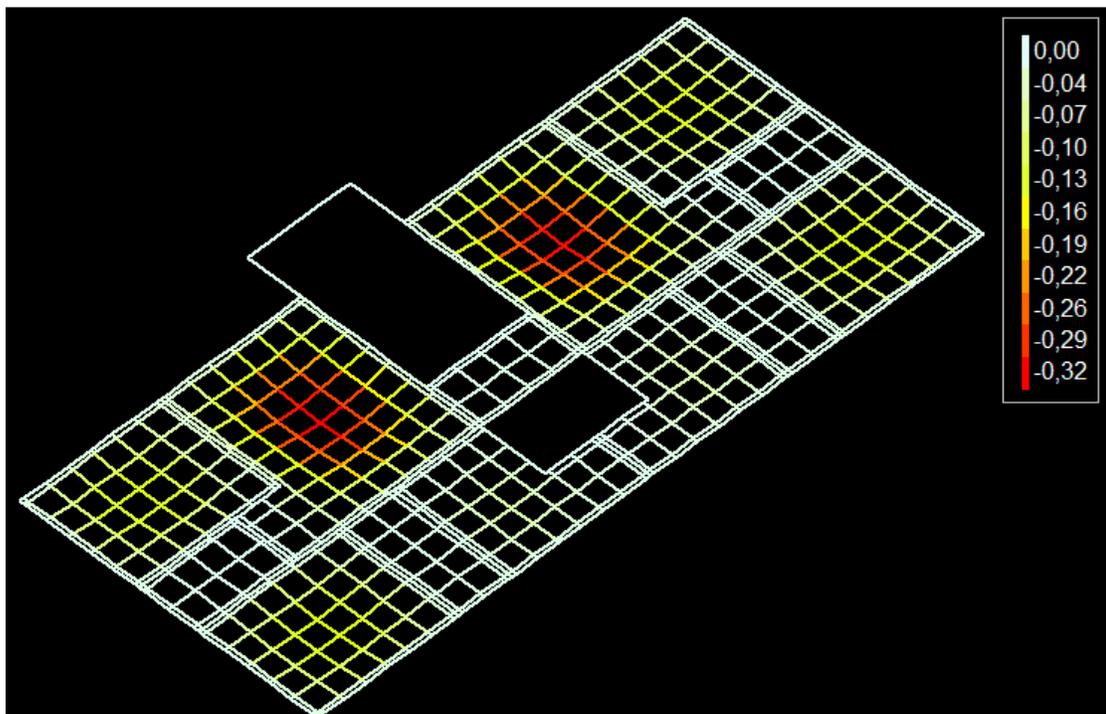
**Figura 45** - Modelo 10x30m com laje nervurada e 80% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



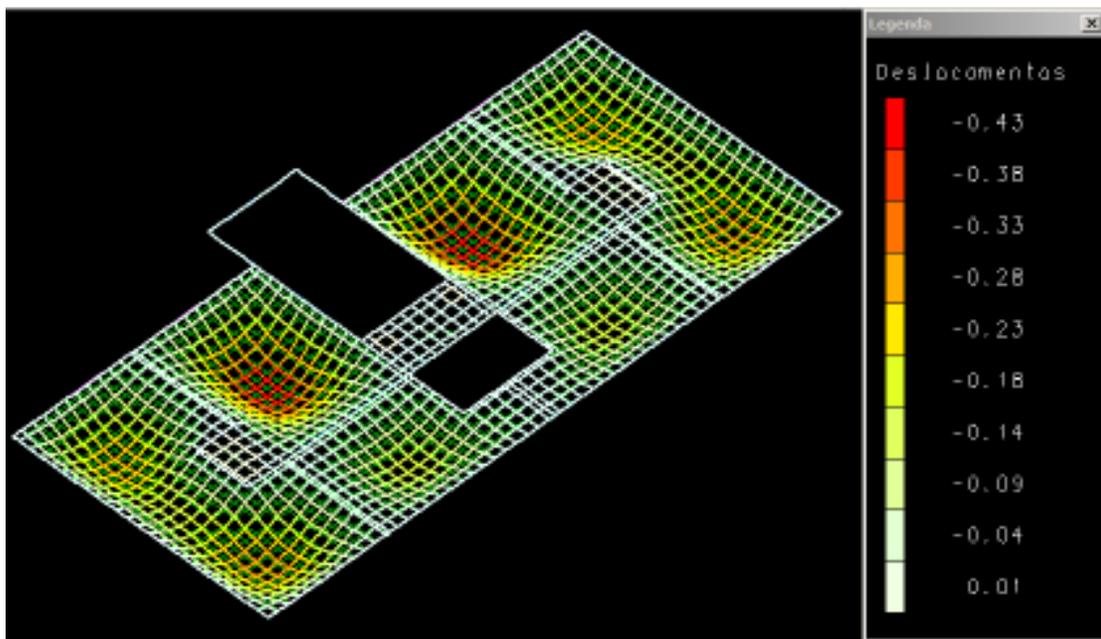
**Figura 46** - Modelo real com laje maciça e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



