

LUIZ CARLOS GIROLDO

**EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PISOS: ANÁLISE COMPARATIVA DE
CUSTOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS EM CONCRETO PARA O PAVIMENTO
TIPO.**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio
Marino

CURITIBA

2007

TERMO DE APROVAÇÃO

LUIZ CARLOS GIROLDO

EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE MÚLTIPLOS PISOS: ANÁLISE COMPARATIVA DE
CUSTOS DE SISTEMAS ESTRUTURAIS EM CONCRETO PARA O PAVIMENTO
TIPO.

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Marino
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFPR

Examinadores: Prof. Dr. Mauro Lacerda Santos Filho
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - UFPR

Prof. Dr. Roberto Dalledone Machado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica -
PUC-PR

Wilson Picheth Gheur
Prof. engenheiro civil - UFPR

Curitiba, 05 de abril de 2007

DEDICATÓRIA

A Deus e a minha família

AGRADECIMENTO

Ao Professor Marcos Antonio Marino pela orientação e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, colegas e funcionários do curso do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

Aos professores Antonio Stramandinoli Jr e Mauro Tetsuo Kawai, colegas do Departamento de Construção Civil da UFPR, pelo incentivo na realização dessa empreitada.

Aos engenheiros e funcionários da empresa Kalkulo Projetos Estruturais Ltda, pela ajuda nos detalhamentos e desenhos dos projetos analisados neste trabalho.

Ao amigo e colega de turma Paulo V. Guimarães Jr, pela presteza e dedicação que contribuiu para essa minha realização.

Aos amigos e colegas de turma Roberto Stramandinoli e Izan Gomes de Lacerda, pela ajuda na pesquisa e no artigo publicado.

Ao amigo engenheiro Miguel Murad, pela colaboração nos orçamentos dos sistemas estruturais objeto deste trabalho.

Ao amigo engenheiro Luis Aurélio Fortes da Silva da empresa TQS Informática Ltda, pelo auxílio nos cálculos das lajes pretendidas.

A professora Aparecida Nicoletti Gilioli, pela verificação e correção gramatical dos textos.

E finalmente, a minha querida esposa Suely e aos meus filhos Fernanda, Flávia e Giancarlo pelo amor, paciência, dedicação, compreensão e incentivo.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONCEITUANDO PROJETO DE EDIFÍCIOS	15
1.2 PROBLEMA DA PESQUISA	18
1.3 OBJETIVO DA PESQUISA	18
1.4 HIPÓTESE DA PESQUISA	18
1.5 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA	19
1.5.1 Ambiental	19
1.5.2 Econômica	20
1.5.3 Social	20
1.5.4 Tecnológica	21
1.6 MÉTODO DE PESQUISA	21
1.6.1 Outros métodos de pesquisas	22
1.6.2 Unidade de análise	22
1.6.3 Limitações da pesquisa	23
1.7 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	23
1.7.1 Protocolo de coleta de dados	24
1.7.2 Estratégia de validação interna e externa	25
1.8 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	27
2.1 INTRODUÇÃO	27
2.2 ANÁLISE DE CUSTOS DAS ESTRUTURAS	29
2.3 MATERIAIS QUE SERÃO USADOS NAS LAJES DOS MODELOS	45
2.3.1 Formas plásticas (moldes plásticos)	45
2.3.2 O EPS – poliestireno expandido	46
2.4 ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO	47
2.5 DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ESTRUTURAL	48
2.5.1 Concepção estrutural	48

2.5.1.1	Recomendações de alguns parâmetros para os elementos estruturais	48
2.5.2	Desenvolvimento do projeto estrutural	49
2.5.2.1	Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.....	49
2.5.2.2	Qualidade e durabilidade	50
2.5.2.3	Dimensões limites.....	52
2.5.2.4	Deslocamentos limites	53
3	METODOLOGIA.....	55
3.1	INTRODUÇÃO.....	55
3.2	O SOFTWARE CAD/TQS E AS AÇÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO ESTRUTURAL DOS MODELOS	56
3.2.1	O software CAD/TQS	56
3.2.2	Ações utilizadas - carregamentos.....	57
4	APRESENTAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO E DO PROJETO ESTRUTURAL	58
4.1	INTRODUÇÃO.....	58
4.2	PROJETO ARQUITETÔNICO	58
4.2.1	Pavimento térreo	59
4.2.2	Primeiro pavimento	60
4.2.3	Pavimento tipo	61
4.2.4	Pavimento de cobertura do tipo e casa de máquinas	62
4.2.5	Pavimento de cobertura da casa de máquinas, barrilete, caixa d`água e corte esquemático do edifício	63
4.3	PROJETO ESTRUTURAL.....	64
4.3.1	Modelo 01 – sistema estrutural convencional com laje maciça	64
4.3.1.1	Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 01	65
4.3.1.2	Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 01	66
4.3.1.3	Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 01.....	67
4.3.1.4	Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 01	68
4.3.1.5	Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d`água e corte esquemático do edifício do modelo 01	69
4.3.2	Modelo 02 – sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto	70
4.3.2.1	Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 02	72

4.3.2.2	Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 02	73
4.3.2.3	Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 02.....	74
4.3.2.4	Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 02	75
4.3.2.5	Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d` água e corte esquemático do edifíciodo modelo 02.....	76
4.3.3	Modelo 03 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas	77
4.3.3.1	Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 03	78
4.3.3.2	Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 03	79
4.3.3.3	Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 03.....	80
4.3.3.4	Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 03	81
4.3.3.5	Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d` água e corte esquemático do edifíciodo modelo 03.....	81
4.3.4	Modelo 04 - sistema estrutural com laje nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido - isopor).....	82
4.3.4.1	Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 04	83
4.3.4.2	Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 04	84
4.3.4.3	Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 04.....	85
4.3.4.4	Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 04	86
4.3.4.5	Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d` água e corte esquemático do edifíciodo modelo 04.....	86
4.3.5	Modelo 05 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas	87
4.3.5.1	Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 05	88
4.3.5.2	Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 05	89
4.3.5.3	Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 05.....	90
4.3.5.4	Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 05	91
4.3.5.5	Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d` água e corte esquemático do edifíciodo modelo 05.....	91
4.3.6	Modelo 06 - sistema estrutural com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada)	92
4.3.6.1	Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 06	94
4.3.6.2	Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 06	95

4.3.6.3	Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 06.....	96
4.3.6.4	Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 06	97
4.3.6.5	Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d` água e corte esquemático do edifíci do modelo 04.....	97
4.4	RESUMOS QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS APLICADOS DOS MODELOS	98
4.4.1	Modelo 01	98
4.4.2	Modelo 02.....	98
4.4.3	Modelo 03.....	99
4.4.4	Modelo 04.....	99
4.4.5	Modelo 05.....	100
4.4.6	Modelo 06.....	100
5	ANÁLISE DE CUSTOS DOS MODELOS	101
5.1	CONSUMO DE MATERIAIS E ÍNDICES.....	101
5.1.1	Consumo de materiais e índices dos modelos	101
5.1.1.1	Consumos de concreto, aço e formas dos modelos	103
5.2	ANÁLISE DE CUSTOS.....	105
5.2.1	Custo global e prazo de execução do modelo 01	106
5.2.2	Custo global e prazo de execução do modelo 02	107
5.2.3	Custo global e prazo de execução do modelo 03	107
5.2.4	Custo global e prazo de execução do modelo 04	108
5.2.5	Custo global e prazo de execução do modelo 05	108
5.2.6	Custo global e prazo de execução do modelo 06	109
5.3	COMPARATIVO DO CUSTO DOS MODELOS.....	109
5.4	COMPARATIVO DO CUSTO DOS MODELOS COM O CUSTO DA EDIFICAÇÃO.....	110
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	112
6.1	CONCLUSÕES.....	112
6.2	SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS FUTUROS ...	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - POSSIBILIDADE DE INTERVENÇÃO NO EMPREENDIMENTO E OS CUSTOS ACUMULADOS AO LONGO DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO	16
FIGURA 2 - DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	23
FIGURA 3 - GRÁFICO DO COMPARATIVO ENTRE AS LAJES	37
FIGURA 4 - ANÁLISE DE CUSTO	39
FIGURA 5 - DETALHE DAS LAJES COM USO DE FORMAS PLÁSTICAS	46
FIGURA 6 - PLANTAS DAS LAJES E SEÇÃO TRANSVERSAL GENÉRICA	46
FIGURA 7 - SEÇÃO TRANSVERSAL DA LAJE COM EPS	46
FIGURA 8 - MONTAGEM DE UMA LAJE COM MONOCORDOALHAS	47
FIGURA 9 - ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO TÉRREO	59
FIGURA 10 - ARQUITETÔNICO DO PRIMEIRO PAVIMENTO	60
FIGURA 11 - ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO TIPO	61
FIGURA 12 - ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO DE COBERTURA DO TIPO E C. MAQ	62
FIGURA 13 - ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO DE COBERTURA DA C.MAQ, BARRILETE, CAIXA D` ÁGUA E CORTE ESQUEMÁTICO DO PRÉDIO	63
FIGURA 14 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 01	65
FIGURA 15 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 01	66
FIGURA 16 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 01	67
FIGURA 17 - FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 01	68
FIGURA 18 - FORMAS DOS ESTRUTURAIS DO PISO E DA COBERTURA DA C.MAQ, CAIXA D` ÁGUA E CORTE ESQUEMÁTICO DO EDIFÍCIO DO MODELO 01	69
FIGURA 19 - DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 02	70
FIGURA 20 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 02	72
FIGURA 21 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 02	73
FIGURA 22 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 02	74
FIGURA 23 - FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 02	75
FIGURA 24 - FORMAS DOS ESTRUTURAIS DO PISO E DA COBERTURA DA C.MAQ, CAIXA D` ÁGUA E CORTE ESQUEMÁTICO DO EDIFÍCIO DO MODELO 02	76
FIGURA 25 - DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 03	77
FIGURA 26 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 03	78
FIGURA 27 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 03	79
FIGURA 28 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 03	80

FIGURA 29 - FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 03.....	81
FIGURA 30 - DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 04.....	82
FIGURA 31 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 04	83
FIGURA 32 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 04	84
FIGURA 33 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 04	85
FIGURA 34 - FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 04.....	86
FIGURA 35 - DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 05.....	87
FIGURA 36 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 05	88
FIGURA 37 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 05	89
FIGURA 38 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 05	90
FIGURA 39 - FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 05.....	91
FIGURA 40 - CABOS POSICIONADO NAS FORMAS EM FAIXAS E DISTRIBUÍDOS REGULARMENTE.....	93
FIGURA 41 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 06	94
FIGURA 42 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 06	95
FIGURA 43 - FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 06	96
FIGURA 44 - FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 06.....	97
FIGURA 45 - CONSUMOS DE CONCRETO, AÇO E FORMAS DOS MODELOS	103
FIGURA 46 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 01	106
FIGURA 47 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 02	107
FIGURA 48 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 03	107
FIGURA 49 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 04	108
FIGURA 50 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 05	108
FIGURA 51 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 06	109
FIGURA 52 - CUSTO COMPARATIVO DOS MODELOS	110

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP1)	29
TABELA 2 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP1)	29
TABELA 3 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP1)	30
TABELA 4 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP1)	30
TABELA 5 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP2)	30
TABELA 6 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP2)	30
TABELA 7 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP2)	30
TABELA 8 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP2)	30
TABELA 9 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP3)	30
TABELA 10 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP3)	31
TABELA 11 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP3)	31
TABELA 12 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP3)	31
TABELA 13 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP4)	31
TABELA 14 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP4)	31
TABELA 15 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP4)	31
TABELA 16 - CUSTO DOS PRÉ-FABRICADOS DA OPÇÃO (OP4)	31
TABELA 17 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP4)	31
TABELA 18 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP5)	32
TABELA 19 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP5)	32
TABELA 20 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP5)	32
TABELA 21 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP5)	32
TABELA 22 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP6)	32
TABELA 23 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP6)	32
TABELA 24 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP6)	32
TABELA 25 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP6)	33
TABELA 26 - CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP7)	33
TABELA 27 - CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP7)	33
TABELA 28 - CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP748)	33
TABELA 29 - CUSTO DA PROTENSÃO DA OPÇÃO (OP7)	33
TABELA 30 - CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP7)	33
TABELA 31 - COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE AS OPÇÕES (R\$)	34
TABELA 32 - DEMONSTRATIVO DE CONSUMO DE MATERIAIS NAS LAJES	35
TABELA 33 - DEMONSTRATIVO DO CUSTO UNITÁRIO DOS INSUMOS	35
TABELA 34 - CUSTO TOTAL POR M ² DAS LAJES	36
TABELA 35 - DEMONSTRATIVO DO PERCENTUAL DE CADA INSUMO POR M ² DE LAJES	36
TABELA 36 - PERCENTAGEM DE CUSTO	39
TABELA 37 - CONSUMO DE MATERIAIS COM LAJE PRÉ-MOLDADA	40
TABELA 38 - CONSUMO DE MATERIAIS COM LAJE MACIÇA	40
TABELA 39 - CUSTO TOTAL PARA A ESTRUTURA COM LAJE MACIÇA	41
TABELA 40 - CUSTO TOTAL PARA A ESTRUTURA COM LAJE PRÉ-MOLDADA	41
TABELA 41 - CUSTOS DAS ESTRUTURAS PARA O EDIFÍCIO (A) EM (R\$)	42
TABELA 42 - COMPARATIVO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO (A) EM (R\$)	42
TABELA 43 - CUSTOS DAS ESTRUTURAS PARA O EDIFÍCIO (B) EM (R\$)	43
TABELA 44 - COMPARATIVO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO (B) EM (R\$)	43
TABELA 45 - CUSTOS DAS ESTRUTURAS PARA O EDIFÍCIO (C) EM (R\$)	44

TABELA 46 - COMPARATIVO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO (C) EM (R\$)	44
TABELA 47 - RESULTADOS DOS PILARES.....	44
TABELA 48 - CUSTO TOTAL PARA OS PILARES.....	45
TABELA 49 - RESULTADO DAS VIGAS.....	45
TABELA 50 - RESULTADOS DAS LAJES	45
TABELA 51 - CUSTO TOTAL PARA AS VIGAS E LAJES	45
TABELA 52 - CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL.....	50
TABELA 53 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DE AGRESSIVIDADE E QUALIDADE DO CONCRETO	50
TABELA 54 - CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E COBRIMENTO NOMINAL PARA $\Delta c = 10\text{mm}$	51
TABELA 55 - EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE RELACIONADAS À FISSURAÇÃO E À PROTEÇÃO DA ARMADURA, EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL	51
TABELA 56 - VALORES DO COEFICIENTE ADICIONAL (γ_n)	52
TABELA 57 - LIMITES PARA DESLOCAMENTOS.....	54
TABELA 58 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 01.....	98
TABELA 59 - FUNDAÇÃO DO MODELO 01.....	98
TABELA 60 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 02.....	98
TABELA 61 - CONSUMO DE BLOCOS DE CONCRETO DO MODELO 02.....	98
TABELA 62 - FUNDAÇÃO DO MODELO 02.....	98
TABELA 63 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 03.....	99
TABELA 64 - CONSUMO DE FORMAS PLÁSTICAS DO MODELO 03.....	99
TABELA 65 - FUNDAÇÃO DO MODELO 03.....	99
TABELA 66 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 04.....	99
TABELA 67 - CONSUMO DE EPS (ISOPOR) DO MODELO 4.....	99
TABELA 68 - FUNDAÇÃO DO MODELO 03.....	99
TABELA 69 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 05.....	100
TABELA 70 - CONSUMO DE FORMAS PLÁSTICAS DO MODELO 05.....	100
TABELA 71 - FUNDAÇÃO DO MODELO 05.....	100
TABELA 72 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 06.....	100
TABELA 73 - PROTEÇÃO DO MODELO 06	100
TABELA 74 - FUNDAÇÃO DO MODELO 06.....	100
TABELA 75 - CONSUMO DE MATERIAIS (CONCRETO, AÇO E FORMAS) E ÍNDICES DOS MODELOS	102
TABELA 76 - RESUMO DOS DEMAIS MATERIAIS PARA A COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DOS MODELOS	102
TABELA 77 - CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 01.....	106
TABELA 78 - CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 02.....	107
TABELA 79 - CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 03.....	107
TABELA 80 - CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 04.....	108
TABELA 81 - CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 05.....	108
TABELA 82 - CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 06.....	109
TABELA 83 - CUSTO COMPARATIVO DOS MODELOS	109
TABELA 84 - COMPARATIVO DO CUSTO DOS MODELOS COM O CUSTO DA EDIFICAÇÃO.....	110

RESUMO

Na cadeia produtiva da construção civil a etapa de projetos é das mais importantes, visto que as decisões tomadas nesta fase inicial contribuem na redução do custo do empreendimento. Entre estes projetos destacamos o projeto estrutural. O projetista estrutural ao receber o projeto arquitetônico de uma obra deve escolher qual é a solução mais viável a ser adotada para a superestrutura, com foco no pavimento tipo, levando-se em conta a construtibilidade e o fator custo. O presente trabalho tem como finalidade fornecer aos projetistas e contratantes, para projetos semelhantes ao deste trabalho, índices de consumo de materiais aplicados (concreto, aço e formas) com os respectivos custos e as percentagens de cada superestrutura em relação ao custo global do edifício. De um edifício residencial de múltiplos pisos a ser executado na Região Metropolitana de Curitiba, foram analisadas duas superestruturas distintas. A primeira, com 3 (três) sistemas diferenciados: sistema estrutural convencional com laje maciça; com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto; com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas. A segunda, cuja diferença é a majoração dos vãos das lajes, também com 3 (três) sistemas diferenciados: sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido-isopor); com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas; com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada). Em todas as superestruturas analisadas foram consideradas as fundações. No desenvolvimento do projeto estrutural utilizou-se o software comercial de cálculo estrutural CAD/TQS. Para a composição dos custos de cada sistema estrutural foram considerados materiais, mão-de-obra, prazo e equipamentos para a execução. Na análise final encontrou-se uma variação percentual de custo das estruturas de 15% a 20 % em relação ao custo total do empreendimento.

Palavras chaves: estruturas de concreto, sistemas estruturais, custo da estrutura em concreto, análise comparativa de custos.

ABSTRACT

In the construction business the most important stage is the designs stage, since the decisions made in this period of time can contribute in a significant way to reduce the cost of the construction. One of these designs, which deserve special attention, is the structural design. Once the structural engineer begins the study of the architectural design of a building it is necessary to find an appropriate solution to be applied to the structural framework, with focus to the standard floor, taking into account the constructability and the related costs. This dissertation intends to provide for the structural engineers and contractors, materials consumption indexes, such as concrete, steel and formworks, with their respective costs and the cost percentages referred to the total cost construction, limited to buildings with the analogous configurations of the case studies. Two different frameworks of residential multi-storey buildings, to be constructed in the city of Curitiba, were used as reference. The first structural framework which was analysed used three different systems: full thickness conventional concrete slabs, waffle slabs with concrete blocks filling and waffle slabs with plastic forms filling. The structural systems considered in the second solution of framework were: waffle slabs with EPS filling, waffle slabs with plastic forms filling and unbonded post-tensioned concrete, except that in this case the spans were increased due to the options adopted. The cost to the infrastructure was also used as a parameter in all the solutions analysed. In order to elaborate the structural design, the commercial structural design software CAD/TQS was used. The material, the workmanship, the time limit and the construction equipments were included to find the cost of the structural systems studied. The final analysis showed a variation in the costs of the structures of 15% to 20% in relation to the total cost of the building construction.

Keywords: concrete structures, structural framework, framework construction cost, cost analysis.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONCEITUANDO PROJETO DE EDIFÍCIOS

Na cadeia produtiva da construção civil a transformação no processo construtivo começa pela qualidade dos projetos e, entre eles podemos destacar o projeto estrutural.

Segundo Melhado e Agopyan (1995), os conceitos e definições de projetos estão ligados ao procedimento ou prática de projetar, podendo entender nesse sentido o projeto como:

- um processo para a realização de idéias que deverá passar pelas etapas de idealização, análise e implantação;
- um modelo de solução para resolver um determinado problema;
- uma atividade criativa, intelectual, baseada em conhecimentos e experiência.

Conforme as definições acima temos o enfoque de projeto como criação mas, podemos ter também o projeto mais voltado aos resultados dos mesmos, esboçando o seu propósito individual, social, político ou cultural. Constitui o projeto:

- uma idéia que se forma, de executar ou realizar algo no futuro;
- a atividade de criar propostas que transformem alguma coisa existente em algo melhor;
- parte e reflexo de uma atitude mais ampla de seu autor e, através dele, do tempo em que vive.

Para os mesmos autores, quando se considera o projeto de edifícios, acredita-se que se deva extrapolar a visão do produto ou da sua função, sendo que o projeto deva ser encarado também sob a ótica do processo (no caso, a atividade de construir).

Segundo Nascimento e Santos (2001), projeto pode ser definido como a idéia que se tem para executar ou realizar algo de forma que atenda da melhor maneira possível às necessidades do cliente, em conformidade com seus requisitos.

Para Fabrício (2002), “projeto é o resultado das atividades mentais de cada projetista tanto quanto da interação entre os múltiplos agentes envolvidos e, também, do ambiente técnico que suporta tais processos intelectuais”.

Tzortzopoulos (1999) define projeto como sendo uma atividade criativa e muito pessoal, um processo criativo que descreve uma seqüência de tomadas de decisões que ocorre individualmente em cada projetista. E um processo gerencial que divide o tempo total para tomadas de decisões em fases que se desenvolvem do geral e abstrato ao detalhado e concreto.

Para a obtenção da qualidade é fundamental que o empreendedor (investidor) valorize a fase de projeto. Nas fases iniciais do empreendimento, as decisões tomadas são as que apresentam maior capacidade de influenciar o custo final, (MELHADO ; AGOPYAN,1995).

Para Hammarlund e Josephson (1992), as decisões tomadas nas fases iniciais do empreendimento são importantes, atribuindo-lhes a principal participação na redução do custo final, (FIGURA 1). De acordo com o gráfico, é expressiva a importância atribuída às fases iniciais, do estudo de viabilidade ao término do projeto, em que, apesar do baixo consumo de recursos, concentram-se boa parte das chances de redução da incidência de erros e dos custos respectivos.

No projeto estrutural pode-se considerar a mesma análise mencionada anteriormente. Para obter uma estrutura econômica deve-se na fase inicial que corresponde à concepção do projeto (estudo preliminar), decidir qual sistema estrutural a ser adotado.