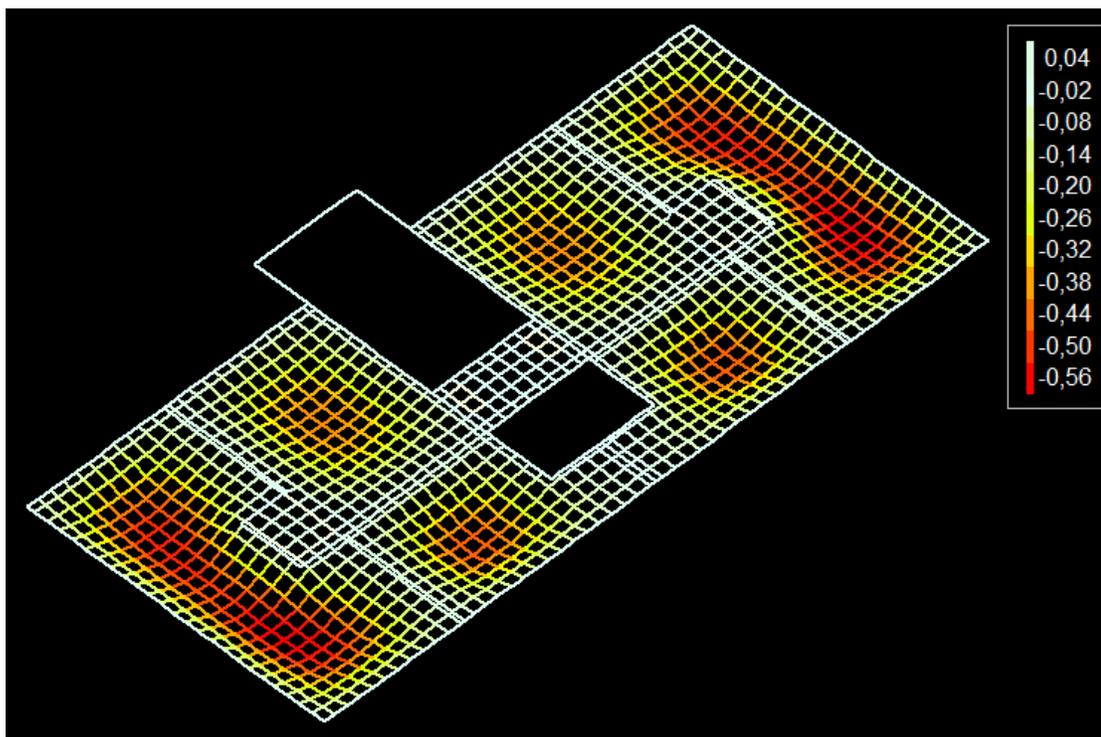
**Figura 47** - Modelo real com laje treliçada e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



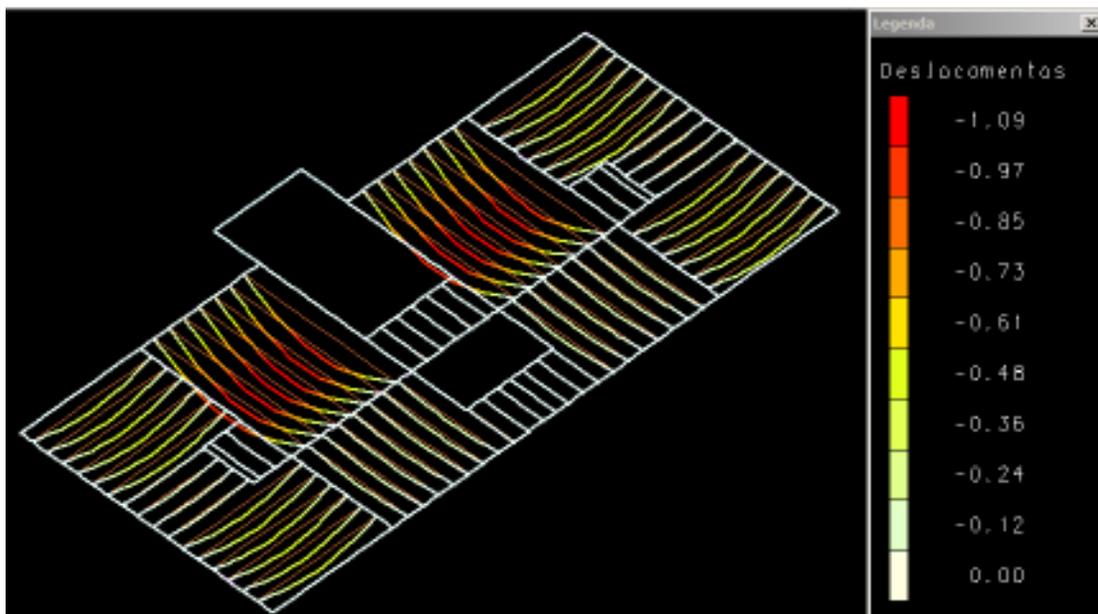
**Figura 48** - Modelo real com laje nervurada e 100% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



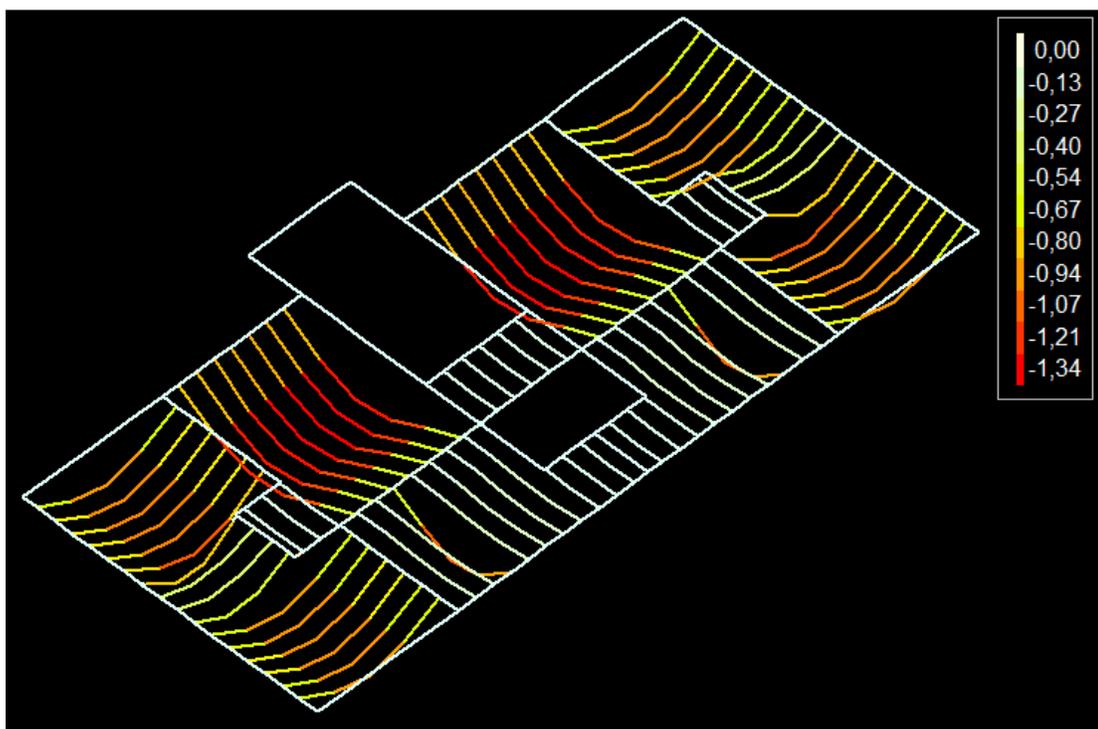
**Figura 49** - Modelo real com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