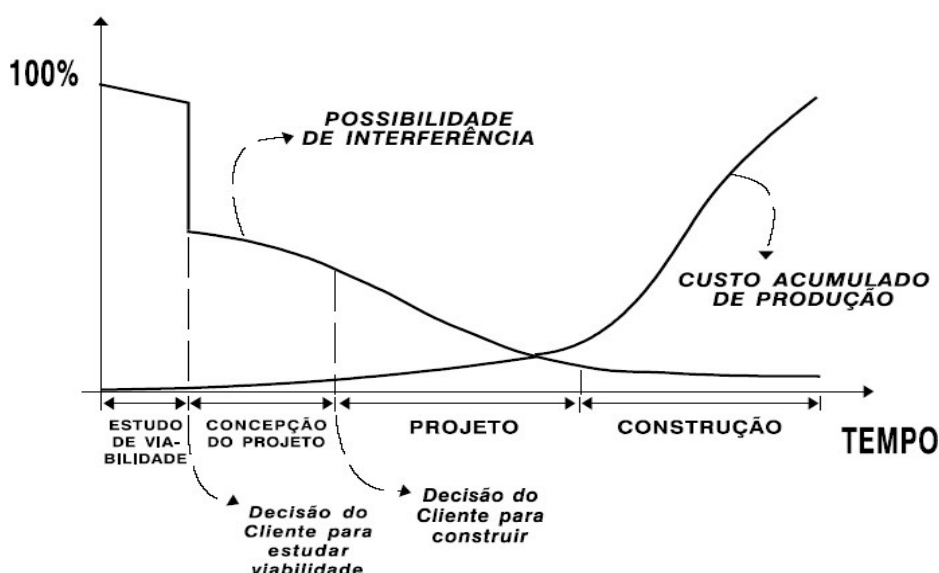


FIGURA 1 - POSSIBILIDADE DE INTERVENÇÃO NO EMPREENDIMENTO E OS CUSTOS ACUMULADOS AO LONGO DAS ETAPAS DE PRODUÇÃO
FONTE: HAMMARLUND e JOSEPHSON, 1992.

Elaborar o projeto estrutural significa definir o arcabouço resistente que sustentará a obra proposta pelo projeto arquitetônico. Envolve uma série de fases, dentro de uma seqüência chamada de “etapas de projeto”, que devem ser desenvolvidas com critérios para que se tenha uma estrutura de qualidade e econômica, onde deve ser destacado:

- Conceção da estrutura

Deve ser escolhido um sistema estrutural que considere a funcionalidade e a estética do projeto arquitetônico, o processo construtivo, os custos dos materiais a serem utilizados e a interação com os demais projetos. Nesta etapa escolhem-se elementos que resistirão aos carregamentos (ações), definindo a “superestrutura” que é composta de vigas e pilares que formarão os pórticos. Nessas condições, as lajes (diafragmas rígidos) têm a função de transmitir as cargas verticais para as vigas e de distribuir as ações horizontais entre os pórticos.

- Análise da Estrutura

Após concepção da estrutura o projetista faz uma análise das dimensões inicialmente estabelecidas os elementos resistentes (vigas, lajes e pilares) verificando os esforços solicitantes, dos deslocamentos da estrutura e das deformações, em função das ações dos carregamentos.

- Dimensionamento e o detalhamento

Completada a análise e a verificação dos esforços obtidos, faz-se o dimensionamento e detalhamento dos elementos, para que a obra possa ser executada, devendo ser obedecidas as prescrições das normas legais.

O presente trabalho tem por finalidade analisar custos de seis sistemas estruturais para o pavimento tipo de um edifício residencial de múltiplos pisos a ser executado na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná.

No desenvolvimento do projeto estrutural para obter os quantitativos de materiais aplicados (concreto, aço e formas), que farão parte da análise de custos dos sistemas estruturais do pavimento tipo, foi utilizado o software comercial de cálculo estrutural CAD/TQS.

1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

Como escolher um sistema estrutural para o pavimento tipo de um edifício residencial de múltiplos pisos, focando na economia, considerando os índices de consumo de materiais aplicados, concreto, aço e formas?

1.3 OBJETIVO DA PESQUISA

Analisar e comparar o sistema estrutural mais econômico para o pavimento tipo, considerando os índices de consumo de materiais aplicados (concreto, aço e formas), para seis sistemas estruturais:

- Modelo 01 – sistema estrutural convencional com laje maciça (FIGURA 16);
- Modelo 02 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto (FIGURA 22);
- Modelo 03 – sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas (FIGURA 28);

Nos modelos abaixo, foram retirados seis pilares em relação aos anteriores, possibilitando um aumento dos vãos da estrutura.

- Modelo 04 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido-isopor) (FIGURA 33);
- Modelo 05 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas (FIGURA 38);
- Modelo 06 - sistema estrutural com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada) (FIGURA 43).

1.4 HIPÓTESE DA PESQUISA

Devido ao grande uso, o sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto constitui-se o mais econômico (Modelo 02).

1.5 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Quando o projetista estrutural recebe o projeto arquitetônico de uma obra para desenvolver o projeto da superestrutura, devido às inovações tecnológicas e ao grande número de novos sistemas estruturais, percebe-se a sua dificuldade em estabelecer qual é a solução mais viável economicamente para o sistema estrutural a ser adotado.

Segundo Costa, citado por Albuquerque (1998), a evolução do processo construtivo começa com a qualidade dos projetos e, entre estes se destaca o estrutural que responde pela etapa de maior representatividade nos custos total da construção entre (15% a 20%).

Para Batlouni Neto (2003), em estudo realizado em edifícios construídos na cidade de São Paulo, com estrutura reticulada em concreto armado, verificou que a porcentagem da estrutura no custo total variou de 14,08% a 22,77%, tendo como valor médio 17,69%.

Acredita-se que esta pesquisa poderá auxiliar os engenheiros e arquitetos projetistas, escolherem qual sistema estrutural a adotar na fase preliminar do seu estudo, considerando o consumo de materiais aplicados (concreto, aço e formas), a qualidade e a construtibilidade.

1.5.1 Ambiental

De acordo com o Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, (MCT, 2002), a emissão de CO₂ na atmosfera pelo Brasil em 1994 foi de 9,33 milhões de toneladas na produção de cimento, 4,15 milhões de toneladas na produção de cal e 32,92 milhões de toneladas na produção de aço, totalizando 46,4 milhões de toneladas de emissão de CO₂, somente na produção destes três materiais utilizados na construção civil.

Na conferência Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, em junho de 1992 (ECO, 92), foi aprovado a Agenda 21, documento-guia da Organização das Nações Unidas, pelo qual os países membros se comprometem a pautar suas políticas econômicas, sociais e ambientais pelo princípio do desenvolvimento sustentável (Ministério do Meio Ambiente).

Portanto, o objetivo desta pesquisa é procurar uma solução estrutural para pavimento tipo, procurando reduzir o consumo de materiais que causam impactos no meio ambiente.

1.5.2 Econômica

A construção civil é um dos maiores setores da economia. No Brasil, por exemplo, é responsável por 15% do PIB. Na América Latina, a atividade de construção é responsável por até 11,4% dos empregos. Além disso, é o setor que mais consome matérias primas, podendo ainda, consumir mais de 50% do total de recursos naturais extraídos (ENTAC, 2004). Propõe-se nesta pesquisa, mostrar alternativas para reduzir o consumo de materiais, trazendo de alguma forma, benefícios econômicos para o setor, benefícios estes que poderão ser reaplicados por exemplos, em investimentos na área da construção civil.

1.5.3 Social

Conforme o Ministério das Cidades (2004), o déficit habitacional meramente quantitativo é da ordem de milhões de unidades habitacionais. O país carece de moradias para 7,2 milhões de famílias, sendo 5,5 milhões delas em áreas urbanas.

O déficit quantitativo nas faixas de renda de até 2 salários mínimos é de 4,2 milhões de moradias, concentrado principalmente nas regiões metropolitanas. Pelos dados censitários, este mesmo déficit sofreu retração para as faixas de renda acima de 5 salários mínimos, passando de 15,7% do total em 1991 para 11,8% em 2000.

Como esta pesquisa procura reduzir o consumo de materiais aplicados (concreto, aço e formas) do pavimento tipo, colaborando de alguma forma na redução dos custos das edificações, e conseqüentemente dando oportunidade às famílias de adquirirem suas moradias, cumprindo a função social a que a construção civil se propõe.

1.5.4 Tecnológica

Segundo França e Fusco (1997), nos edifícios de múltiplos pisos, as lajes respondem por elevada parcela do consumo de concreto. No caso de lajes maciças, esta parcela chega usualmente a quase dois terços do volume total da estrutura. Por esta razão e pelo fato das lajes possuírem muito baixo fator de eficiência, torna-se oportuno a utilização de lajes nervuradas que consomem menos concreto.

1.6 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado foi o estudo de caso. Segundo YIN (2005), o estudo de caso é uma pesquisa empírica adequada quando são examinados acontecimentos contemporâneos e que não se podem manipular comportamentos relevantes.

Segundo o mesmo autor, o método de estudo de caso pode lidar com uma ampla variedade de evidências, tais como documentos, artefatos, entrevistas e observações.

Para Robson (1993), a metodologia de estudo de caso deve estudar um caso específico e isolado, e que envolva uma investigação empírica de um fenômeno particular contemporâneo, inserido no contexto da vida real.

A escolha deste método deve-se ao fato dele estar relacionado com questões do tipo “como” e “por que”, em situações nas quais o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos pesquisados (YIN, 2005).

Portanto, o método de estudo de caso é o mais indicado para se chegar à resolução do problema de pesquisa do presente trabalho. Isto porque o problema de pesquisa escolhido coloca questões do tipo “como”, exigindo um detalhamento sobre o fato pesquisado, mesmo não sendo possível a definição exata entre este e seu contexto, em função da singularidade do tema proposto.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi feita uma revisão bibliográfica, com os materiais já publicados, constituídos de livros, artigos científicos, periódicos e outros relatos disponibilizados na Internet.

A análise desse levantamento se concentrou conforme o objetivo desta pesquisa, em sistemas estruturais com lajes lisas nervuradas, lajes lisas maciças com protensão não aderente (monocordoalha engraxada).

1.6.1 Outros métodos de pesquisas

Além do método de pesquisa “estudo de caso” Gil (1991) classifica a pesquisa em relação aos procedimentos técnicos como: pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, levantamento (survey), pesquisa expost-facto. Estas pesquisas não serão consideradas porque:

- Pesquisa documental: vale-se de materiais que não recebem ainda um tratamento analítico. Como na presente pesquisa será realizada uma revisão bibliográfica, que tem semelhança com pesquisa documental, sendo a diferença essencial entre elas a natureza das fontes. Portanto, todos os documentos não serão “de primeira mão”, já sofreram algum tratamento analítico.
- Pesquisa experimental: consiste em determinar um objeto de estudo, selecionando as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definindo as formas de controle e de observação dos efeitos que estas variáveis produzem no objeto. Na presente pesquisa não será necessário o controle sobre os eventos nem manipulação das variáveis, portanto, não se caracteriza uma pesquisa experimental.
- Levantamento (Survey): envolve a interrogação direta do objeto (pessoas ou coisas) cujo comportamento se deseja conhecer. Como o objetivo da pesquisa a ser realizada é analisar um sistema estrutural mais econômico para o pavimento tipo de um edifício residencial de múltiplos pisos, não há como aplicar um levantamento.
- Pesquisa expost-facto: quando o experimento se realiza após os fatos. Como na presente pesquisa a ação é contemporânea, não se aplica este tipo de pesquisa.

1.6.2 Unidade de análise

A unidade de análise é o pavimento tipo de um edifício residencial de múltiplos pisos.

1.6.3 Limitações da pesquisa

Foram impostas algumas limitações no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, tais como:

- estudo de um edifício residencial com 12 pavimentos, sendo que o pavimento tipo se repete dez vezes e será executado na região metropolitana de Curitiba;
- desenvolvimento do projeto estrutural para obter o consumo dos materiais aplicados (concreto, aço e formas), utilizado o software comercial de cálculo estrutural CAD/TQS,
- a resistência característica do concreto utilizado no projeto estrutural é de 25 MPa (Mega Pascal),
- desenvolvimento do projeto estrutural do edifício considerando as normas da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, referentes a projetos de estruturas de concreto.

1.7 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

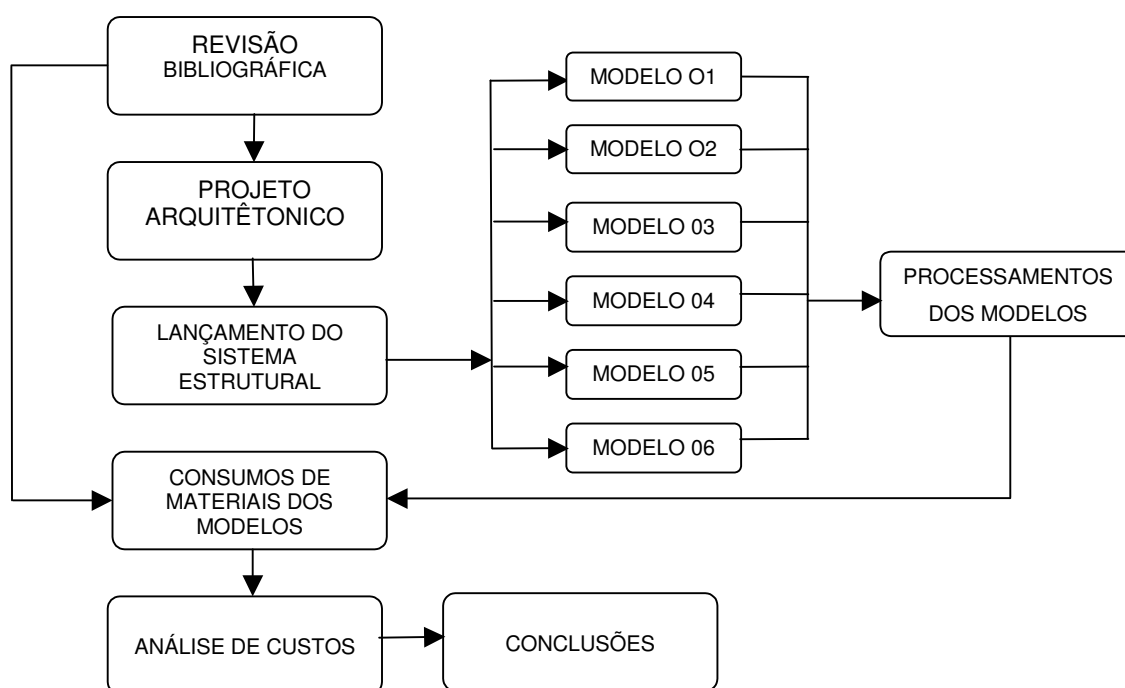


FIGURA 2 – DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

1.7.1 PROTOCOLO DE COLETA DE DADOS

Para Yin (2005), o protocolo de coleta de dados é de suma importância, uma vez que permite ao pesquisador lembrar-se sempre do foco da pesquisa, bem como antecipar qualquer tipo de problema que possam vir a ocorrer.

Segundo Robson (1993) e Yin (2005), um dos principais objetivos do protocolo de coleta de dados é limitar o estudo de caso, proporcionando maior validade e credibilidade à pesquisa.

Conforme fluxograma mostrado na FIGURA 2 foi adotado o seguinte protocolo de coleta de dados:

- Revisão bibliográfica: elaborada a partir de materiais já publicados, constituído de livros, artigos, periódicos e materiais disponibilizados na Internet.
- Projeto arquitetônico: escolhido um projeto arquitetônico de um edifício residencial de múltiplos pisos.
- Lançamento do sistema estrutural: com base no projeto arquitetônico escolhido, lançados os pilares, as vigas e as lajes nos modelos:
Modelo 01 – sistema estrutural convencional com laje maciça;
Modelo 02 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto;
Modelo 03 – sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas;
Modelo 04 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido-isopor);
Modelo 05 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas;
Modelo 06 - sistema estrutural com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada).
- Processamento dos modelos: após o lançamento do sistema estrutural nos modelos, para obter o consumo de materiais aplicados (concreto, aço e formas), foi utilizado um software comercial de cálculo estrutural.
- Consumos de materiais.
- Resultados.

1.7.2 Estratégia de validação interna e externa

Segundo Yin (2005), um projeto de pesquisa constitui a lógica que une os dados a serem coletados às questões iniciais de um estudo.

A qualidade da pesquisa pode ser demonstrada pelos seguintes aspectos principais:

- validade do constructo;
- validade interna;
- validade externa;
- confiabilidade.

Tanto Yin (2005) quanto Robson (1993), apontam algumas estratégias para se obter essas validações.

O presente trabalho usará as técnicas de validade do constructo e de validação externa (possibilidade de generalização) como forma de garantir a veracidade das conclusões que serão obtidas. A validade do constructo estabelecerá as medidas operacionais corretas dos conceitos que serão estudados. Já a validade externa mostrará o caminho em que as descobertas do estudo podem ser generalizadas, por exemplo, em sistemas estruturais semelhantes poderão ser usados os índices de consumo de materiais encontrados neste trabalho de pesquisa.

Na questão da validade da pesquisa a lógica e a forma de comunicação também produzem efeitos (CERVO, 2002; SEVERINO, 2002). Levando em consideração esses fatores, o presente trabalho irá buscar a coerência em suas proposições e estruturação, além do desenvolvimento de uma linguagem científica impessoal, objetiva, precisa e isenta de qualquer ambigüidade.

1.8 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está dividido em seis capítulos:

- Capítulo 1 – uma conceituação sobre projetos, problema, objetivo, hipótese, e a justificativa da pesquisa, o método utilizado para o desenvolvimento dessa dissertação.

- Capítulo 2 – apresenta-se a revisão bibliográfica com assuntos relacionados com os custos de sistemas estruturais utilizados no mercado da construção civil, a importância do projeto estrutural e dados dos materiais que serão usados nas lajes dos projetos.
- Capítulo 3 – descreve-se sobre a metodologia para o desenvolvimento do trabalho e uma descrição do software de cálculo estrutural CAD/TQS.
- Capítulos 4 – apresentação do projeto arquitetônico do edifício residencial de múltiplos pisos e projeto estrutural de todos os seis modelos objeto deste estudo, e os quantitativos de materiais.
- Capítulo 5 – apresenta-se os índices de consumo de materiais, o custo e análise de cada modelo, e o percentual em relação ao custo total da edificação.
- Capítulos 6 – apresentam-se as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO

Segundo Merce e Oliveira (2001), os edifícios em concreto armado como o projetado em 1931 por Emilio Baumgart, têm seguido o mesmo sistema estrutural convencional composto por lajes que se apóiam em vigas que por sua vez descarregam em pilares. Esse sistema perdurou por décadas até que algumas imposições arquitetônicas e econômicas ganharam importância, como a alteração do leiaute do pavimento que ficava impossibilitado pelos números de pilares e vigas e também pela quantidade excessiva de formas.

A partir da década de 70 as modificações arquitetônicas ocorridas no arranjo geral das edificações provocaram alterações nos sistemas estruturais, os diafragmas de alvenarias diminuíram e as estruturas passaram a trabalhar sem auxílio dos mesmos, ficando na dependência cada vez mais das lajes.

Com esses fatores associados, os construtores e pesquisadores têm buscado soluções alternativas na execução de lajes, na possibilidade do uso de maiores vãos e também visando reduzir o número de vigas e pilares. Desse modo, permite-se maior liberdade arquitetônica e redução de custos em edifícios de múltiplos pisos. Deve-se salientar que as lajes respondem por uma elevada parcela do consumo de concreto das estruturas.

Segundo Silva (2001), os avanços tecnológicos têm possibilitado aos engenheiros e arquitetos uma grande quantidade de alternativas estruturais e construtivas. Com isto os projetistas estruturais assumem uma maior responsabilidade ao fazer a escolha do sistema estrutural a ser adotado em seus projetos. A preocupação constante dos projetistas é de encontrar soluções estruturais em que se permita construir a custos cada vez menores.

Para Albuquerque (1998), o avanço da tecnologia de construção e da informática possibilita o uso de concretos com maiores resistências, análises refinadas do cálculo estrutural e também a utilização de opções estruturais como: lajes nervuradas, lajes lisas e protensão nas estruturas dos edifícios.

De acordo com Silva (2001), como existe uma grande quantidade de soluções estruturais, é necessário que se conheça a eficiência de cada solução para que se faça uma melhor escolha. Podem ocorrer situações em que às limitações

impostas pelo projeto arquitetônico, o projetista tem pouca ou nenhuma escolha. Caso isso ocorra, ele deve ter conhecimento de viabilidade construtiva e do custo dessa solução.

Citando Albuquerque (1998), “ao fazer a concepção estrutural, o engenheiro tem que ter em mente vários aspectos, tais como: manter a estética e a funcionalidade do projeto arquitetônico, ter idéia aproximada dos esforços atuantes na estrutura, dos métodos construtivos e dos custos”. Geralmente o sistema estrutural é influenciado pelo projeto arquitetônico, método construtivo e a infraestrutura da região. Nestes casos, o projetista estrutural deve sempre procurar a solução mais econômica para o seu projeto. “O aspecto econômico do edifício representa uma consideração não estrutural que, na análise final, deve também ser considerada importante”.

O conceito de estrutura econômica evoluiu ao longo dos tempos. Antigamente, havia uma preocupação de se trabalhar com as peças estruturais as mais esbeltas possíveis. Atualmente a atenção está voltada para a padronização das formas, o que facilita a produtividade da mão-de-obra e o reaproveitamento e, também, no processo construtivo a ser adotado.

Para Silva (2001), o projeto criativo é, de certo modo, influenciados pelos custos, mas não necessariamente ser for considerado a relação entre as opções de projeto estrutural, construtivo e seus custos de execução. Como a relação direta das decisões tomadas no projeto e o custo total da construção não é uma tarefa tão simples, os projetistas podem utilizar alguns parâmetros (índices) para auxiliar na escolha da solução mais econômica.

Segundo Costa, citado por Albuquerque (1998), uma melhoria no processo construtivo começa com a qualidade dos projetos e, entre estes projetos pode-se considerar o projeto estrutural que representa uma parcela que varia entre 15% a 20% do custo total da construção. Nessa fase é importante uma análise prévia para a escolha da solução estrutural a ser adotada, pois, uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar 2% de diminuição no custo total da construção. Em termos práticos essa economia corresponde a toda etapa de pintura ou os serviços de movimento de terra, soleiras, rodapés, peitoris e cobertura juntos.

Conforme Silva et al (2004), na escolha do sistema estrutural mais apropriado para um pavimento de um edifício de concreto armado procura-se considerar a finalidade da edificação, os vãos a vencer, a rigidez da estrutura, a

racionalização da construção, qualidade pretendida, equipamentos para execução, materiais e mão-de-obra capacitada. Desta forma, a alternativa que mais tem sido utilizada é o sistema de lajes nervuradas, que permite vencer grandes vãos com pequenas deflexões, e com a mesma tecnologia utilizada nas lajes maciças.

2.2 ANÁLISE DE CUSTOS DAS ESTRUTURAS

Albuquerque (1998), analisou o custo de um edifício residencial com dois apartamentos por andar com área útil de 105,0 m², realizou pequenas alterações no pavimento tipo para se obter simetria, ficando um edifício hipoteticamente com vinte pavimentos todos iguais e com uma distância de piso a piso de 2,88 m, resultando uma altura total da edificação de 57,6 m. Na concepção estrutural do pavimento tipo foi adotado sete opções:

- Estrutura convencional com lajes maciças (OP1);
- Estrutura convencional com lajes nervuradas com caixotes (OP2);
- Estrutura convencional com lajes nervuradas com tijolos (OP3);
- Estrutura convencional com lajes nervuradas pré-fabricadas (OP4);
- Estrutura com laje lisa nervurada com caixote (OP5);
- Estrutura com laje lisa nervurada com tijolos (OP6);
- Estrutura com vigas-faixa com protensão (OP7).

A seguir apresentam-se as tabelas com os custos de cada sistema:

TABELA 1 – CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP1)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	366,00	116,00	42.456,00
Vigas	244,60	126,00	30.819,60
Pilares	206,80	126,00	26.056,80
TOTAL	817,40	-	99.332,40

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 2 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP1)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	18.389,00	1,10	20.227,90
Vigas	36.888,00	1,10	40.576,80
Pilares	21.277,00	1,10	23.404,70
TOTAL	76.554,00	-	84.209,40

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 3 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP1)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	4.234,60	7,50	31.759,50
Vigas	3.535,00	7,50	26.512,50
Pilares	1.872,00	7,50	14.040,00
TOTAL	9.641,60	-	72.312,00

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 4 – CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP1)

CUSTO TOTAL (R\$)	255.853,80
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 5 – CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP2)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	326,60	116,00	37.885,60
Vigas	190,80	126,00	24.040,80
Pilares	206,80	126,00	26.056,80
TOTAL	724,20	-	87.983,20

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 6 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP2)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	14.704,00	1,10	16.174,40
Vigas	30.253,00	1,10	33.278,30
Pilares	19.384,00	1,10	21.322,40
TOTAL	64.341,00	-	70.775,10

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 7 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP2)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	4.327,00	6,50	28.125,50
Vigas	2.773,80	6,50	18.029,70
Pilares	1.872,00	6,50	12.168,00
TOTAL	8.972,80	-	58.323,20

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 8 – CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP2)

CUSTO TOTAL (R\$)	217.081,50
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 9 – CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP3)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	353,00	116,00	40.948,00
Vigas	190,80	126,00	24.040,80
Pilares	206,80	126,00	26.056,80
TOTAL	750,60	-	91.045,60

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 10 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP3)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	17.280,00	1,10	19.008,00
Vigas	31.515,00	1,10	34.666,50
Pilares	22.462,00	1,10	24.708,20
TOTAL	71.257,00	-	78.382,70

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 11 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP3)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	4.327,00	7,00	30.289,00
Vigas	2.773,80	7,00	19.416,60
Pilares	1.872,00	7,00	13.104,00
TOTAL	8.972,80	-	62.809,60

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 12 – CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP3)

CUSTO TOTAL (R\$)	232.237,90
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 13 – CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP4)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	337,28	116,00	39.124,48
Vigas	190,80	126,00	24.040,80
Pilares	206,80	126,00	26.056,80
TOTAL	734,88	-	89.222,08

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 14 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP4)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	12.620,00	1,10	13.882,00
Vigas	30.523,00	1,10	33.575,30
Pilares	19.965,00	1,10	21.961,50
TOTAL	63.108,00	-	69.418,80

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 15 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP4)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	567,00	6,50	3.685,50
Vigas	2.773,80	6,50	18.029,70
Pilares	1.872,00	6,50	12.168,00
TOTAL	5.212,80	-	33.883,20

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 16 – CUSTO DOS PRÉ-FABRICADOS DA OPÇÃO (OP4)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
TOTAL	4.000,00	8,90	35.600,00

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 17 – CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP4)

CUSTO TOTAL (R\$)	228.124,10
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 18 – CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP5)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	483,40	119,00	57.524,60
Vigas	139,00	126,00	17.514,00
Pilares	260,40	126,00	32.810,40
TOTAL	882,80	-	107.849,00

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 19 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP5)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	20.112,00	1,10	22.123,20
Vigas	26.860,00	1,10	29.546,00
Pilares	24.857,00	1,10	27.342,70
TOTAL	71.829,00	-	79.011,90

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 20 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP5)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	4.415,00	5,50	24.282,50
Vigas	2.200,40	5,50	12.102,20
Pilares	2.281,00	5,50	12.545,50
TOTAL	8.896,40	-	48.930,20

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 21 – CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP5)

CUSTO TOTAL (R\$)	235.791,10
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 22 – CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP6)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	498,20	119,00	59.285,80
Vigas	139,00	126,00	17.514,00
Pilares	260,40	126,00	32.810,40
TOTAL	897,60	-	109.610,20

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 23 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP6)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	28.408,00	1,10	31.248,80
Vigas	27.186,00	1,10	29.904,60
Pilares	22.918,00	1,10	25.209,80
TOTAL	78.512,00	-	86.363,20

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 24 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP6)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	4.415,00	6,00	26.490,00
Vigas	2.200,40	6,00	13.202,40
Pilares	2.281,00	6,00	13.686,00
TOTAL	8.896,40	-	53.378,40

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 25– CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP6)

CUSTO TOTAL (R\$)	249.351,80
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 26– CUSTO DO CONCRETO DA OPÇÃO (OP7)

	Qte. (m ³)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	335,60	116,00	38.929,60
Vigas	284,20	126,00	35.809,20
Pilares	195,20	126,00	24.595,20
TOTAL	815,00	-	99.334,00

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 27 – CUSTO DO AÇO DA OPÇÃO (OP7)

	Qte. (kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	12.520,00	1,10	13.772,00
Vigas	32.234,00	1,10	35.457,40
Pilares	23.210,00	1,10	25.531,00
TOTAL	67.964,00	-	74.760,40

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 28 – CUSTO DA FORMA DA OPÇÃO (OP7)

	Qte. (m ²)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
Lajes	3.963,20	5,50	21.797,60
Vigas	2.717,60	5,50	14.946,80
Pilares	1.751,00	5,50	9.630,50
Total	8.431,80	-	46.374,90

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 29 – CUSTO DA PROTENSÃO DA OPÇÃO (OP7)

	Qte. (Kg)	P.Unit. (R\$)	P. Total (R\$)
TOTAL	8.062,60	3,86	31.121,64

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

TABELA 30 – CUSTO TOTAL DA OPÇÃO (OP7)

CUSTO TOTAL (R\$)	251.590,94
-------------------	------------

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

Custo comparativo entre as opções estruturais analisadas:

- Estrutura convencional com lajes maciças (OP1);
- Estrutura convencional com lajes nervuradas com caixotes (OP2);
- Estrutura convencional com lajes nervuradas com tijolos (OP3);
- Estrutura convencional com lajes nervuradas pré-fabricadas (OP4);
- Estrutura com laje lisa nervurada com caixote (OP5);
- Estrutura com laje lisa nervurada com tijolos (OP6);

- Estrutura com vigas-faixa com protensão (OP7).

TABELA 31 - COMPARATIVO DE CUSTOS ENTRE AS OPÇÕES (R\$)

OP1	OP2	OP3	OP4	OP5	OP6	OP7
255.853	217.081	232.237	228.124	235.791	249.351	251.590
(+17,9%)	(1)	(+7,0%)	(+5,1%)	(+8,6%)	(+14,9%)	(+15,9%)

FONTE: ALBUQUERQUE, 1998.

Conclusão de Albuquerque (1998), analisando os resultados foram:

- A opção (01) apresentou o maior custo principalmente pela quantidade de vigas dificultando a execução e prejudica a arquitetura.
- A opção (02) é a mais econômica com uma redução de (15,1%) em relação à opção (01).
- A opção (03) apresentou uma redução de (9,2%) em relação à opção (01), tem a vantagem de teto pronto não necessitando de forro.
- A opção (04) apresentou uma redução de (10,8%) em relação à opção (01), tem a vantagem de teto pronto e rapidez na execução.
- A opção (05) e a opção (06) apresentaram uma redução de custos em relação à opção (01) de (7,8% com uso de caixote) e de (7,8% com uso de tijolos) respectivamente. Essas opções possibilitam maior flexibilidade do pavimento.
- A opção (07) teve uma redução de apenas (1,7%) em relação a opção (01), esse sistema estrutural possibilita a flexibilidade do pavimento com um número menor de pilares.

De acordo com Lima et al. (2001), analisou-se o custo da estrutura de uma edificação com dez pavimentos. Na obtenção do custo final da estrutura foram computados a mão-de-obra, consumo de materiais (concreto, forma, aço e material de enchimento) e também o tempo de execução. As lajes consideradas foram: maciça tradicional, treliçada bidirecional com blocos de EPS (poliestireno expandido) e a nervurada bidirecional (tipo colméia).

Foram levantados os consumos de materiais para cada um dos sistemas analisados (TABELA 32).

TABELA 32 – DEMONSTRATIVO DE CONSUMO DE MATERIAIS NAS LAJES

		Tradicional (Maciça)	Treliçada Bidirecional	Nervurada Bidir.(Colméia)
Concreto	(m ³ /m ²)	0,17	0,071	0,106
Aço	(kgf/m ²)	10,76	7,04	6,357
Colméia	(un/m ²)	-	-	2,4
Forma	(m ² /m ²)	1	-	0,16
Linha (3"x4")	(m/m ²)	0,92	0,61	0,61
Pontaletes	(un/m ²)	0,82	0,60	0,40
Treliça	(kgf/m ²)	-	1,084	-
Plaquetas	(m/m ²)	-	1,33	-
Aço Adicional	(kgf/m ²)	-	1,783	-
EPS	(m ³ /m ²)	-	0,074	-

FONTE: LIMA et al, 2001.

Foram considerados na composição dos custos unitários:

- As quantidades de materiais utilizados;
- A mão-de-obra necessária;
- Os equipamentos empregados.

Conforme demonstrado na TABELA 33, TABELA 34 e TABELA 35.

TABELA 33 – DEMONSTRATIVO DO CUSTO UNITÁRIO DOS INSUMOS

		Tradicional (Maciça)	Treliçada Bidirecional	Nervurada Bidir.(Colméia)
Aço CA 60	(R\$/kg)	1,20	1,20	1,20
Aço CA 50	(R\$/kg)	110	1,10	1,10
Concreto	(R\$/m ³)	135,00	135,00	135,00
Forma	(R\$/m ²)	1,64	1,35	1,35
Linha (3"x4")	(R\$/m)	4,80	4,80	4,80
Pontaletes	(R\$/un)	0,12	0,12	0,12
Colméia (65x65)	(R\$/un)	-	-	4,50
Treliça + Plaquetas	(R\$/m ²)	-	12,55	-
EPS	(R\$/m ³)	-	71,00	-
Rev. c/gesso	(R\$/m ²)	3,90	3,90	-
Forro de gesso	(R\$/m ²)	-	-	7,00
Mão de obra	(R\$/m ²)	7,80	3,49	3,79

FONTE: LIMA et al, 2001.

TABELA 34 – CUSTO TOTAL POR M² DAS LAJES

		Tradicional (Maciça)	Treliçada Bidirecional	Nervurada Bidir.(Colméia)
Concreto	R\$	22,95	9,59	14,31
Aço	R\$	12,91	8,45	7,68
Colméia	R\$	-	-	10,80
Forma	R\$	1,64	-	0,22
Linha (3"x4")	R\$	4,42	2,93	2,93
Pontaletes	R\$	0,10	0,07	0,05
Treliça + Plaquetas	R\$	-	12,55	-
EPS	R\$	-	5,25	-
Rev. c/gesso	R\$	3,90	3,90	-
Forro de gesso	R\$	-	-	7,00
Mão de obra	R\$	7,80	3,49	3,79
TOTAL	R\$/m ²	53,72	46,23	46,72

FONTE: LIMA et al, 2001.

TABELA 35 – DEMONSTRATIVO DO PERCENTUAL DE CADA INSUMO POR M² DE LAJES

		Tradicional (Maciça)	Treliçada Bidirecional	Nervurada Bidir.(Colméia)
Concreto	(%)	43	21	31
Aço	(%)	24	18	16
Colméia	(%)	-	-	23
Forma	(%)	3	-	0
Linha (3"x4")	(%)	8	6	6
Pontaletes	(%)	0	0	0
Treliça + Plaquetas	(%)	-	27	-
EPS	(%)	-	11	-
Rev. c/gesso	(%)	7	8	-
Forro de gesso	(%)	-	-	15
Mão de obra	(%)	15	8	8
TOTAL	(%)	100	100	100

FONTE: LIMA et al, 2001.

Levando em consideração as tabelas citadas anteriormente e relacionando suas devidas porcentagens, os autores concluíram que a laje treliçada em detrimento da laje maciça proporciona uma economia de 15% no custo da obra.

Realizou-se um estudo para verificar reutilização das formas plásticas utilizadas na laje tipo colméia confrontando com o especificado pelo fabricante (30 reutilizações). Mantendo os preços do m² das lajes maciças e treliçada como sendo fixos ao longo do número de pavimentos analisados e a laje tipo colméia tendo o seu custo variando de acordo com o número de reutilizações, obteve-se uma redução do preço no m² da laje tipo colméia (FIGURA 3).

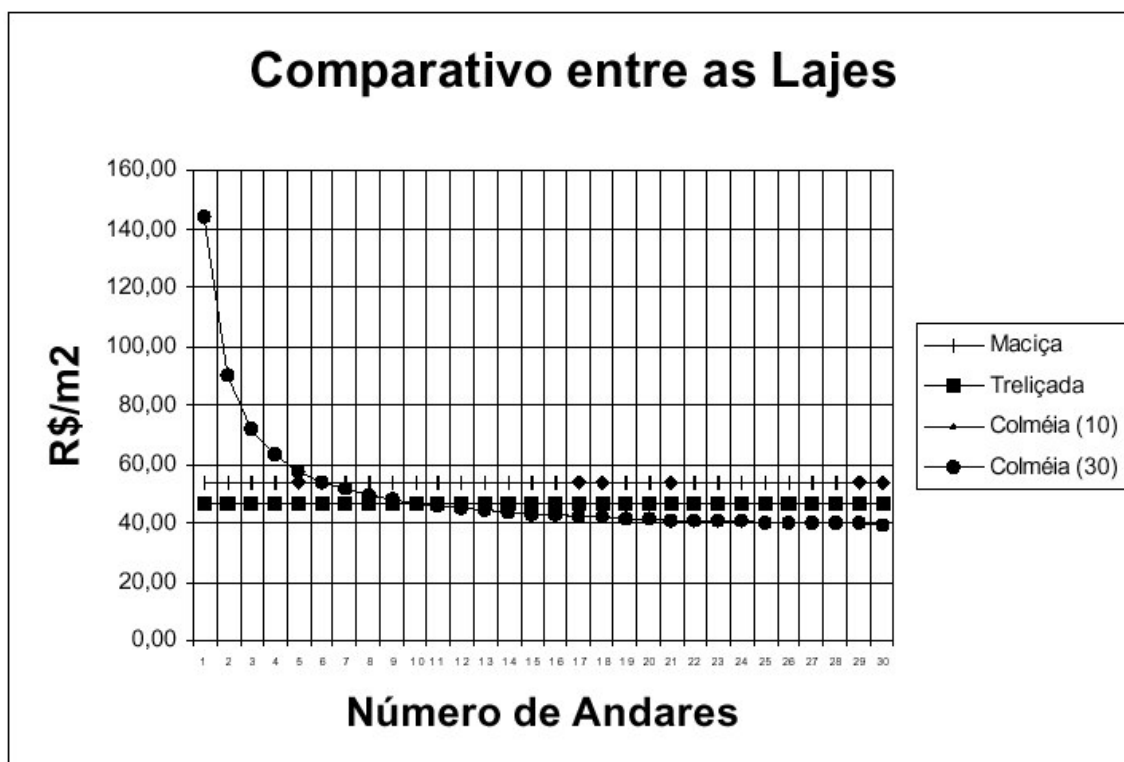


FIGURA 3 - GRÁFICO DO COMPARATIVO ENTRE AS LAJES.
 FONTE: LIMA et al, 2001.

Conforme o gráfico da FIGURA 3 os autores concluíram que a laje trelaçada bidirecional é mais econômica até o décimo andar da edificação em estudo, e que a laje colméia torna-se mais rentável à medida que se aumenta o número de reuso, chegando a uma vida útil de até 30 (trinta) reutilizações.

Merce e Oliveira (2001), analisaram um edifício residencial de 06 pavimentos, com uma área no pavimento tipo de 232,5 m², considerando 04 concepções estruturais: convencional, trelaçada, nervurada e nervurada-protendida-cogumelo:

Concepção convencional – os quantitativos dessa concepção foram obtidos do projeto estrutural da construtora responsável pela construção do edifício com as seguintes características, lajes com 08 (oito) centímetros, vigas com dimensões padronizadas (exceto na caixa de circulação vertical) de 10 x 48 cm e pilares de 15 x 50 cm, com (fck) igual a 20MPa, obtendo-se os seguintes valores:

- Consumo de aço - 17.386,01 Kg;
- Consumo de concreto - 210,51 m³;
- Gastos com forma - R\$ 33.166,35;
- Gastos com mão-de-obra - R\$ 12.710,07.

Concepção treliçada – foram retiradas as vigas internas mantendo-se as vigas de contorno e as da estrutura em comum. Utilizou-se uma laje unidirecional na direção do menor vão. No pavimento tipo as treliças tinham de 20 cm de altura e capa de concreto de 3 cm, ficando a laje com altura total de 23 cm, e para a laje da cobertura adotou-se as treliças com 18 cm e capa de 3 cm, tendo uma altura total de 21 cm. Foram obtidos os seguintes resultados:

- Consumo de aço -13.371,75 Kg;
- Consumo de concreto -228,01 m³;
- Gastos com forma - R\$ 19.656,33;
- Gastos com mão-de-obra - R\$ 7.477,51.

Concepção nervurada – foram retiradas as vigas internas mantendo-se as vigas de contorno e as da estrutura em comum. O espaçamento entre as nervuras da laje foi definido pelas dimensões das formas plásticas (moldes) com (65x65x21) cm, nervuras de 5 cm e altura total da laje de 25 cm (capeamento de 4 cm). A resistência característica do concreto (fck) igual a 25MPa. Obtendo-se os seguintes valores:

- Consumo de aço -16.120,62 Kg;
- Consumo de concreto -184,68 m³;
- Gastos com forma - R\$ 41.898,42;
- Gastos com mão-de-obra - R\$ 9.389,32.

Concepção com nervurada protendida - com a finalidade de se fazer o levantamento quantitativo da mesma, simulando um modelo estrutural que vem sendo muito adotado ultimamente. Criou-se uma estrutura com quatro pilares internos com capitéis sob lajes e protendeu-se duas faixas de 1,0 m de largura por pavimento, permaneceram apenas as vigas de contorno e as da estrutura em comum. O espaçamento entre as nervuras da laje foi definido pelas dimensões das formas plásticas (moldes) de (65x65x21) cm, nervuras de 5 cm e altura total da laje de 25 cm (capeamento de 4 cm). Obtendo os seguintes dados:

- Consumo de aço -14.430,35 Kg.
- Consumo de concreto -221,89 m³.
- Gastos com forma - R\$ 42.297,42.
- Gastos com mão-de-obra - R\$ 10.632,5.

Análise de custos das concepções estruturais em relação ao custo total da estrutura.

TABELA 36 – PERCENTAGEM DE CUSTO

	aço	concreto	forma	mão-de-obra	treliça / EPS
Convencional	20%	31%	35%	13%	
Treliçada	12%	29%	17%	6%	35%
Nervurada	19%	29%	43%	10%	
Protendida	16%	33%	41%	10%	

FONTE: MERCE E OLIVEIRA, 2001.

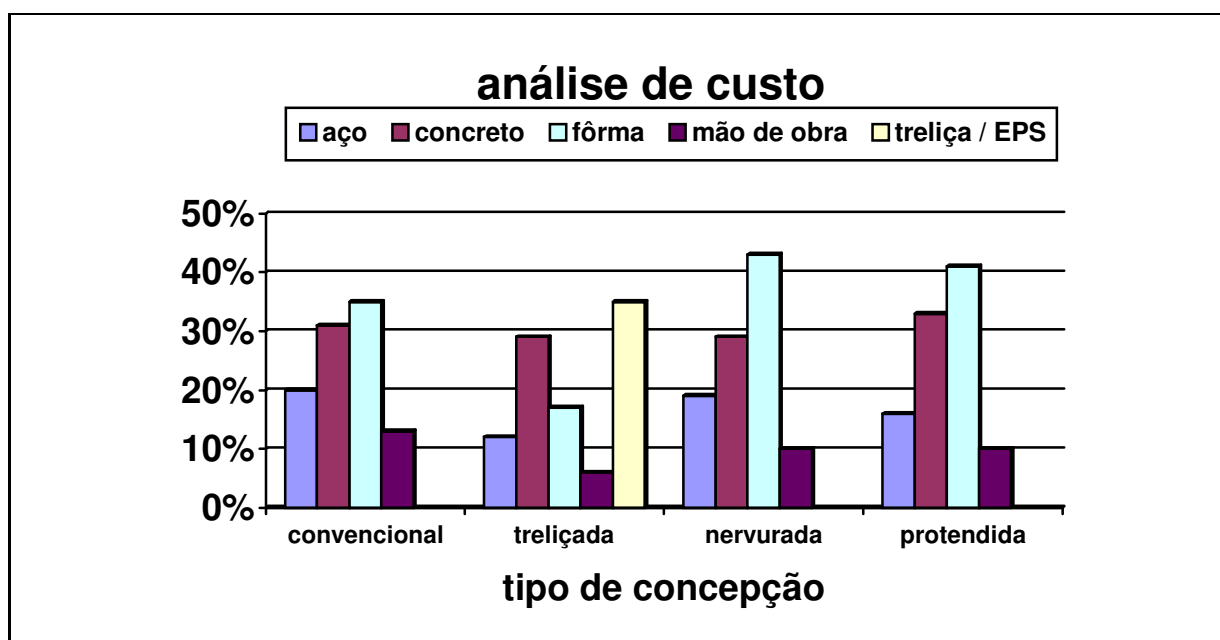


FIGURA 4 – ANÁLISE DE CUSTO.
FONTE: MERCE E OLIVEIRA, 2001.

A conclusão dos autores conforme o resultados mostrados na TABELA 7 e nos levantamentos feitos confirmaram o alto consumo de formas para a concepção convencional, alto custo de mão-de-obra, no que se deve à execução artesanal de todo o sistema e também a grande quantidade de elementos estruturais.

Para concepção nervurada e nervurada-protendida o alto valor apresentado para as formas foi devido à aquisição das formas plásticas (moldes). A redução de elementos estruturais (vigas e pilares) diminuiu os cortes nas chapas de madeiras, este fator e a possibilidade de reutilização dos moldes plásticos têm possibilitado uma obra ecologicamente correta.

Nas lajes treliçadas verifica-se uma redução no custo da mão-de-obra, porque este custo está incluído na fabricação das peças pré-moldadas e conseqüentemente no preço das lajes. A industrialização agiliza o processo construtivo diminuindo os gastos com a mão-de-obra na montagem das lajes.

Para as lajes com nervuras protendidas o baixo custo se deve ao fato de que o sistema adotado não permite a existência de grandes vãos e cargas elevadas, conseqüentemente o consumo de cordoalhas e a área de aço de foram pequenos.