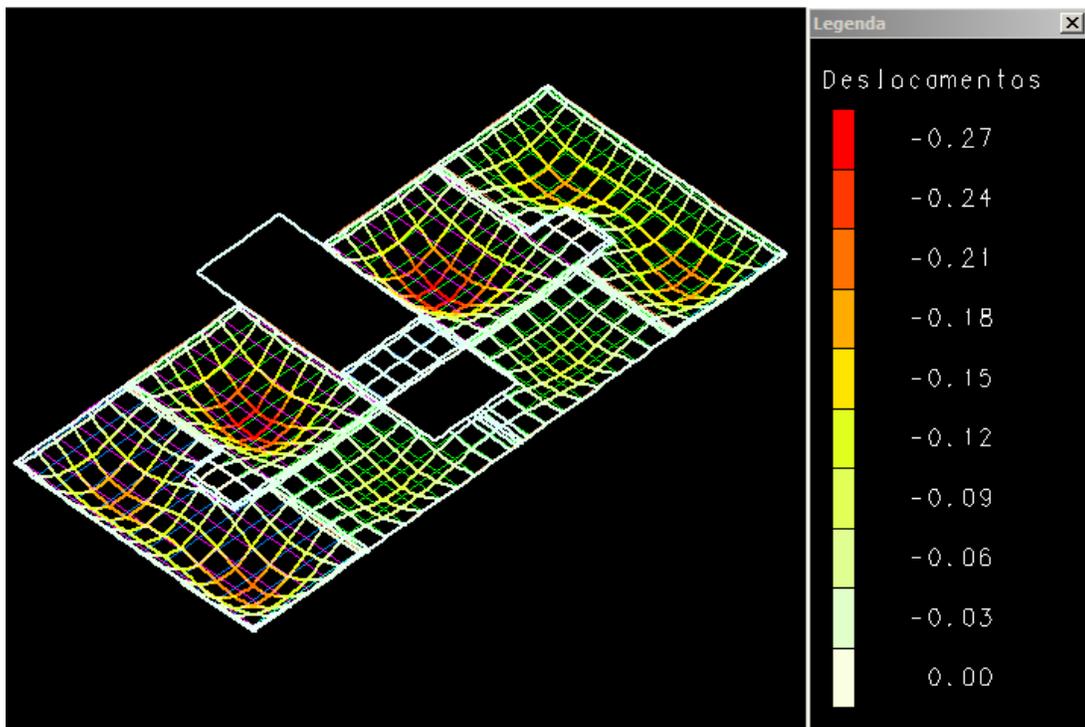
**Figura 50** - Modelo real com laje maciça e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



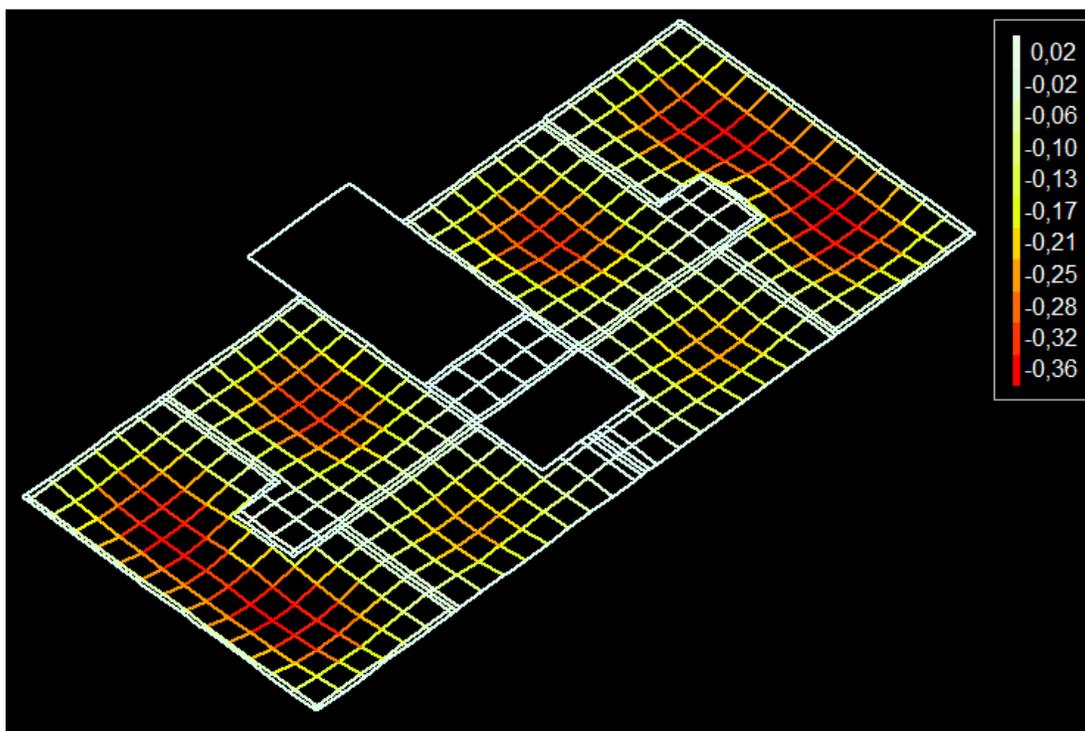
**Figura 51** - Modelo real com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