Figueiredo Filho et al. (2002), realizaram uma análise de um edifício de quatro pavimentos sem elevador e com quatro apartamentos por andar, adotando-se como sistema estrutural:

- sistema de lajes maciças;
- sistema de lajes nervuradas pré-moldadas.

A seguir apresentam-se as tabelas com consumos de materiais e mão-de-obra para execução da estrutura do edifício com os dois sistemas:

TABELA 37 – CONSUMO DE MATERIAIS COM LAJE PRÉ-MOLDADA

Consumo de materiais totais do edifício em laje pré-moldada			
Superfície total: 718,32m ²			
Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Aço (kg)
Lajes	0,00	39,82	565,00
Vigas fundo	95,51	47,66	3.047,00
Vigas lateral	426,53	----	----
Pilares	214,80	11,62	2.962,00
TOTAL	736,84	99,10	6.574,00

FONTE: FIGUEIREDO FILHO et al, 2002.

TABELA 38 – CONSUMO DE MATERIAIS COM LAJE MACIÇA

Consumo de materiais totais do edifício em laje maciça			
Superfície total: 718,32m ²			
Elemento	Formas (m ²)	Volume (m ³)	Aço (kg)
Lajes	617,17	74,07	3.810,00
Vigas fundo	95,51	47,66	3.056,00
Vigas lateral	432,38	----	----
Pilares	214,80	11,62	3.348,00
TOTAL	1.359,86	133,35	10.214,00

FONTE: FIGUEIREDO FILHO et al, 2002.

Com os consumos da TABELA 37 e TABELA 38 apresenta-se os custos finais dos dois sistemas estruturais.

TABELA 39 – CUSTO TOTAL PARA A ESTRUTURA COM LAJE MACIÇA

Material/Serviço	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Forma	m ²	550,00	33,07	18.188,50
Concreto	m ³	133,54	293,96	39.255,42
Aço	Kg	10.228,22	3,34	34.162,25
Pedreiro	hora	370,35	3,75	1.388,81
Servente	hora	1.037,00	2,50	2.592,50
TOTAL			Total	95.587,48

FONTE: FIGUEIREDO FILHO et al, 2002.

TABELA 40 – CUSTO TOTAL PARA A ESTRUTURA COM LAJE PRÉ-MOLDADA

Material/Serviço	Unidade	Quantidade	Custo Unitário (R\$)	Custo Total (R\$)
Laje pré-moldada	m ²	718,32	35,00	25.141,20
Forma	m ²	260,00	33,07	8.598,20
Concreto	m ³	99,10	293,96	29.131,44
Aço	kg	6.574,00	3,34	21.957,16
Pedreiro	hora	486,30	3,75	1.823,63
Servente	hora	893,20	2,50	2.233,00
TOTAL				88.884,63

FONTE: FIGUEIREDO FILHO et al, 2002.

Figueiredo Filho et al. (2002) concluiu com os resultados apresentados anteriormente, que o custo com a mão-de-obra é quase o mesmo e a diferença entre o custo final entre os dois sistemas esta em torno de 7,5%, devem ser considerados também, ao se optar por um ou outro sistema, a facilidade de execução, a rapidez e o desperdício.

Segundo Silva e Guimarães (2002), na análise de três edifícios sendo eles:

- Edifício (A) - um edifício residencial com quatro pavimentos com dois apartamentos por andar, tendo o pavimento tipo uma área de 206,83m²;
- Edifício (B) - com mesma arquitetura do primeiro e com 12 pavimentos;
- Edifício (C) - um edifício comercial que possui alguns furos na laje para fins de "shafts", com 600,80 m² de área no pavimento tipo, e com quatro pavimentos.

Foram analisados vários tipos de alternativas estruturais para cada um dos edifícios citados acima sendo que cada tipo de análise será demonstrado a seguir.

Estruturas para o edifício (A)

- Estrutura A1 - estrutura convencional com lajes maciças, vigas e pilares.

- Estrutura A2 - estrutura convencional com lajes pré-moldadas treliçadas, vigas e pilares. O lançamento utilizado para vigas e pilares nesta estrutura é o mesmo utilizado para a estrutura A1.
- Estrutura A3 - estrutura com lajes pré-moldadas treliçadas com vãos de 8,75 m.
- Estrutura A4 - estrutura com laje lisa.

A estrutura convencional mencionada em A1 é aquela em que as lajes se apoiam em vigas, que descarregam em pilares. E as lajes lisas são as apoiadas diretamente nos pilares e sem capitéis.

Um comparativo de custos entre cada estrutura analisada é apresentado nas tabelas 41 e 42.

TABELA 41 - CUSTOS DAS ESTRUTURAS PARA O EDIFÍCIO (A) EM (R\$)

Estrutura	Elementos Horizontais				Forma	Total
	Concreto	Aço	Elemento Pré - Moldado	Subtotal		
A1	37.924,00 (31%)	26.724,00 (22%)	-	64.648,00 (53%)	57.013,00 (47%)	121.661,00 (100%)
A2	27.992,00 (26%)	18.979,00 (17%)	19.284,00 (18%)	66.255,00 (61%)	42.083,00 (39%)	108.338,00 (100%)
A3	40.397,00 (30%)	16.673,00 (12%)	43.035,00 (31%)	100.105,00 (73%)	36.482,00 (27%)	136.587,00 (100%)
A4	48.868,00 (36%)	40.243,00 (29%)	-	89.111,00 (65%)	48.564,00 (35%)	137.675,00 (100%)

FONTE: SILVIA E GUIMARÃES, 2002.

TABELA 42 – COMPARATIVO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO (A) EM (R\$)

Estrutura A1	Estrutura A2	Estrutura A3	Estrutura A4
121.661,00 (100%)	108.338,00 (89%)	136.586,00 (112%)	137.675,00 (113%)

FONTE: SILVIA E GUIMARÃES, 2002.

Analisando como referência a estrutura A1 a estrutura A2 é (11%) mais econômica, e as estruturas A3 e A4 são (12%) e (13%) respectivamente mais caras que a estrutura de referência. A diferença entre o menor e o maior custo é de (27%).

Estruturas para o edifício (B)

- Estrutura B1 - estrutura convencional com lajes maciças, vigas e pilares.

- Estrutura B2 - estrutura convencional com lajes pré-moldadas treliçada, vigas e pilares. O lançamento utilizado para vigas e pilares nesta estrutura é o mesmo utilizado para a estrutura B1.
- Estrutura B3 - estrutura com laje lisa.

Tem-se então um comparativo de custos entre cada estrutura analisada conforme as tabelas 43 e 44.

TABELA 43 - CUSTOS DAS ESTRUTURAS PARA O EDIFÍCIO (B) EM (R\$)

Estrutura	Materiais Permanentes				Forma	Total
	Concreto	Aço	Pré – Moldado	Subtotal		
B1	126.092,00 (31%)	102.091,00 (25%)	-	228.183,00 (56%)	182.654,00 (44%)	410.837,00 (100%)
B2	107.387,00 (28%)	76.791,00 (20%)	50.137,00 (13%)	234.315,00 (61%)	151.191,00 (39%)	385.506,00 (100%)
B3	159.586,00 (34%)	137.956,00 (30%)	-	297.542,00 (64%)	163.971,00 (36%)	461.513,00 (100%)

FONTE: SILVIA E GUIMARÃES, 2002.

TABELA 44 – COMPARATIVO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO (B) EM (R\$)

B1	B2	B3	B4
410.837,00 (100%)	394.487,00 (96%)	385.506,00 (94%)	461.513,00 (112%)

FONTE: SILVIA E GUIMARÃES, 2002.

Tomando-se como referência a estrutura B1, as estruturas B2 e B3 são (4%) e (6%) respectivamente mais econômicas e a estrutura B4 é (12%) mais cara. A diferença entre o menor e o maior custo é de 20%.

Estruturas para o edifício (C)

- Estrutura C1 - estrutura convencional com lajes maciças, vigas e pilares.
- Estrutura C2 - estrutura convencional com lajes pré-moldadas treliçadas, vigas e pilares.

Apresenta-se um comparativo de custos entre cada estrutura analisada conforme as tabelas 45 e 46.

TABELA 45 - CUSTOS DAS ESTRUTURAS PARA O EDIFÍCIO (C) EM (R\$)

Estrutura	Materiais Permanentes				Forma	Total
	Concreto	Aço	Elemento Pré – Moldado	Subtotal		
C1	161.210,00 (37%)	125.688,00 (29%)	-	286.898,00 (66%)	148.293,00 (34%)	435.191,00 (100%)
C2	113.949,00 (30%)	65.778,00 (17%)	90.673,00 (24%)	270.400,00 (71%)	108.283,00 (29%)	378.683,00 (100%)

FONTE: SILVIA E GUIMARÃES, 2002.

TABELA 46 – COMPARATIVO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO (C) EM (R\$)

C1	C2
435.191,00 (100%)	378.683,00 (87%)

FONTE: SILVIA E GUIMARÃES, 2002.

Verificar na TABELA 46 que a estrutura C2 teve uma redução de (13%) no custo total em relação à estrutura C1. A estrutura C2 que utilizou a laje pré-moldada treliçada, obteve os melhores resultados do que a estrutura C1 com laje maciça.

A conclusão do autor que as estruturas que utilizaram lajes treliçadas pré-moldadas foram as mais econômicas em função dos vãos de 3 a 4 metros.

Pizzetti (2003), analisou um edifício residencial e comercial composto por um pavimento térreo de lojas, um pavimento de garagem, doze pavimentos tipos e casa de máquina, onde foi mantido o sistema estrutural convencional (lajes, vigas e pilares) e modificando a resistência do concreto de 20 MPa até 50 MPa . Conforme as tabelas a seguir:

TABELA 47 – RESULTADOS DOS PILARES

F _{ck} (MPa)	Pilares		
	Volume de Concreto (m ³)	Área de Formas (m ²)	Aço (kg)
20	270 (1)	2.415,0 (1)	23.006,0 (1)
35	200 (-26%)	2.100,0 (-13%)	16.130,0 (-30%)
50	180 (-33,3%)	1.800,0 (-25,5%)	13.900,0 (-39,5%)
	Custo - Concreto	Custo- Formas	Custo – Aço
20	R\$ 51.570,0 (1)	R\$ 181.125,0 (1)	R\$ 39.110,2 (1)
35	R\$ 47.600,0 (-7,7%)	R\$ 157.500,0 (-13%)	R\$ 27.421,0 (-30%)
50	R\$ 61.920,0 (+20%)	R\$ 135.000,0 (-25,5%)	R\$ 23.630,0 (-9,5%)

FONTE: PIZZET, 2003.

TABELA 48 – CUSTO TOTAL PARA OS PILARES

Custo Total – Pilares	
F_{ck} (MPa)	Total
20	R\$ 271.805,2 (1)
35	R\$ 233.002,1 (-14,3%)
50	R\$ 224.990,0 (-17,3%)

FONTE: PIZZET, 2003.

TABELA 49 – RESULTADO DAS VIGAS

Vigas	
f_{ck} (MPa)	Aço (kg)
20	23.848,0 (1)
35	22.810,0 (-4,4%)
50	21.653,0 (-9,2%)
Custo – Aço	
20	R\$ 40.541,60 (1)
35	R\$ 38.777,50 (-4,4%)
50	36.776,10 (-9,2%)

FONTE: PIZZET, 2003.

TABELA 50 – RESULTADOS DAS LAJES

Lajes	
f_{ck} (MPa)	Lajes
20	28.164,0 (1)
35	22.675,0 (-19,5%)
50	22.401,0 (-20,5%)
Custo - Aço	
20	R\$ 47.878,80 (1)
35	R\$ 38.547,50 (-19,5%)
50	R\$ 38.081,70 (-20,5%)

FONTE: PIZZET, 2003.

TABELA 51 – CUSTO TOTAL PARA AS VIGAS E LAJES

Custo Total – Vigas e Lajes	
f_{ck} (MPa)	Aço (kg)
20	R\$ 88.420,40 (1)
35	R\$ 77.325,00 (-12,5%)
50	R\$ 74.857,80 (-15,4%)

FONTE: PIZZET, 2003.

O autor concluiu que aumentando o (f_{ck}) os ganhos em consumo e os custos nas lajes e vigas são pequenos, mas consideráveis nos pilares. Sugeriu utilizar em edifícios desse porte um (f_{ck}) de 35 MPa nos pilares e 20 a 30 MPa nas vigas e lajes, contribuindo também na durabilidade da estrutura.

2.3 MATERIAIS QUE SERÃO USADOS NAS LAJES DOS MODELOS

2.3.1 Formas plásticas (moldes plásticos)

Nas lajes do modelo 03 e do modelo 05 foram utilizadas formas plásticas (moldes plásticos) (FIGURA 5) e (FIGURA 6).



FIGURA 5 – DETALHE DAS LAJES COM USO DE FORMAS PLÁSTICAS
FONTE: CATÁLOGO ATEX, 2006.

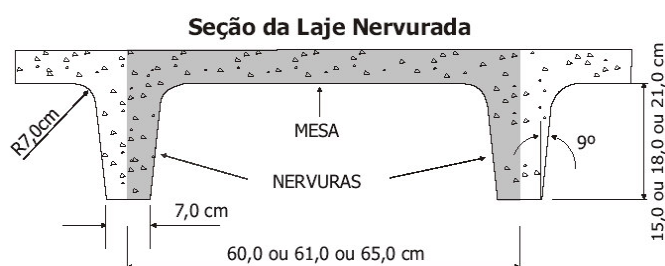


FIGURA 6 – PLANTAS DAS LAJES E SEÇÃO TRANSVERSAL GENÉRICA
FONTE: CATÁLOGO ASTRA, 2006.

2.3.2 O EPS – poliestireno expandido

No modelo 04 utilizou-se com material de enchimento o EPS que é uma sigla internacional do Poliestireno Expandido conhecido no Brasil como isopor, resultante da polimerização do estireno em água recebendo uma adição de gás pentano como agente expensor. São industrializados em pérolas milimétricas que podem se expandir até 50 vezes quando é submetido ao vapor d'água. Expandidas, essas pérolas apresentam em seu volume 98% de ar e apenas 2% de poliestireno.

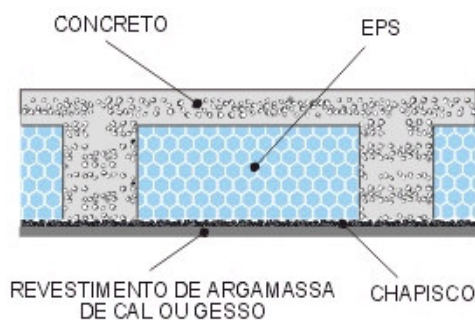


FIGURA 7 – SEÇÃO TRANSVERSAL DA LAJE COM EPS
FONTE: ABRAPEX, 2006.

2.4 ESTRUTURAS DE CONCRETO PROTENDIDO

Conforme a ABNT NBR 6118:2003, concretos protendidos são aqueles nos quais parte das armaduras é previamente alongada por equipamentos especiais de protensão com a finalidade de, em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no estado limite último.

Segundo Albuquerque (1998), sistema de proteção não aderente (monocordoalhas engraxadas) usado em lajes e vigas para edifícios que requerem uma proteção leve, apresenta-se como uma boa alternativa.

Na FIGURA 8 apresenta-se uma montagem do sistema com o uso de monocordoalha engraxadas.

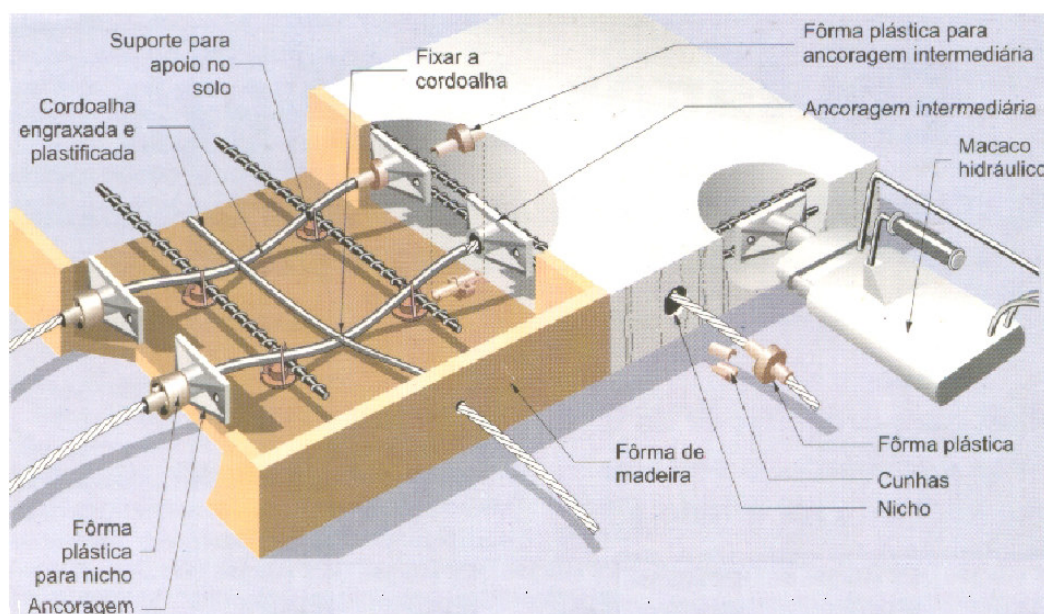


FIGURA 8 – MONTAGEM DE UMA LAJE COM MONOCORDOALHAS.
FONTE: REVISTA TÉCHNE, JAN 1997.

Segundo Cunha e Souza (1994), vantagens das lajes protendidas são:

- redução no prazo de execução da obra com as retiradas antecipadas das formas e escoramentos, diminuindo o custo do empreendimento;
- quantidade de armadura (de alta resistência) menor se comparado com a laje cogumelo em concreto armado, o que facilita consideravelmente a execução e também uma diminuição no custo;
- espessuras mais reduzidas o que diminui o peso próprio e o volume de concreto;

- com o efeito favorável da compressão, tem-se uma diminuição ou inexistência da fissuração e também menores deflexões;
- possibilidade de eliminar as deformações provenientes das cargas permanentes e de uma parcela das cargas de utilização;
- maior resistência ao puncionamento, obtida pela colocação adequada dos cabos de protensão na região próximas aos pilares.

Os cuidados que se devem ter com as lajes cogumelo em concreto armado são quanto a verificação da resistência a punção, a limitação das flechas, as vibrações e a necessidade adequada do contraventamento da estrutura.

2.5 DIRETRIZES PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO ESTRUTURAL

2.5.1 Concepção estrutural

Para Albuquerque (1998), “de posse do projeto arquitetônico, em geral se faz um estudo de soluções estruturais que serão analisadas por uma equipe multidisciplinar. O arquiteto apresentara restrições para manter a funcionalidade e a estética do seu projeto, o engenheiro de instalações posicionará as tubulações, o construtor indicará os recursos técnicos disponíveis para a construção e o incorporador estabelecerá a viabilidade financeira do investimento”. Todos esses fatores irão auxiliar o projetista estrutural na elaboração do projeto estrutural definitivo.

2.5.1.1 Recomendações de alguns parâmetros para os elementos estruturais

De acordo com Albuquerque (1998) e Silvia (2001), algumas recomendações para os elementos estruturais:

- Lajes - no máximo duas espessuras diferentes por pavimento e alguns casos três espessuras; não se consideram as lajes em balanço.
- Vigas - as variações das dimensões das vigas no pavimento tipo não devem ultrapassar três seções, sendo que um número ideal de seções seria duas e, um número de três seções seria bom.

- Pilares – variar as seções no pavimento tipo de máximo cinco vezes seria bom e na média a cada dez andares.

2.5.2 Desenvolvimento do projeto estrutural

A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL – ABECE, através da publicação do boletim (recomendações para elaboração de projetos estruturais de edifícios de concreto), procura fornecer recomendações básicas e orientações para os projetistas e contratantes no desenvolvimento de projetos estruturais. As recomendações estão subdivididas nos seguintes itens:

2.5.2.1 Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT

Os projetistas estruturais têm que ter conhecimento das normas vigentes relacionadas com projeto:

- NBR 6118:2003 – Projetos de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 6120:1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento;
- NBR 6122:1996 – Projeto e execução de fundações - procedimento;
- NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento;
- NBR 7480:1996 – Barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado – Especificação;
- NBR 7482:1991 – Fios de aço para concreto protendido - Especificação;
- NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento;
- NBR 8953:1992 – Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência – Classificação;
- NBR 9062:2006 – Projetos e execução de estruturas de concreto pré-moldado - Procedimento;
- NBR 15200:2004 – Projeto de estruturas de concreto em situação de incêndio - Procedimento;

- NBR 14931:2003 – Execução de estruturas de concreto – Procedimento.

2.5.2.2 Qualidade e durabilidade

De acordo com a ABNT NBR 6118:2003, “as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem suas segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil”.

TABELA 52 – CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Classe de agressividade ambiental (CAA)	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito do projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1) 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1) 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1) 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviços de apartamento residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegida de chuvas em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques indústrias, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

FONTE: TABELA 6.1 DA ABNT NBR 6118:2003.

TABELA 53 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DE AGRESSIVIDADE E QUALIDADE DO CONCRETO

Concreto	Tipo	Classe de agressividade (tabela 24)			
		I	II	III	IV
Relação água/aglomerante em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 53)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

1 O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

2 CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado.

3 CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

FONTE: TABELA 7.1 DA ABNT NBR 6118:2003.

TABELA 54 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL E COBRIMENTO NOMINAL PARA $\Delta c=10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos, e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas pelo item 7.4.7.5 respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

FONTE: TABELA 7.2 DA ABNT NBR 6118:2003.

TABELA 55 – EXIGÊNCIAS DE DURABILIDADE RELACIONADAS À FISSURAÇÃO E À PROTEÇÃO DA ARMADURA, EM FUNÇÃO DAS CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação freqüente

¹⁾ A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25$ mm (figura 3.1).

NOTAS

1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.

2 Para as classes de agressividade ambiental CAA-III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

FONTE: TABELA 13.3 DA ABNT NBR 6118:2003.

2.5.2.3 Dimensões limites

De acordo com a ABNT NBR 6118:2003, a prescrição de valores limites mínimos para as dimensões de elementos estruturais de concreto tem como objetivo evitar um desempenho inaceitável para os elementos estruturais e propiciar condições de execução adequadas.

- Vigas e vigas paredes – a seção transversal das vigas não deve apresentar largura menor que 12 cm, e das vigas parede menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições: alojamento das armaduras e lançamento e vibração do concreto.
- Pilares e pilares parede – a menor dimensão da seção transversal deve ser 19 cm, em casos especiais permite-se às dimensões entre 19 cm e 12 cm, multiplicando as ações no dimensionamento por um coeficiente adicional (γ_n) e acordo com a (tabela 57).

TABELA 56 – VALORES DO COEFICIENTE ADICIONAL (γ_n)

a	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$;
 b é a menor dimensão da seção transversal do pilar.
 NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

FONTE: TABELA 13.1 DA ABNT NBR 6118:2003.

- Lajes maciças – devem respeitar os seguintes limites mínimos para a espessura:
 - lajes de cobertura não em balanço adotar 5 cm;
 - lajes de piso ou de cobertura em balanço adotar 7 cm;
 - lajes que suportem veículos de peso total (≤ 30 KN) adotar 10 cm;
 - lajes que suportem veículos de peso total (≥ 30 KN) adotar 12 cm;
 - lajes com protensão adotar 15 cm.

- Lajes nervuradas - quando não houver tubulações horizontais embutidas, a espessura da mesa deve ser maior ou igual a $1/15$ da distância entre nervuras e não menor que 3 cm. com valor mínimo absoluto de 4 cm existindo tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm.

A espessura das nervuras não deve ser inferior a 5 cm, e nas nervuras com espessura menor que 8 cm não devem conter armadura de compressão.

Para o projeto das lajes nervuradas devem ser obedecidas as seguintes condições:

- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras menor ou igual a 60 cm, pode ser dispensada a verificação da flexão da mesa, e para a verificação do cisalhamento da região das nervuras, permite-se a consideração dos critérios de laje;

- para lajes com espaçamento entre eixos de nervuras entre 60 cm e 110 cm, exige-se a verificação da flexão da mesa e as nervuras devem ser verificadas ao cisalhamento como vigas; permite-se essa verificação como lajes se o espaçamento entre eixos de nervuras for menor que 90 cm e a espessura média das nervuras for maior que 12 cm;

- para lajes nervuradas com espaçamento entre eixos de nervuras maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura.

2.5.2.4 Deslocamentos limites

De acordo com ABNT NBR 6118:2003, os deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura. Para os efeitos desta Norma são classificados nos quatro grupos básicos a seguir relacionados e devem obedecer aos limites estabelecidos na tabela 58.

TABELA 57 – LIMITES PARA DESLOCAMENTOS

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a considerar	Deslocamento limite
Aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$\ell / 250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$\ell / 350$
Efeitos estruturais em serviço	Superfícies que devem drenar água	Coberturas e varandas	Total	$\ell / 250^{1)}$
	Pavimentos que devem permanecer planos	Ginásios e pistas de boliche	Total	$\ell / 350 +$ contraflecha ²⁾
			Ocorrido após a construção do piso	$\ell / 600$
	Elementos que suportam equipamentos sensíveis	Laboratórios	Ocorrido após nivelamento do equipamento	De acordo com recomendação do fabricante do equipamento
Efeitos em elementos não estruturais	Paredes	Alvenaria, caixilhos e revestimentos	Após a construção da parede	$\ell / 500^{3)}$ ou 10 mm ou $\theta = 0,0017 \text{ rad}^{4)}$
		Divisórias leves e caixilhos telescópicos	Ocorrido após a instalação da divisória	$\ell / 250^{3)}$ ou 25 mm
		Movimento lateral de edifícios	Provocado pela ação do vento para combinação freqüente ($\psi_1=0,30$)	$H/1\,700$ ou $H/850^{5)}$ entre pavimentos ⁶⁾
		Movimentos térmicos verticais	Provocado por diferença de temperatura	$\ell / 400^{7)}$ ou 15 mm
	Forros	Movimentos térmicos horizontais	Provocado por diferença de temperatura	$H/500$
		Revestimentos colados	Ocorrido após construção do forro	$\ell / 350$
		Revestimentos pendurados ou com juntas	Deslocamento ocorrido após construção do forro	$\ell / 175$
	Pontes rolantes	Desalinhamento de trilhos	Deslocamento provocado pelas ações decorrentes da frenagem	$H/400$
Efeitos em elementos estruturais	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.		

¹⁾ As superfícies devem ser suficientemente inclinadas ou o deslocamento previsto compensado por contraflechas, de modo a não se ter acúmulo de água.

²⁾ Os deslocamentos podem ser parcialmente compensados pela especificação de contraflechas. Entretanto, a atuação isolada da contraflecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que $\ell / 350$.

³⁾ O vão ℓ deve ser tomado na direção na qual a parede ou a divisória se desenvolve.

⁴⁾ Rotação nos elementos que suportam paredes.

⁵⁾ H é a altura total do edifício e H_i o desnível entre dois pavimentos vizinhos.

⁶⁾ Esse limite aplica-se ao deslocamento lateral entre dois pavimentos consecutivos devido à atuação de ações horizontais. Não devem ser incluídos os deslocamentos devidos a deformações axiais nos pilares. O limite também se aplica para o deslocamento vertical relativo das extremidades de lintéis conectados a duas paredes de contraventamento, quando H_i representa o comprimento do lintel.

⁷⁾ O valor ℓ refere-se à distância entre o pilar externo e o primeiro pilar interno.

NOTAS

1 Todos os valores limites de deslocamentos supõem elementos de vão ℓ suportados em ambas as extremidades por apoios que não se movem. Quando se tratar de balanços, o vão equivalente a ser considerado deve ser o dobro do comprimento do balanço.

2 Para o caso de elementos de superfície, os limites prescritos consideram que o valor ℓ é o menor vão, exceto em casos de verificação de paredes e divisórias, onde interessa a direção na qual a parede ou divisória se desenvolve, limitando-se esse valor a duas vezes o vão menor.

3 O deslocamento total deve ser obtido a partir da combinação das ações características ponderadas pelos coeficientes definidos na seção 11.

4 Deslocamentos excessivos podem ser parcialmente compensados por contraflechas.

FONTE: TABELA 13.2 DA ABNT NBR 6118:2003.

3 METODOLOGIA

3.1 INTRODUÇÃO

Para obter o consumo de materiais aplicados (concreto, aço e formas) dos seis sistemas estruturais de um edifício residencial de múltiplos pisos, foram elaborados os projetos estruturais completos com todos os detalhamentos utilizando o software de cálculo estrutural CAD/TQS para windows - versão 12.6. O programa utilizado no desenvolvimento do trabalho é de propriedade da empresa Kalkulo Projetos Estruturais Ltda com sede em Curitiba – PR.

Segundo Covas e Belk (1999), no desenvolvimento do projeto estrutural de concreto armado o engenheiro deve possuir uma grande capacitação técnica na realização da concepção estrutural, análise, dimensionamento, detalhamento e desenho dos sistemas estruturais, porque cada projeto difere do outro na forma, dimensões dos elementos e solicitações. Envolve uma série de trabalhos repetitivos no tratamento das informações técnicas e extensas operações de cálculo. Na escolha do melhor sistema estrutural o projetista na maioria das vezes recorre a um processo iterativo para escolher a melhor solução, realizando modelagem, análise, avaliação e revisão dos elementos estruturais, até que atendam os quesitos construtivos e as necessidades do projeto. Com esse enfoque, os softwares para projetos surgem como uma importante ferramenta de que o projetista estrutural necessita.

O projeto estrutural constitui a representação gráfica de todos os elementos resistentes da construção como lajes, vigas, pilares, escadas, caixas d'água e blocos ou sapatas de fundação. Estes elementos devem contemplar uma estrutura que deve ser elaborada a partir do projeto arquitetônico específico, encomendado pelo empreendedor e elaborado pelo arquiteto. Estes elementos além de satisfazer as condições de segurança estrutural, durabilidade e funcionalidade, devem também satisfazer o projeto arquitetônico e os projetos de instalações.

O produto final do projeto estrutural é um conjunto de desenhos que representam em duas dimensões todos os elementos do sistema estrutural (vigas, pilares, blocos, lajes, escadas, etc) com suas dimensões e detalhamentos das armaduras. Antes do uso do computador tais desenhos eram feitos à mão (por desenhistas) sobre pranchetas, em uma folha de papel, utilizando o lápis ou a

caneta com tinta nanquim. Com o uso do computador tais desenhos passaram a ser feitos com o auxílio de programas específicos de cálculo e desenho, em arquivos eletrônicos.

A utilização de um software de cálculo estrutural requer do projetista uma boa formação teórica e uma noção precisa de ordem de grandeza para avaliar os dados obtidos. Muita experiência é necessária para evitar problemas com o seu uso. Ressalta-se ainda que a computação gráfica não é uma "máquina de projetar" automática, mas sim uma ferramenta poderosa para auxiliar os projetistas no desenvolvimento dos seus projetos.

3.2 O SOFTWARE CAD/TQS E AS AÇÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO ESTRUTURAL DOS MODELOS

3.2.1 O software CAD/TQS

O software CAD/TQS (2006), é “um sistema integrado para projetos de estruturas tridimensionais de concreto armado, que inclui o cálculo matricial espacial de solicitações, deslocamentos, dimensionamentos, detalhamento e desenho para os elementos de lajes, vigas, pilares, sapatas e blocos”. Os tipos de lajes que sistema resolve são as convencionais, nervuradas (uma ou duas direções), treliçadas, planas e as lajes protendidas.

No desenvolvimento dos projetos estruturais foram considerados os seguintes parâmetros do software:

- nos pavimentos foi utilizado como modelo estrutural o sistema de grelhas de vigas e lajes;
- para os esforços verticais e horizontais foi utilizado o modelo de pórtico espacial flexibilizado;
- para a análise dos efeitos de segunda ordem globais foi usado o processo gama z.

3.2.2 Ações utilizadas - carregamentos

Ações permanentes - de acordo com ABNT NBR 6120:1980, adotou-se como peso específico aparente dos materiais:

- tijolos furados: 13 kN/m^3 ;
- argamassa de cal, cimento e areia: 19 kN/m^3 ;
- concreto armado: 25 kN/m^3 .

Para o revestimento dos pisos e dos tetos, adotou-se: 1 kN/m^2 , usual nos escritórios de projetos.

Para os blocos de concreto foi adotado o peso específico aparente de: 14 KN/m^3 , (RAMALHO ; CORRÊA, 2003) utilizado no modelo 02.

Para o poliestireno expandido (EPS) foi considerado: $0,18 \text{ KN/m}^3$, (FRANÇA ; FUSCO, 1997) utilizado no modelo 04.

Ações variáveis para edifícios residenciais - de acordo com NBR 6120:1980, adotou-se:

- dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro: $1,5 \text{ KN/m}^2$;
- despensa, área de serviço e banheiros: 2 kN/m^2 ;
- escadas sem acesso ao público: $2,5 \text{ kN/m}^2$;
- casa de máquinas (incluindo o peso das máquinas) a ser determinado em cada caso, porém com um valor mínimo de: $7,5 \text{ kN/m}^2$.

Ações variáveis referentes à ação do vento (CURITIBA-PR) – de acordo com ABNT NBR 6123:1988, adotou-se:

- velocidade básica do vento: $V_0=42 \text{ m/s}$;
- fator do terreno: $S_1=1$;
- categoria IV, classe da edificação B: S_2 =variável ao longo da altura da edificação;
- fator estatístico: $S_3=1$;
- vento na direção (0^0 - 180^0): $C_{ax}=1,25$;
- vento na direção (90^0 - 270^0): $C_{ay}=1,20$.

4 APRESENTAÇÃO DO PROJETO ARQUITETÔNICO E DO PROJETO ESTRUTURAL

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados o projeto arquitetônico do edifício residencial e o projeto estrutural de todos os modelos objeto deste estudo, com os resumos quantitativos dos materiais aplicados.

4.2 PROJETO ARQUITETÔNICO

O projeto arquitetônico do edifício residencial com 12 pavimentos é de autoria do escritório Ricardo Amaral Arquitetos Associados com sede em Curitiba - PR, o qual foi cedido gentilmente para este estudo.

Na realização do estudo foram feitas pequenas alterações no pavimento térreo, com a retirada da cisterna sob a central de aquecimento e de uma galeria que liga a escada com as garagens do lado esquerdo do prédio. O projeto arquitetônico é composto dos seguintes pavimentos:

- pavimento térreo com área construída de 379,0 m² (FIGURA 9);
- primeiro pavimento com área construída de 402,0 m² (FIGURA 10);
- dez pavimentos tipos com área total construída de 3.425,0 m² (FIGURA 11);
- pavimento de cobertura do tipo e casa de máquinas com área construída de 36,0 m² (FIGURA 12);
- pavimento de cobertura da casa de máquinas e barrilete com área construída de 36,0 m² (FIGURA 13);
- caixa d'água com área construída de 72,0 m² (FIGURA 13).

A área total construída de todos os pavimentos é de 4.350,0 m².

Na concepção estrutural do edifício foram considerados todos os pavimentos acima relacionados.

4.2.1 Pavimento térreo

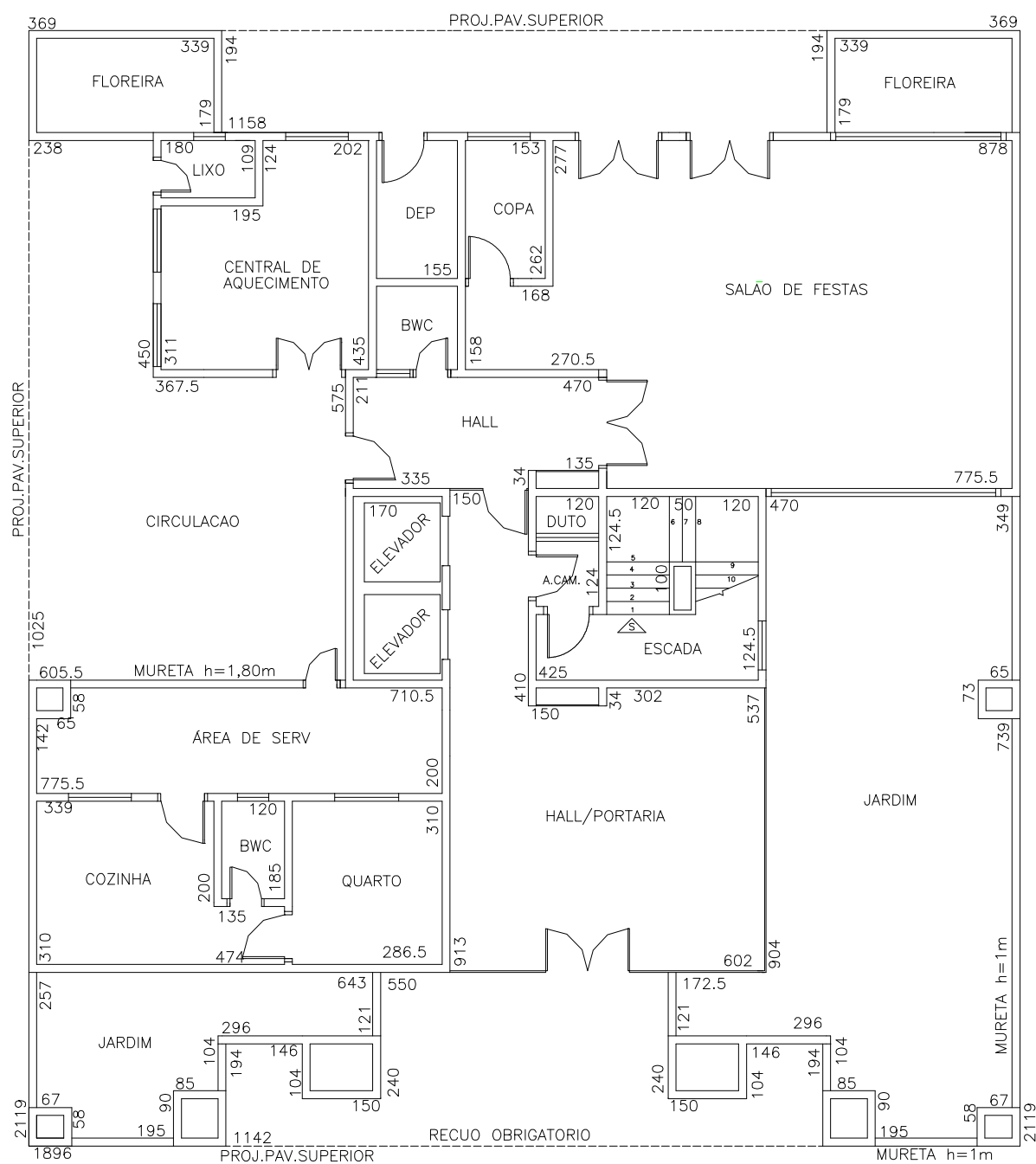


FIGURA 9 – ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO TÉRREO

4.2.4 Pavimento de cobertura do tipo e casa de máquinas

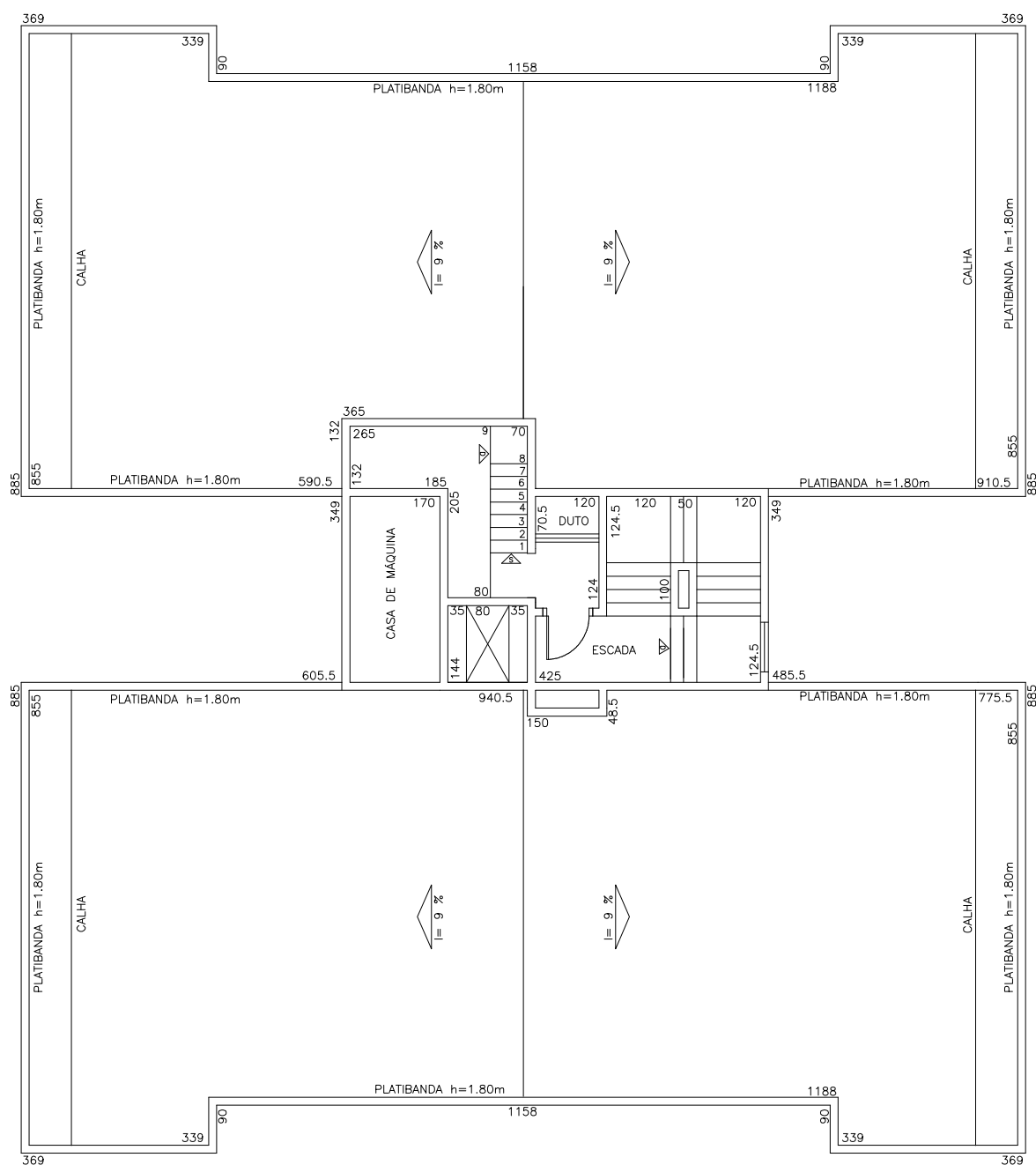


FIGURA 12 – ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO DE COBERTURA DO TIPO E C. MAQ

4.2.5 Pavimento de cobertura da casa de máquinas, barrilete, caixa d` água e corte esquemático do edifício

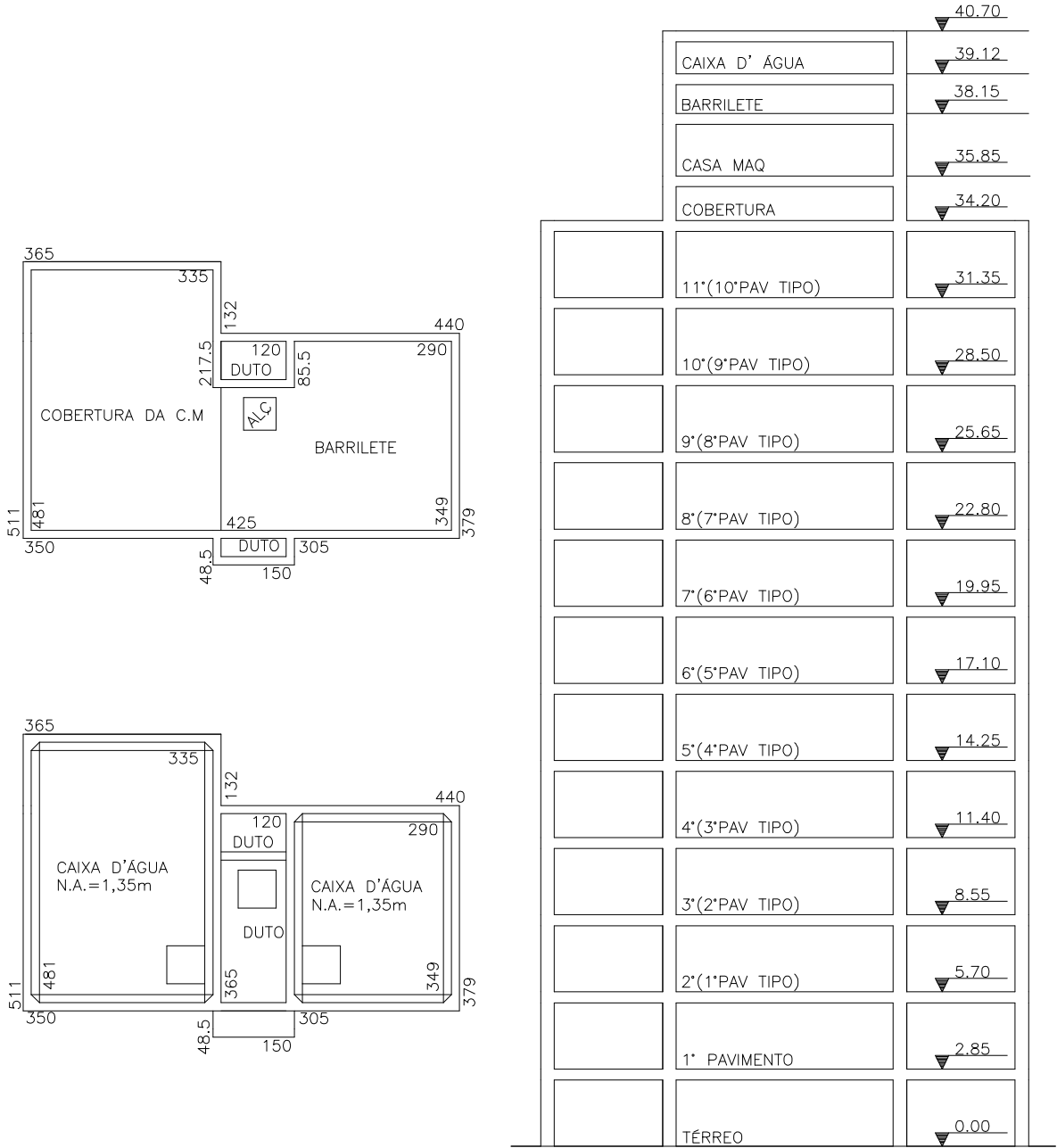


FIGURA 13 - ARQUITETÔNICO DO PAVIMENTO DE COBERTURA DA C.MAQ, BARRILETE, CAIXA D` ÁGUA E CORTE ESQUEMÁTICO DO PRÉDIO

4.3 PROJETO ESTRUTURAL

4.3.1 Modelo 01 – sistema estrutural convencional com laje maciça

Este sistema estrutural é composto de lajes maciças que se apóiam sobre vigas que, por sua vez, apóiam-se em outras vigas ou pilares.