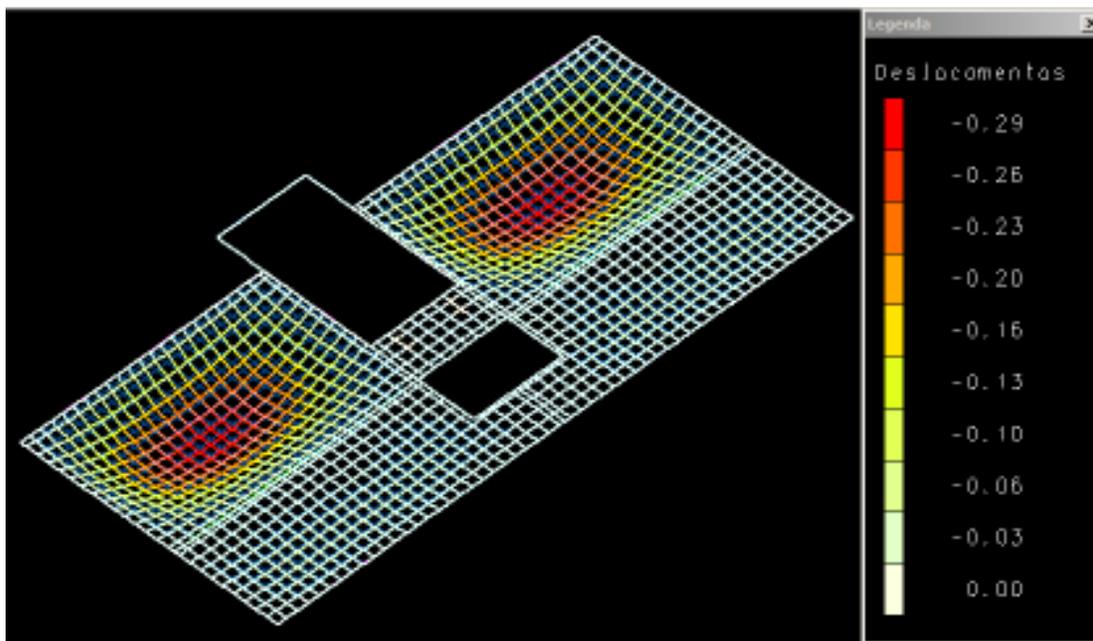
**Figura 52** - Modelo real com laje treliçada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