Trata-se de um sistema ainda muito utilizado na região metropolitana de Curitiba, apresentando desvantagens e vantagens conforme abaixo relacionadas.

Desvantagens do sistema:

- algumas obras apresentam grande consumo de concreto, aço e formas;
- as lajes maciças têm seus vãos limitados, principalmente em função do seu peso próprio;
- as limitações dos vãos das lajes maciças, conduzem a uma maior quantidade de vigas;
- a produtividade construtiva da obra fica prejudicada em função das quantidades de vigas;
- os recortes das formas, devido às quantidades de vigas, diminuem os seus reaproveitamentos.

Vantagens do sistema:

- com a existência de muitas vigas estabelece-se a possibilidade de se formarem mais pórticos que contribuirão na rigidez da estrutura de contraventamento;
- o pavimento tem menores deformações, porque as lajes maciças contribuem na rigidez das vigas;
- mão-de-obra existente bastante treinada para sua execução

4.3.1.1 Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 01

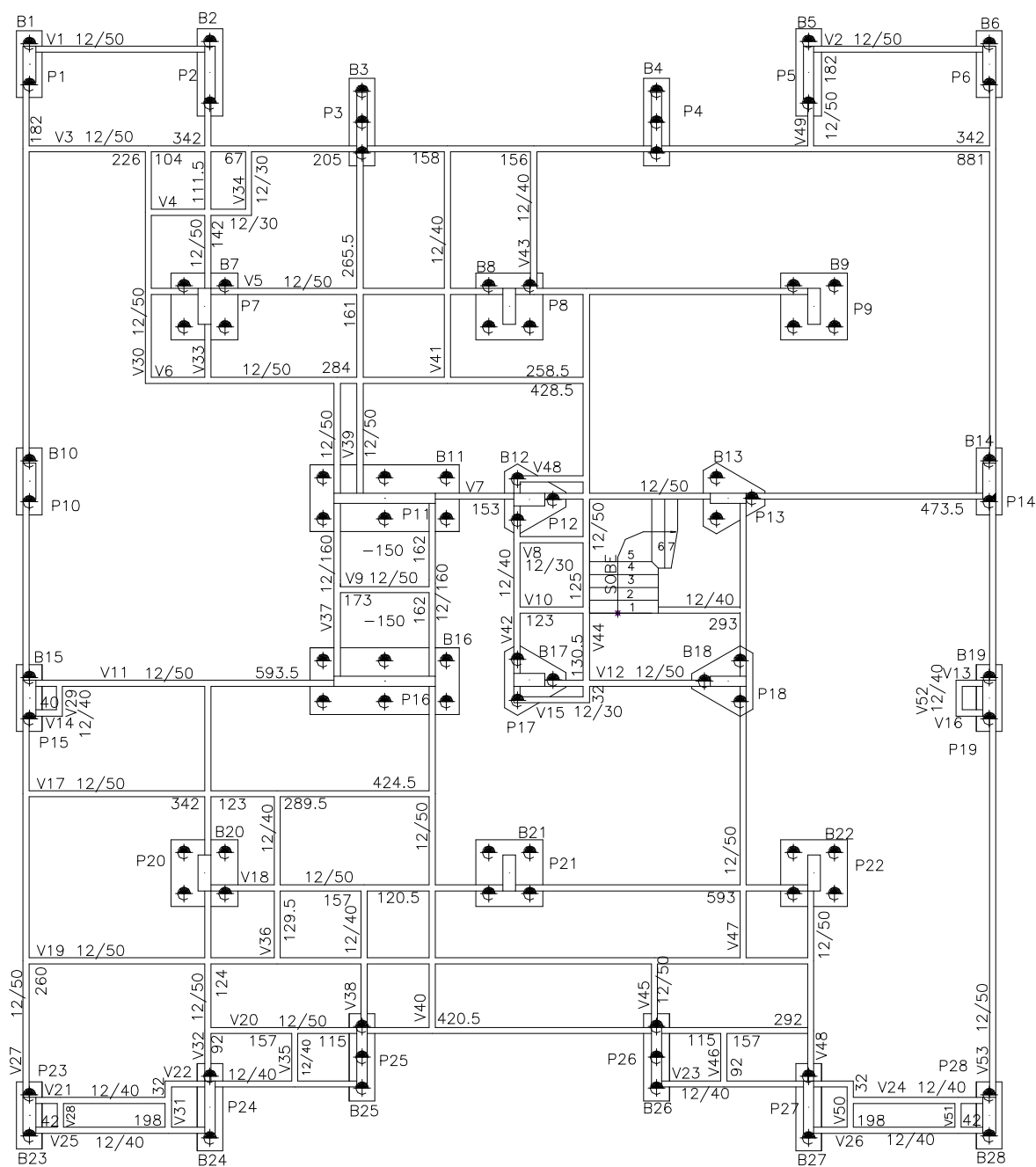


FIGURA 14 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 01

Na composição de custos do sistema estrutural do modelo 01, a fundação com estacas pré-moldadas foi considerada.

4.3.1.2 Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 01

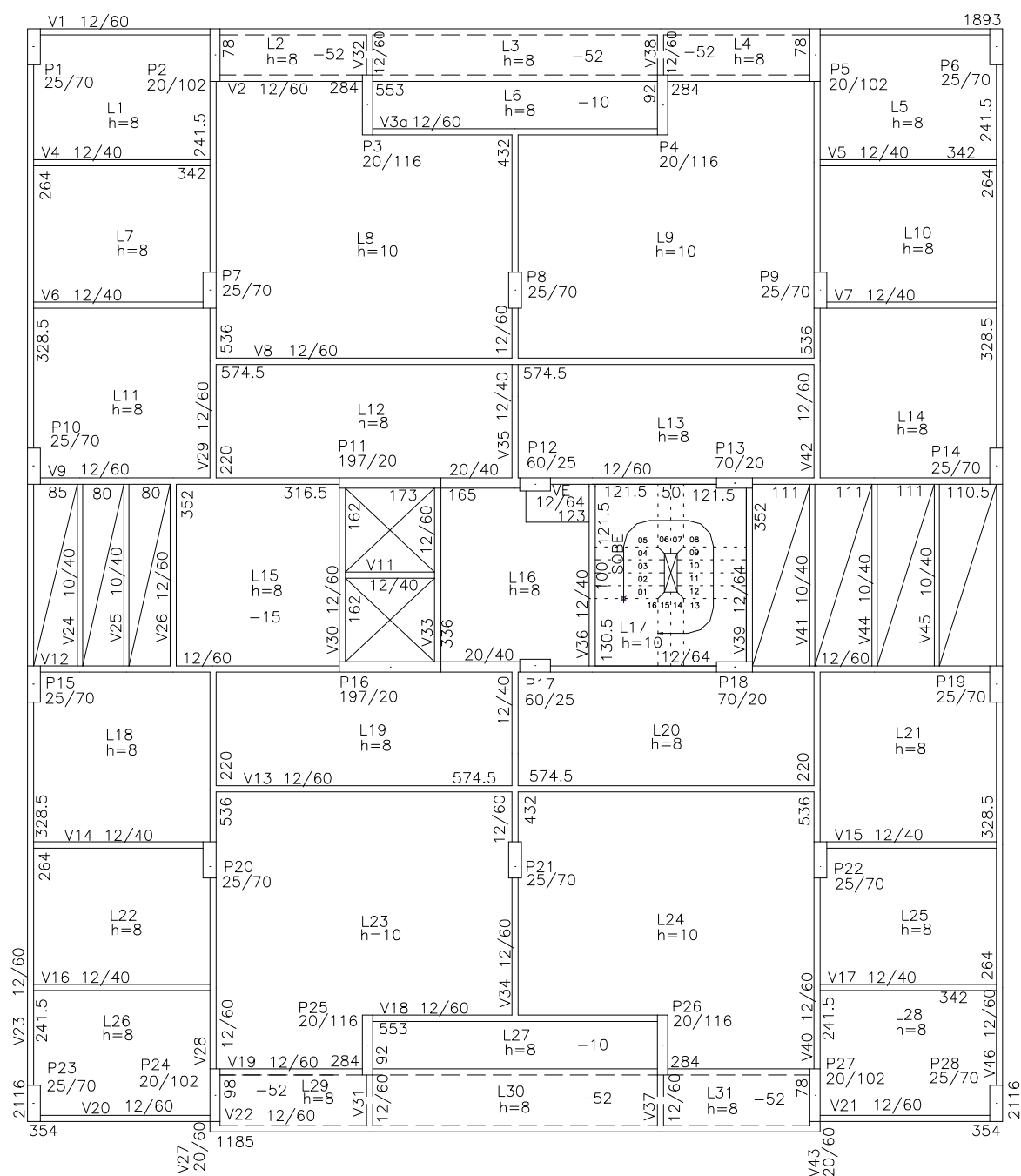


FIGURA 15 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 01

4.3.1.3 Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 01

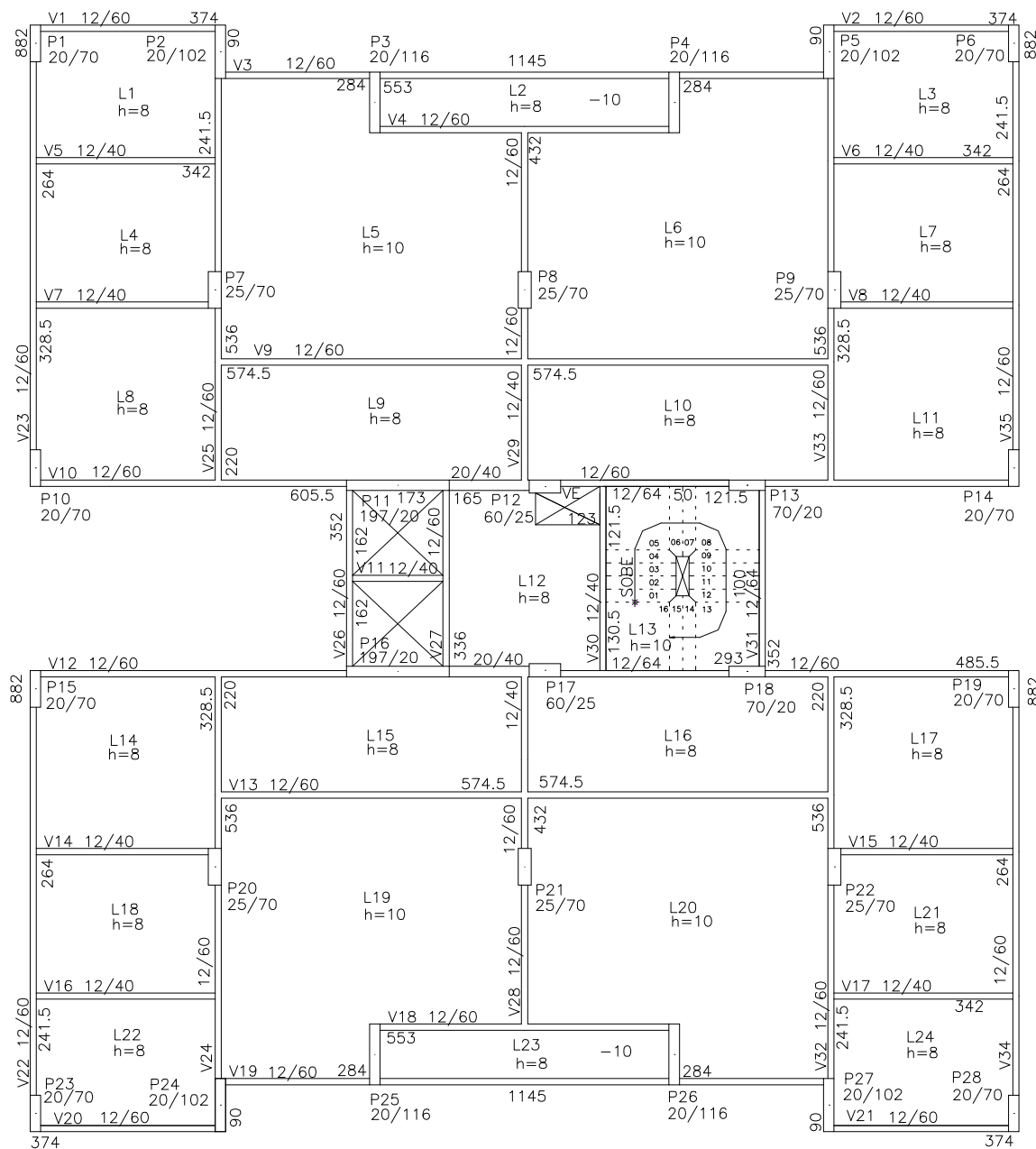


FIGURA 16 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 01

4.3.1.4 Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 01

4.3.1.5 Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d' água e corte esquemático do edifício do modelo 01

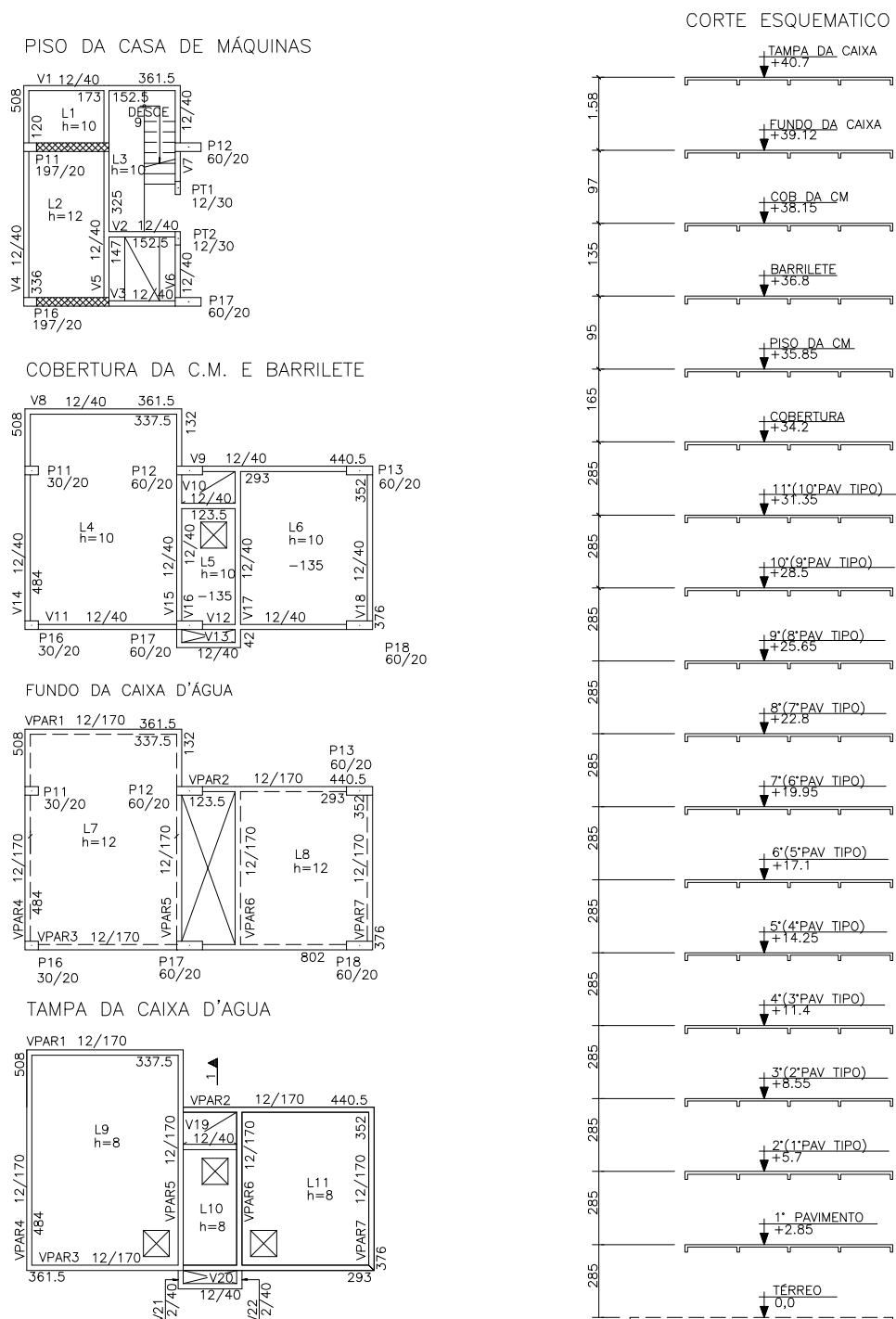


FIGURA 18 – FORMAS DOS ESTRUTURAIS DO PISO E DA COBERTURA DA C.MAQ, CAIXA D' ÁGUA E CORTE ESQUEMÁTICO DO EDIFÍCIO DO MODELO 01

4.3.2 Modelo 02 – sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto

Este modelo é semelhante a um projeto estrutural que a empresa Kalkulo Projetos Estruturais Ltda com sede em Curitiba-PR, realizou para um edifício residencial construído na cidade de Joinville-SC no ano de 1997, o qual foi cedido gentilmente para o estudo deste trabalho.

Do projeto original foram alteradas as dimensões de alguns pilares e também criado um núcleo rígido no poço dos elevadores (pilar P11). Estas alterações foram necessárias principalmente devido à nova exigência da norma ABNT NBR 6118:2003, para consideração de deslocamentos limites.

A evolução natural do sistema estrutural convencional com laje maciça, deu-se com a utilização de lajes lisas nervuradas. Foram retiradas algumas vigas do primeiro pavimento, do tipo e da cobertura em relação ao modelo 01.

As lajes lisas nervuradas são constituídas por um conjunto de nervuras solidarizadas por uma mesa de concreto e entre as quais são colocados materiais de enchimento. Neste modelo o material de enchimento são blocos de concreto que tem a função de modelar as nervuras e deixar plana a superfície inferior.

As lajes do modelo 02 possuem a altura total de 18 cm, com capa de concreto de 4 cm, nervuras de 8 cm e dois blocos de concreto como material de enchimento de (14 x 19,5 x 39) cm em cada módulo de (47 x 47) cm,(FIGURA 19).

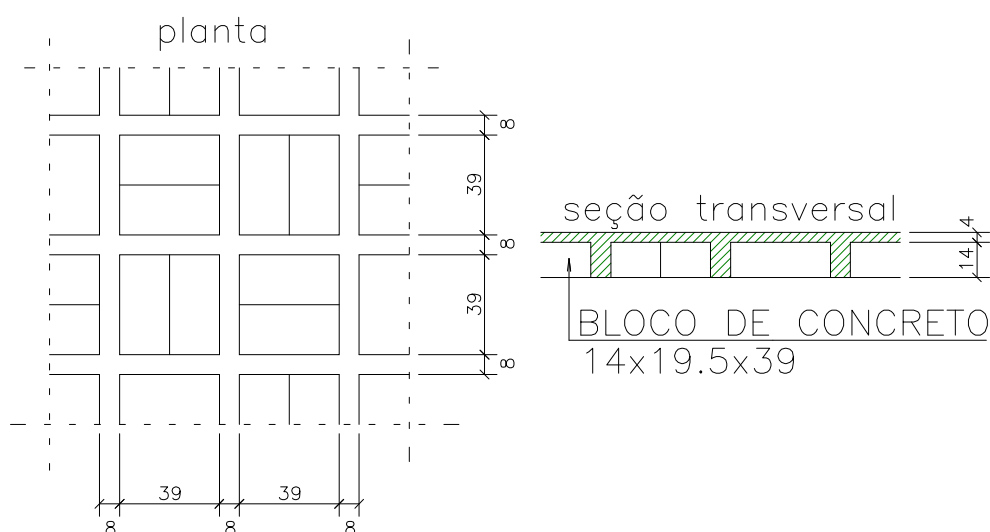


FIGURA 19 – DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 02

As lajes lisas nervuradas estão apoiadas diretamente nos pilares, nas vigas externas e nas vigas da região da escada e dos elevadores. Estas vigas em relação ao modelo 01 foram mantidas para dar mais estabilidade a estrutura.

Este sistema apresenta algumas desvantagens e vantagens conforme abaixo relacionadas.

Desvantagens do sistema:

- a quantidade menor de vigas define menos pórticos de contraventamento, tendo como consequência a perda da estabilidade global da estrutura;
- a perda da estabilidade global, conduz ao aumento das dimensões das vigas e dos pilares;
- a concretagem das lajes se torna mais complexa, principalmente para concretos bombeados que pode deslocar os blocos de concreto da sua posição;
- apresenta uma certa dificuldade na sua montagem, se comparadas com as lajes maciças;
- os painéis de lajes são maiores, conduzindo a maiores deformações;
- o peso próprio dos blocos de concreto dificulta o transporte e a montagem da laje.

Vantagens do sistema:

- economia no consumo de concreto se comparado com a laje maciça;
- redução do peso próprio;
- maior inércia da laje para um mesmo volume de concreto de uma laje maciça;
- aumento na produtividade construtiva da obra, por possuir poucas vigas;
- poucos recortes das formas devido a menor quantidade de vigas, possibilitando um maior reaproveitamento;
- pouca interferência na planta de arquitetura, devido a menor quantidade de vigas.

4.3.2.1 Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 02

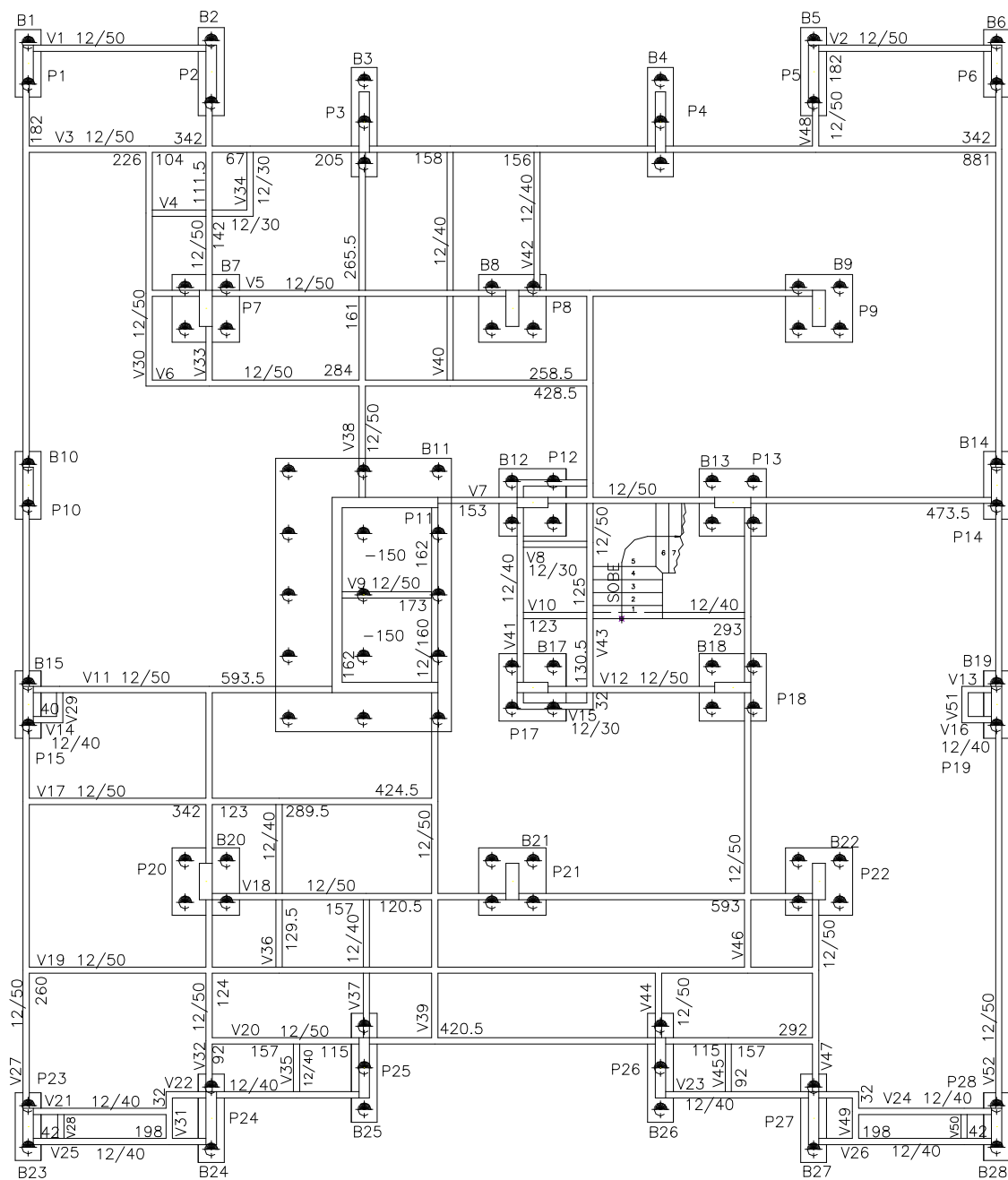


FIGURA 20 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 02

4.3.2.3 Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 02

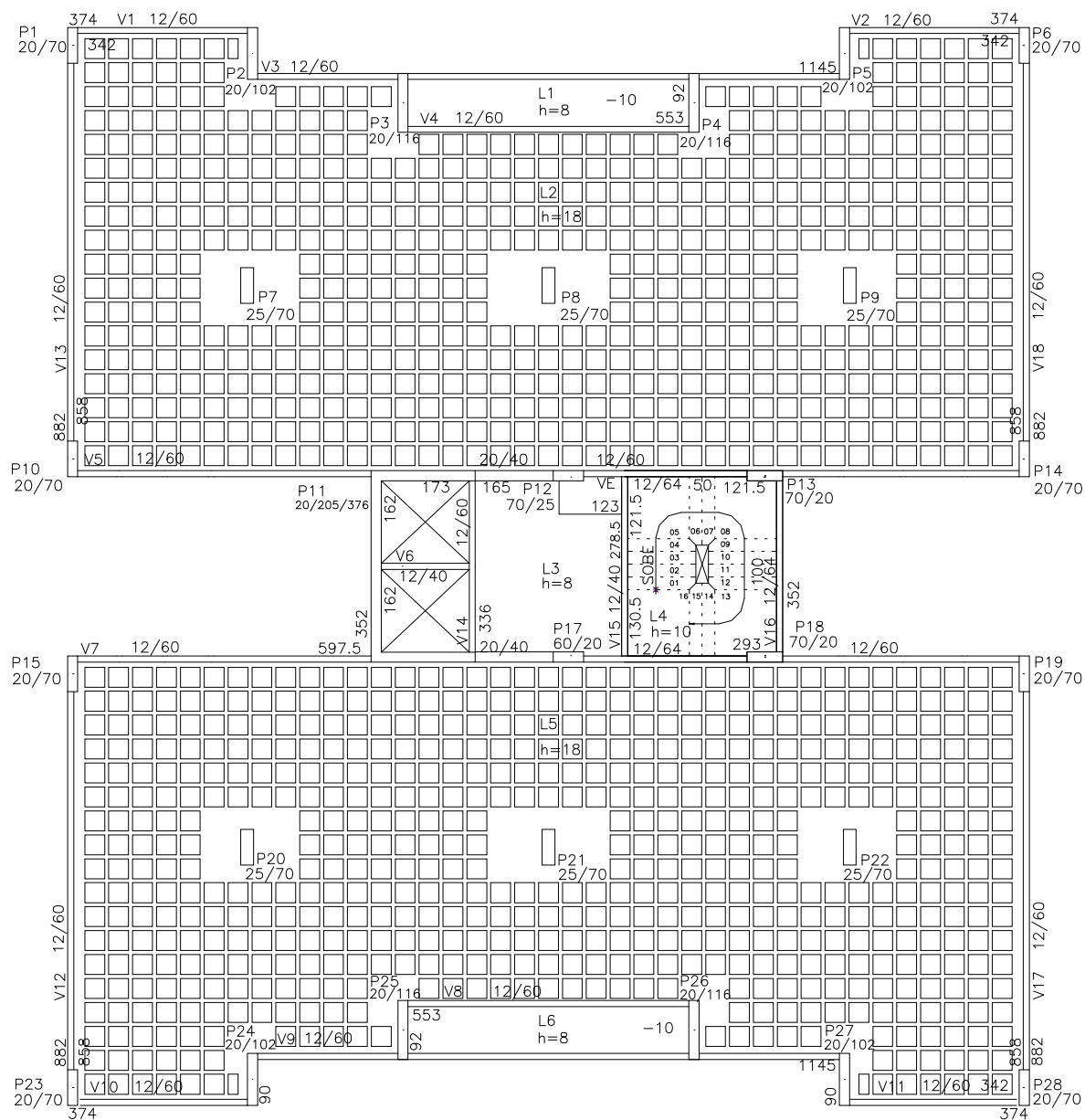


FIGURA 22 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 02

4.3.2.4 Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 02

4.3.3 Modelo 03 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas

Este modelo também possui lajes lisas nervuradas com as mesmas vigas e pilares do modelo 2. A diferença está na modulação das nervuras, na altura da laje e no material de enchimento, que neste caso foram utilizadas formas plásticas.

As lajes lisas nervuradas do modelo 03 possuem a altura total de 20 cm, com capa de concreto de 5 cm, nervuras com dimensões médias de 8 cm, e módulos de (60 x 60) cm (FIGURA 25).

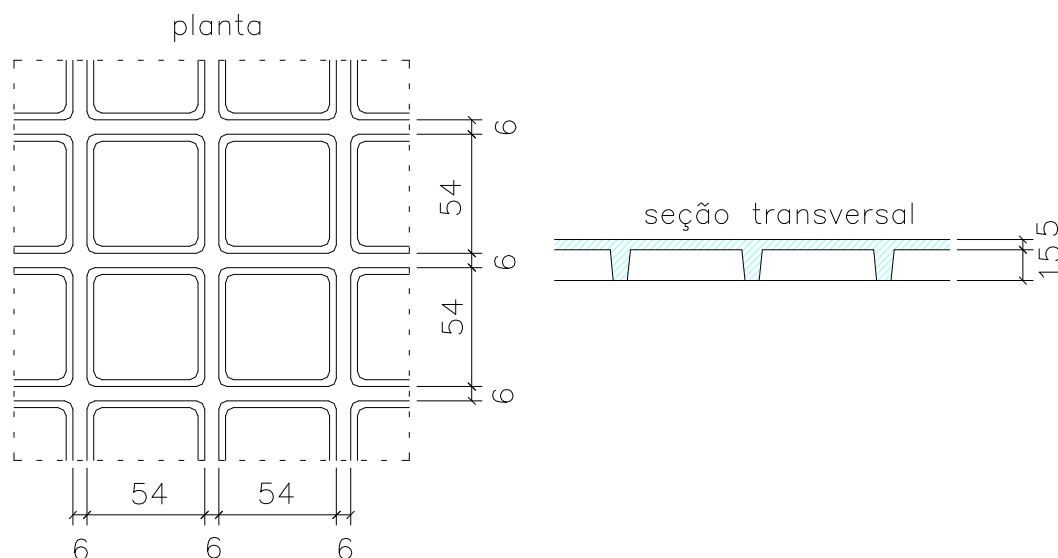


FIGURA 25 – DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 03

As vantagens das formas plásticas do modelo 03 comparado com os blocos de concreto do modelo 02 são:

- mais leves;
- facilidades na montagem das lajes;
- menor quantidade de escoramentos (cimbramento).

A desvantagem está no uso do forro de gesso acartonado, que em certos tipos de obra, o seu custo é maior que o chapisco o emboço e o reboco do teto.

4.3.3.1 Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 03

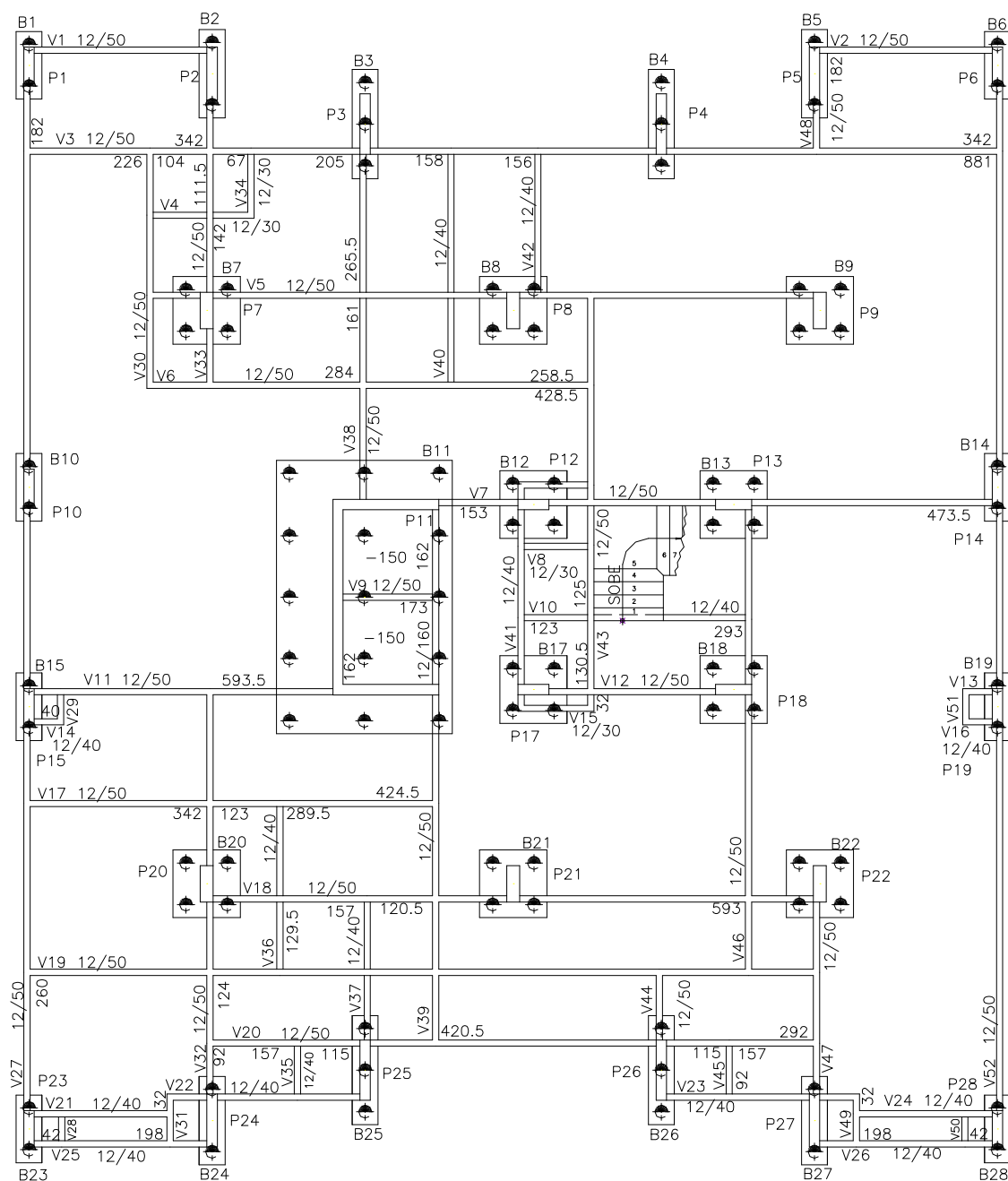


FIGURA 26 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 03

O projeto estrutural do pavimento térreo do modelo 03 é igual ao do modelo 02, com uma pequena diferença no quantitativo do aço e no comprimento das estacas pré-moldadas da fundação.

4.3.3.2 Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 03

4.3.3.3 Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 03

4.3.4 Modelo 04 - sistema estrutural com laje nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido - isopor)

No modelo 04 foram retirados seis pilares (P7, P8, P9, P20, P21, P22) em relação ao modelo 02, para uma análise do sistema estrutural das lajes com vãos maiores.

As lajes lisas nervuradas deste modelo possuem a altura total de 25 cm, capa de concreto de 5 cm, nervuras com dimensões de 8 cm, módulos de (40 x 40) cm com material de enchimento EPS (FIGURA 30).

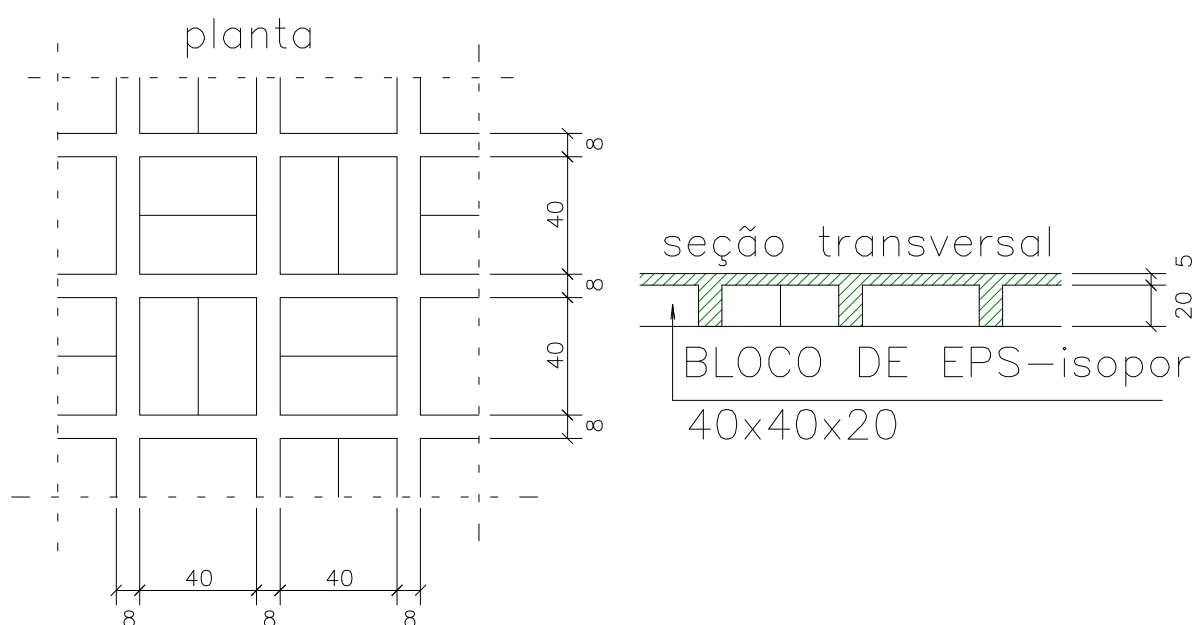


FIGURA 30 – DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 04

As vantagens são as mesmas do modelo 03, mas a diferença principal é que podem ser aplicados chapisco, emboço e reboco no revestimento dos tetos das lajes, utilizando-se aditivos adesivos.

4.3.4.1 Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 04

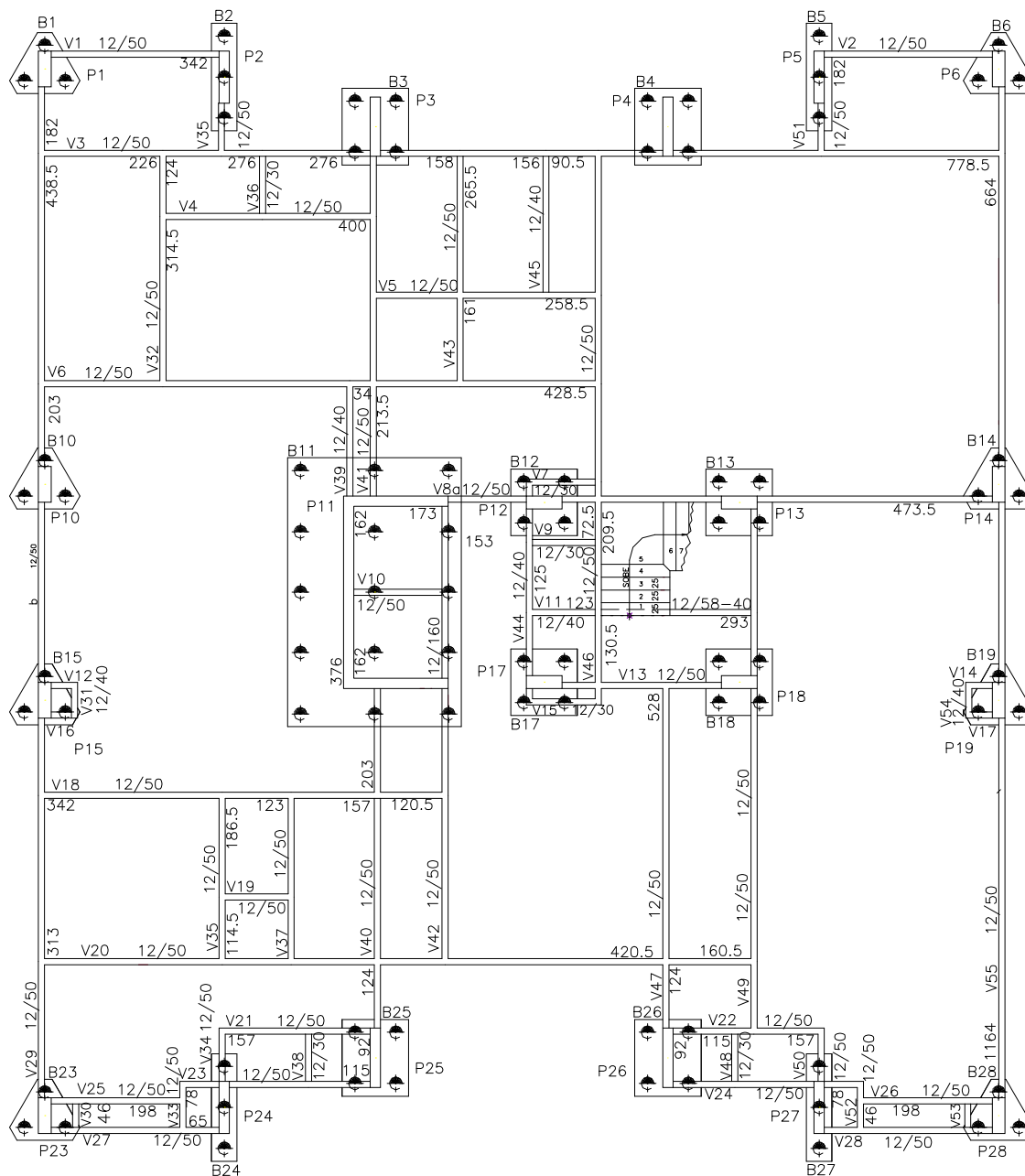


FIGURA 31 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 04

4.3.4.2 Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 04

4.3.4.3 Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 04

4.3.5 Modelo 05 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas

Este modelo também possui lajes lisas nervuradas com as mesmas vigas e pilares do modelo 4, substituído o material de enchimento EPS por formas plásticas.

As lajes lisas nervuradas do modelo 05 possuem a altura total de 26 cm, com capa de concreto de 5 cm, nervuras com dimensões médias de 10,33 cm, e módulos de (65 x 65) cm (FIGURA 35).

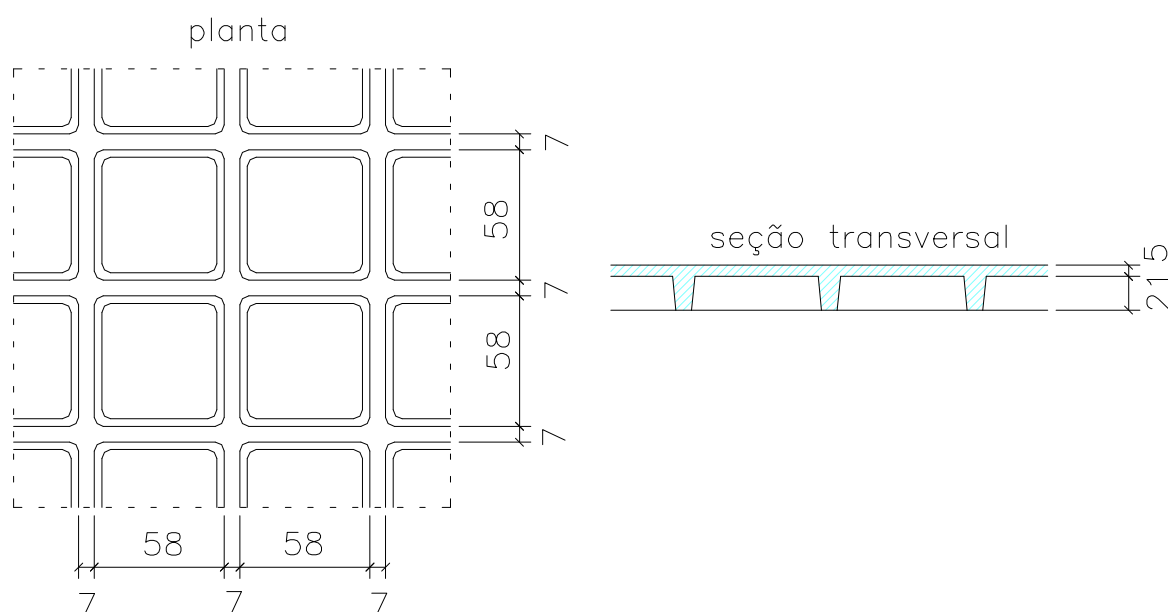


FIGURA 35 – DETALHE DAS LAJES NERVURADAS DO MODELO 05

As vantagens das formas plásticas do modelo 05 comparado com os blocos de concreto do modelo 02 são:

- mais leves;
- facilidades na montagem das lajes;
- menor quantidade de escoramentos (cimbramento).