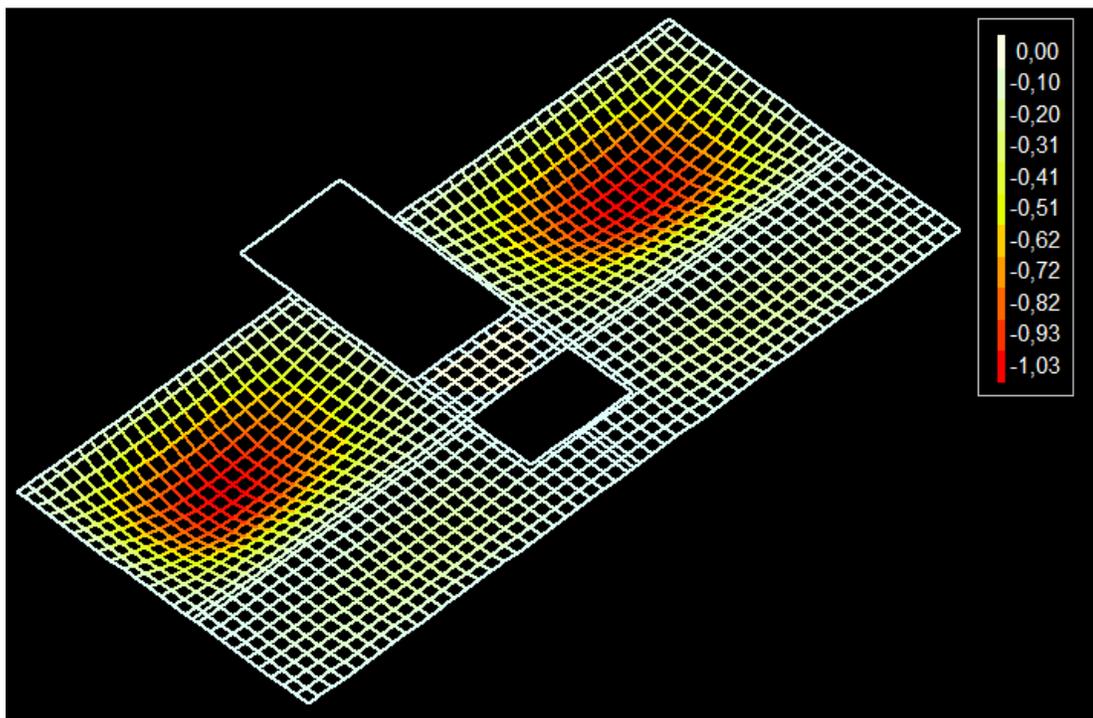
**Figura 53** - Modelo real com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



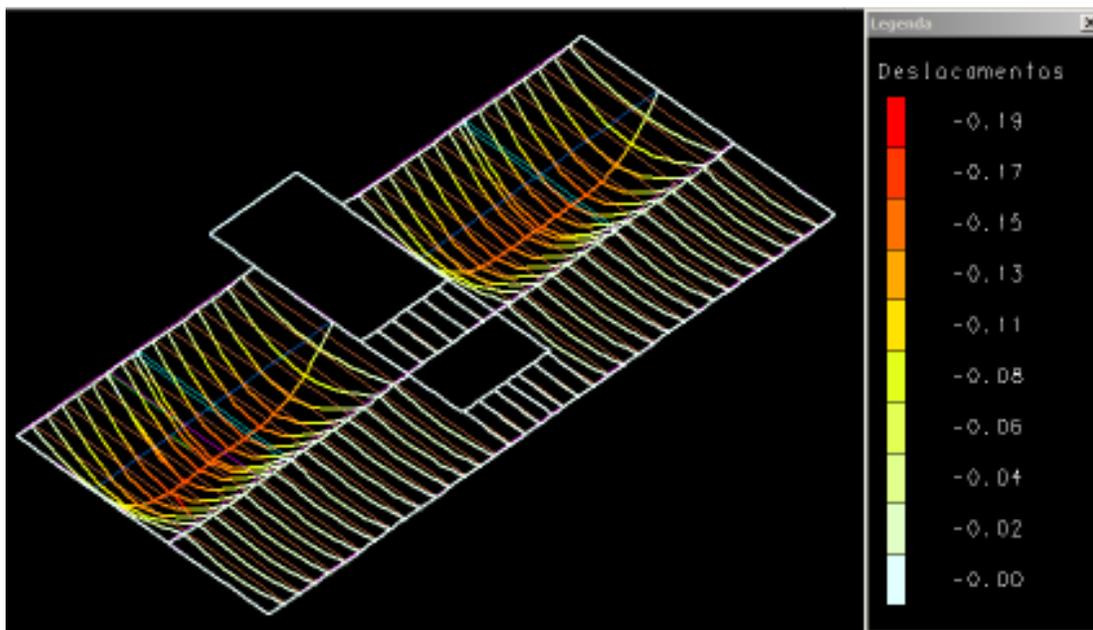
**Figura 54** - Modelo real com laje nervurada e 90% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



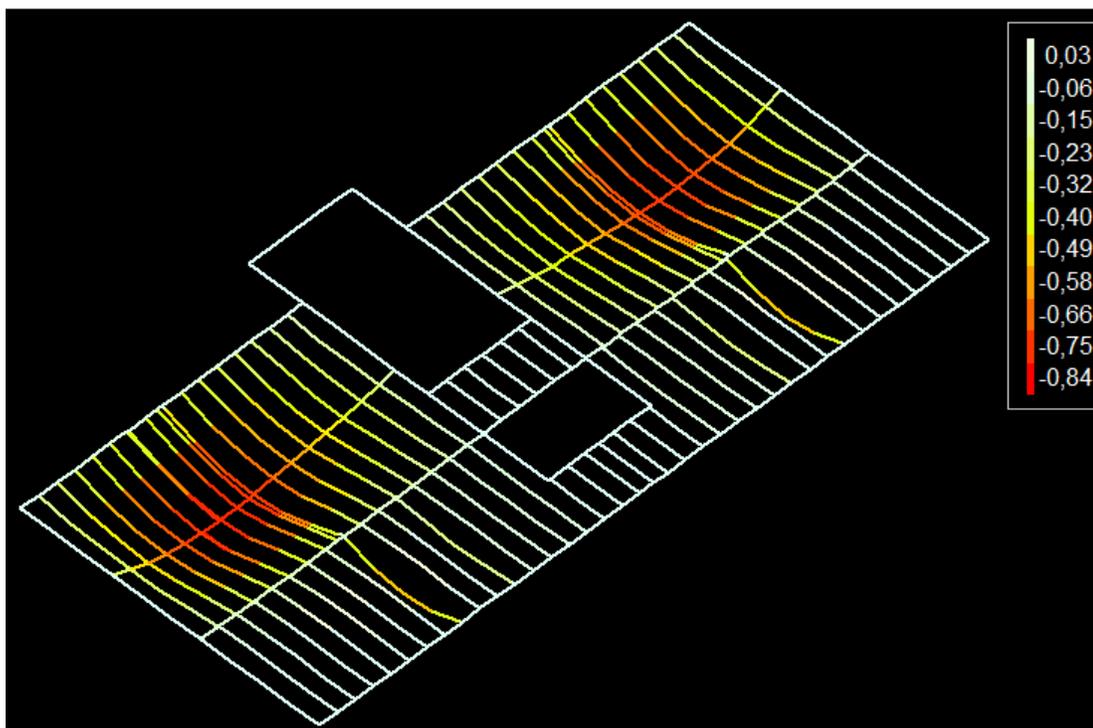
**Figura 55** - Modelo real com laje maciça e 75% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



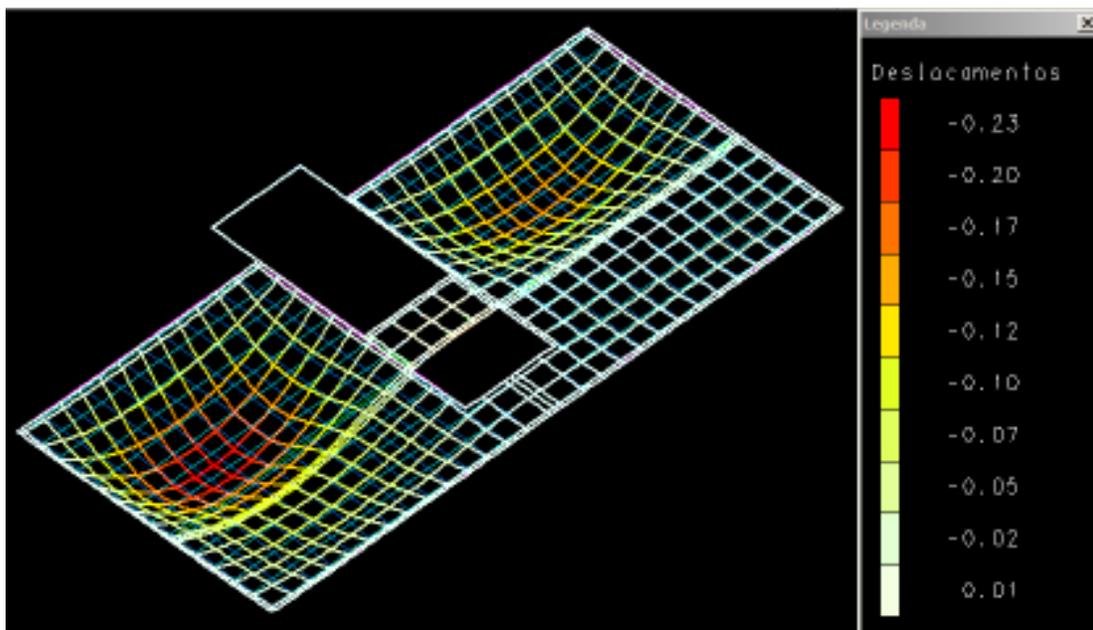
**Figura 56** - Modelo real com laje maciça e 75% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



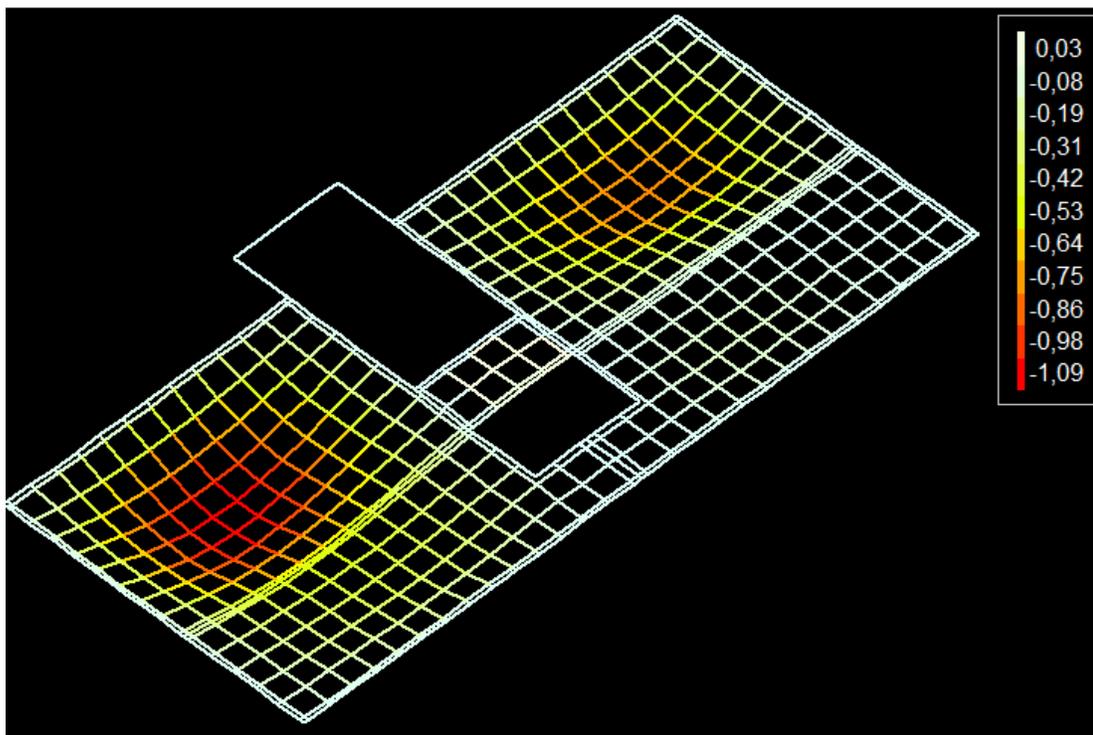
**Figura 57** - Modelo real com laje treliçada e 75% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



**Figura 58** - Modelo real com laje treliçada e 75% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje



**Figura 59** - Modelo real com laje nervurada e 75% de paredes estruturais: Deslocamento inicial da laje



**Figura 60** - Modelo real com laje nervurada e 75% de paredes estruturais: Deslocamento final da laje