A desvantagem está no uso do forro de gesso acartonado, que em certos tipos de obra, o seu custo é maior que o chapisco o emboço e o reboco do teto.

4.3.5.2 Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 05

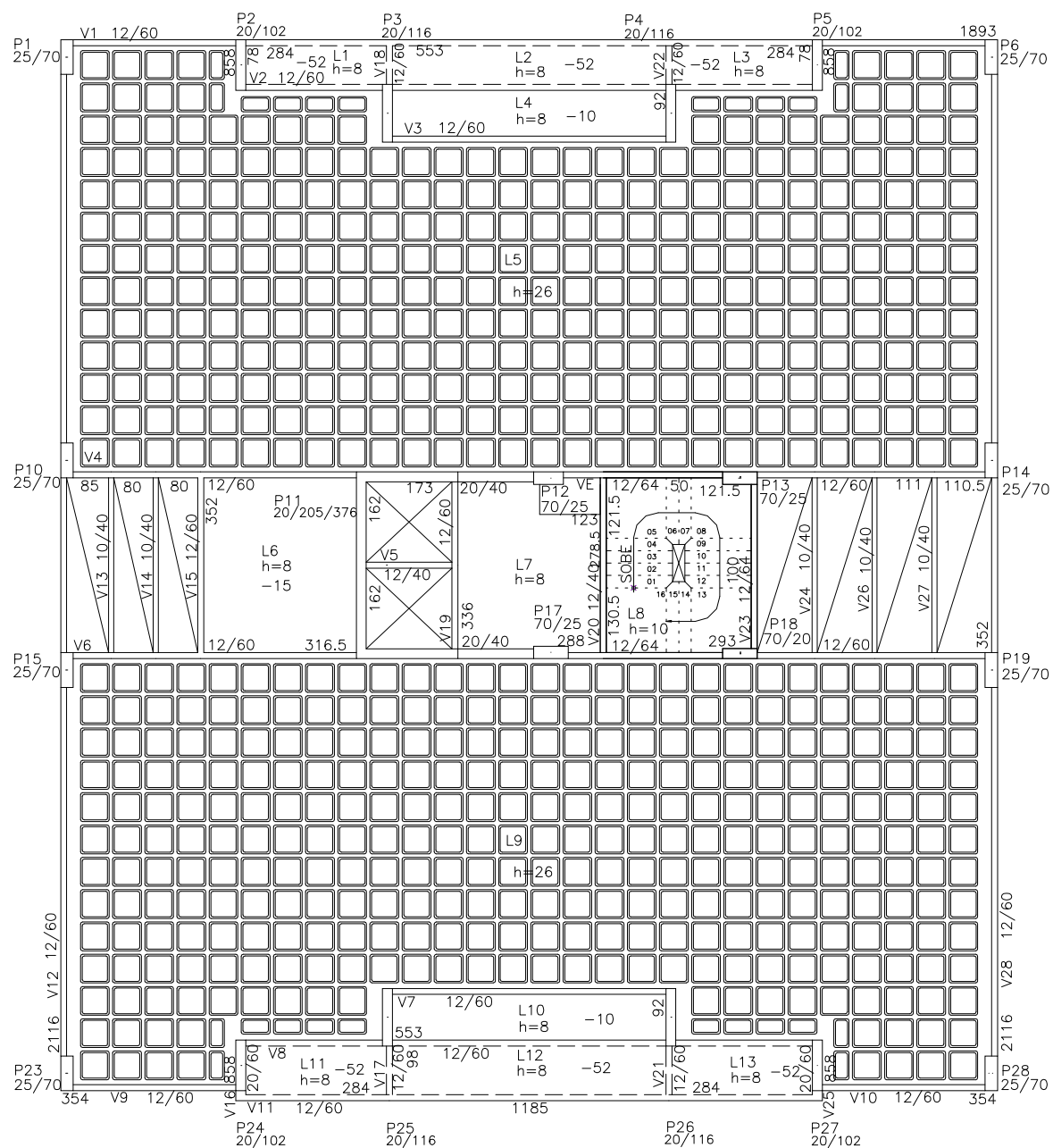


FIGURA 37 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 05

4.3.5.3 Forma do estrutural do pavimento tipo do modelo 05

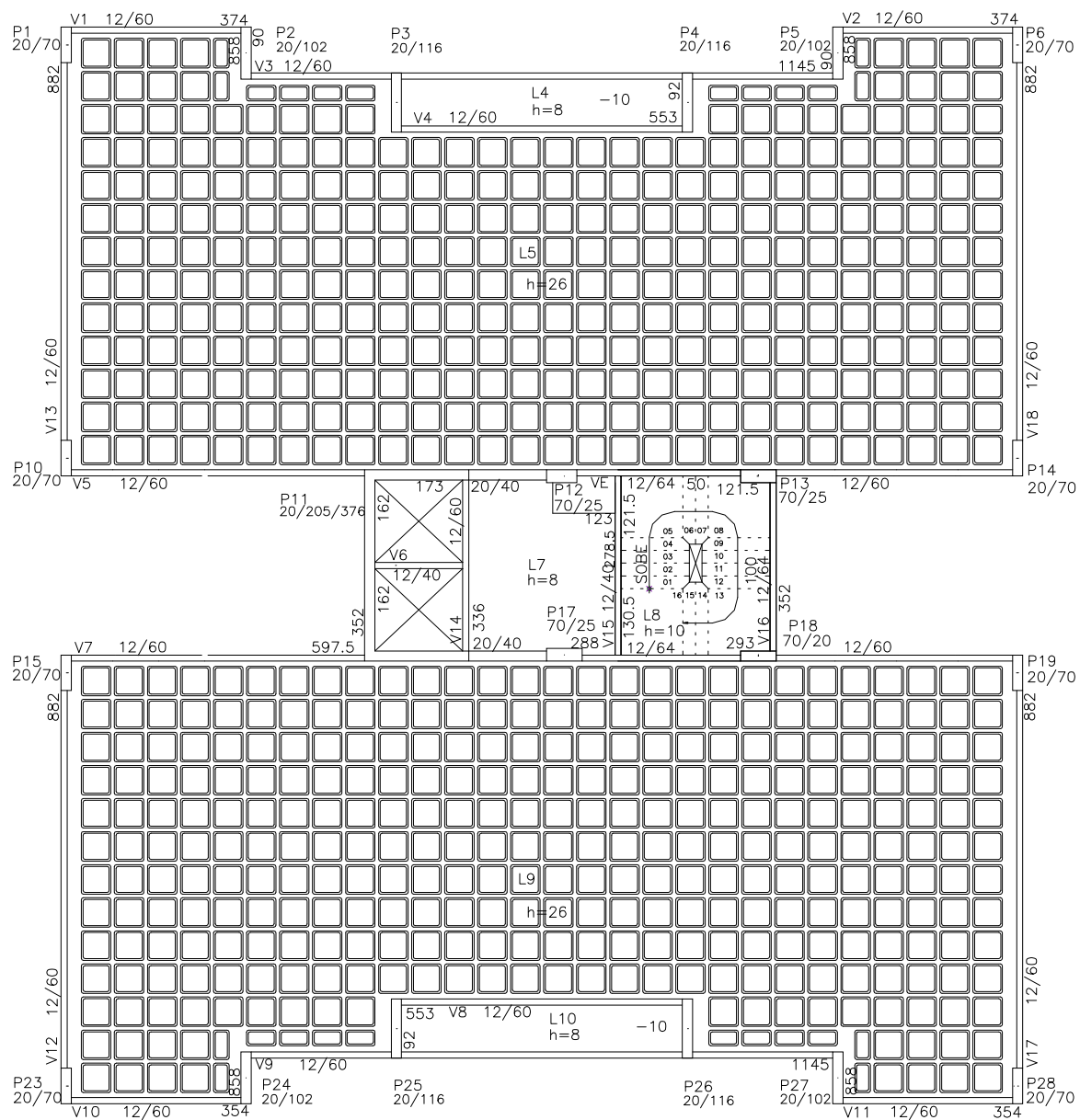


FIGURA 38 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TIPO DO MODELO 05

4.3.5.4 Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 05

4.3.6 Modelo 06 - sistema estrutural com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada)

Neste modelo foi usada a protensão não aderente com uso da monocordoalha engraxada. Essa tecnologia vem sendo utilizada de maneira ascendente no Brasil.

De acordo com Albuquerque (1998), Girollo (2003) e Cauduro (2006), apresentam algumas vantagens e desvantagens deste sistema:

Vantagens do sistema:

- tem custos menores que protensão aderente;
- dispensa bainha metálica e posterior injeção de nata de cimento;
- as cordoalhas são de fácil manuseio, colocação e fixação;
- a operação de protensão bastante simplificada;
- maior excentricidade das cordoalhas para as lajes com pequena altura;
- menor perda por atrito;
- melhor controle de flechas;
- redução de fissuras;
- maiores vãos e menor quantidade de pilares;
- formas simples e de fácil montagem e desmontagem.

Desvantagens do sistema:

- a execução de furos e colocação de chumbadores nas peças concretadas devem ser evitados, para não cortar as cordoalhas e conseqüentemente perda total da protensão;
- falhas nas ancoragens, ocorre desativação instantânea da protensão da monocordoalha;
- não recomendado para ambientes agressivos.



FIGURA 40 – CABOS POSICIONADO NAS FORMAS EM FAIXAS E DISTRIBUÍDOS REGULARMENTE

FONTE: MANUAL PARA A BOA EXECUCAO DE ESTRUTURAS PROTENDIDAS USANDO CORDOALHAS ENGRAXADAS E PLASTIFICADAS (CAUDURO, 2006).

4.3.6.1 Forma do estrutural do pavimento térreo do modelo 06

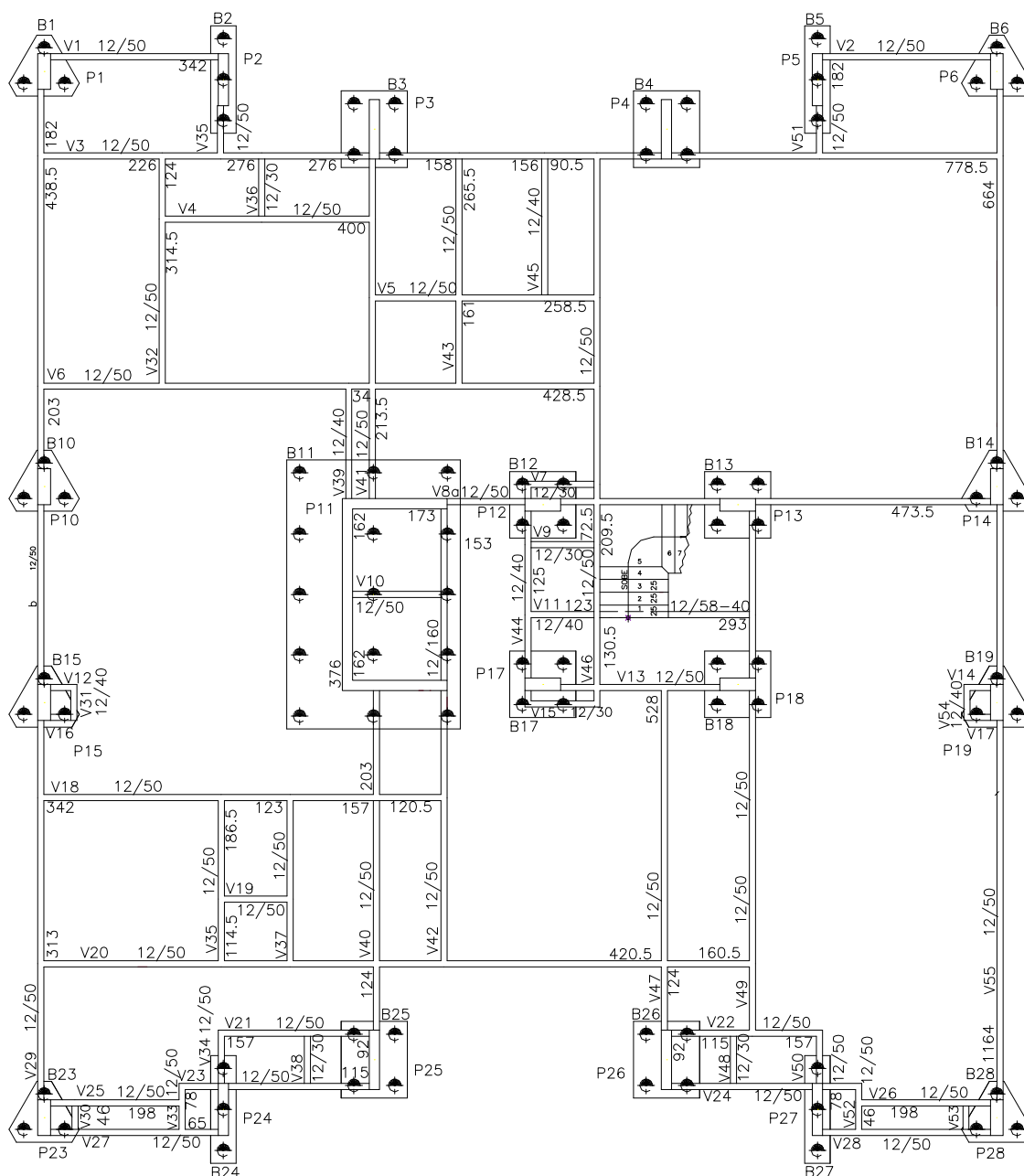


FIGURA 41 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO TÉRREO DO MODELO 06

O projeto estrutural do pavimento térreo do modelo 06 é igual ao do modelo 04, com uma pequena diferença no quantitativo do aço e no comprimento das estacas pré-moldas da fundação.

4.3.6.2 Forma do estrutural do primeiro pavimento do modelo 06

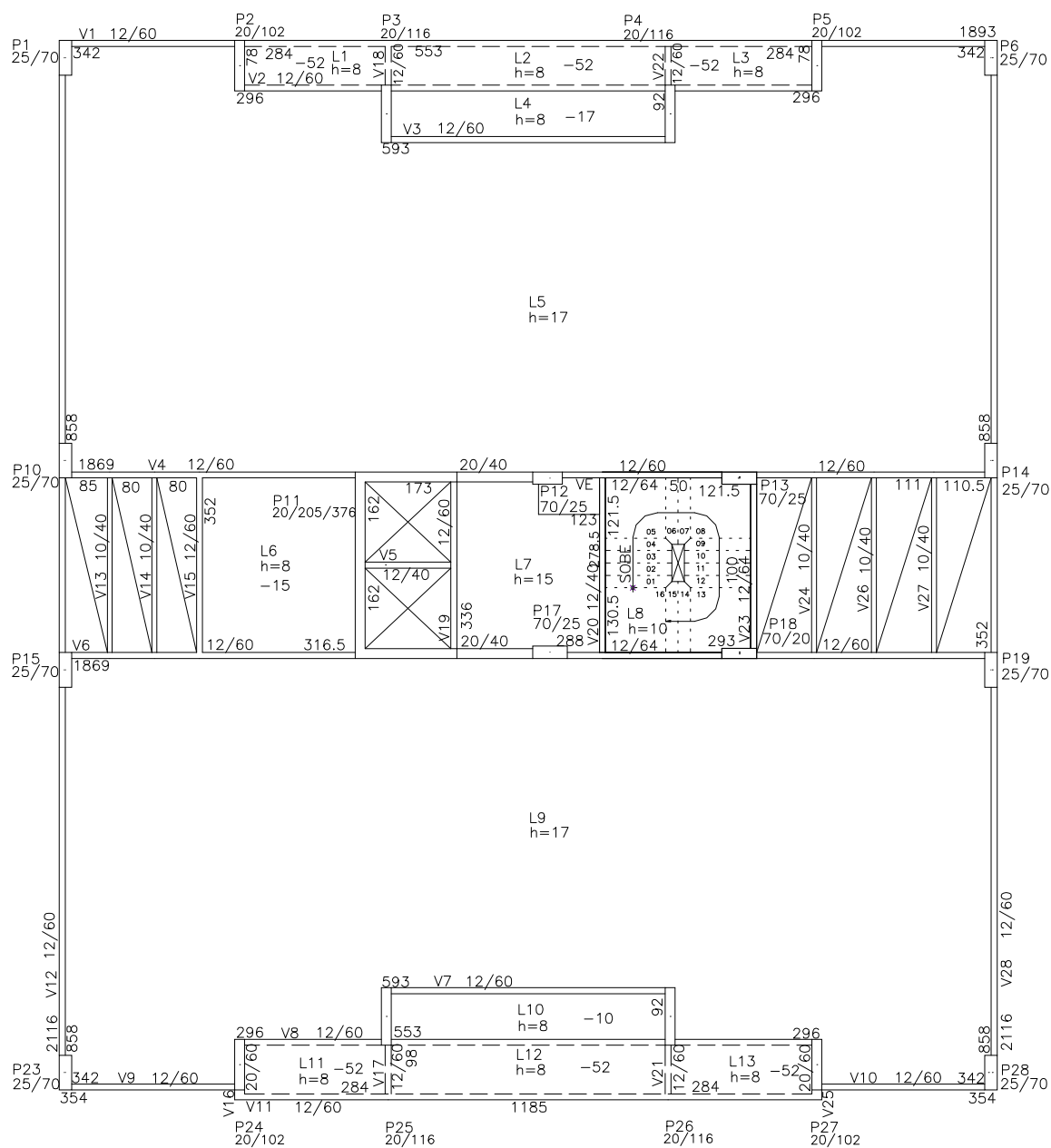


FIGURA 42 – FORMA DO ESTRUTURAL DO PRIMEIRO PAVIMENTO DO MODELO 06

4.3.6.4 Forma do estrutural do pavimento de cobertura do modelo 06

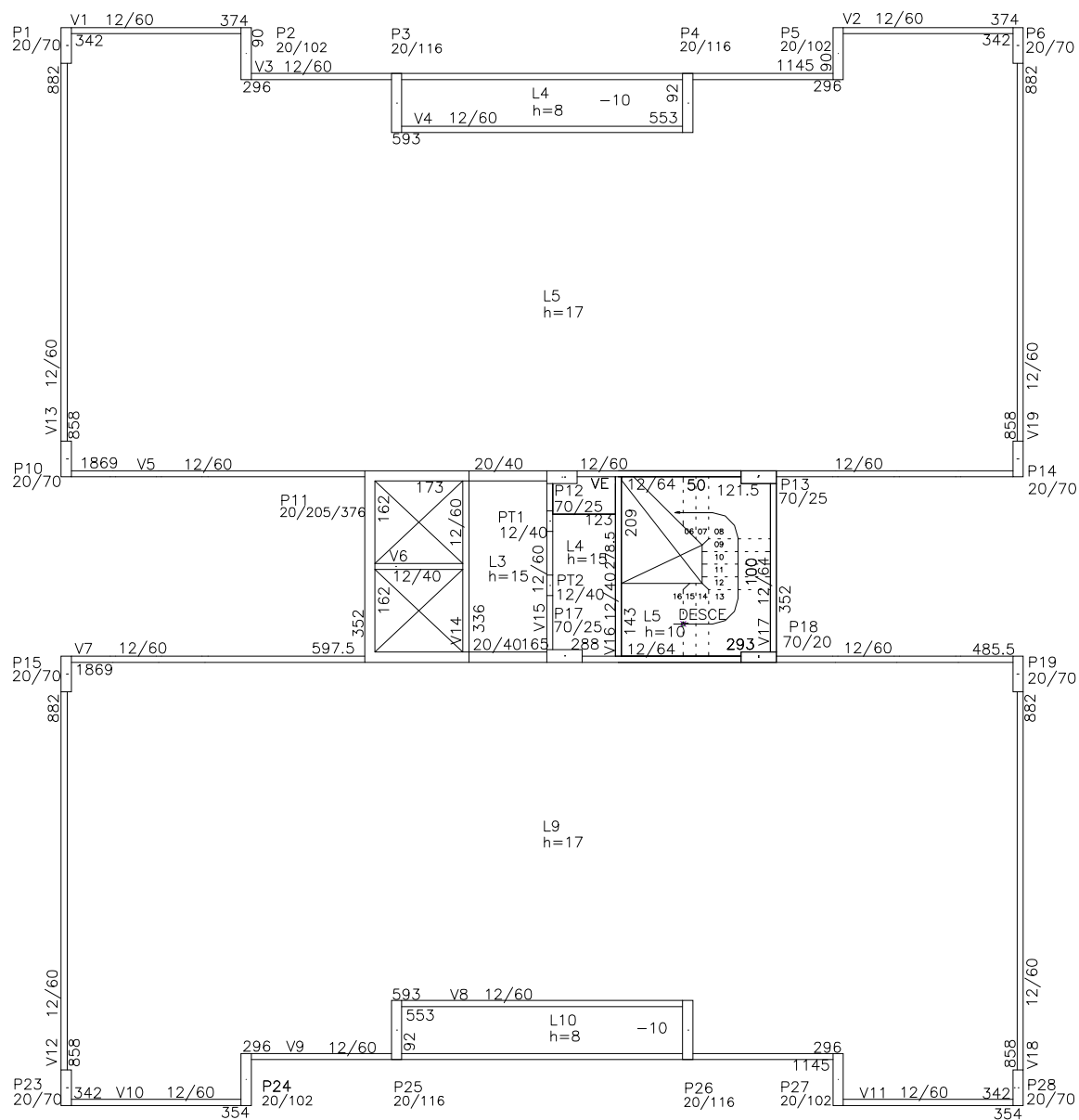


FIGURA 44 – FORMA DO ESTRUTURAL DA COBERTURA DO MODELO 06

4.3.6.5 Formas dos estruturais do piso e da cobertura da casa de máquinas, caixa d' água e corte esquemático do edifício do modelo 04

Este pavimento é igual ao do modelo 02

4.4 RESUMOS QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS APLICADOS DOS MODELOS

4.4.1 Modelo 01

TABELA 58 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 01

ELEMENTOS	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)
Blocos	29,0	2.505,0	115,0
Vigas	219,6	24.384,0	3.319,0
Lajes	339,2	21.734,0	3.847,6
Pilares	186,2	15.717,0	2.181,4
TOTAL GERAL	774,0	64.340,0	9.463,0

TABELA 59 - FUNDAÇÃO DO MODELO 01

MATERIAL	QUANTIDADE (m)
Estacas pré-moldadas de concreto (30x30) cm	1.004,0

4.4.2 Modelo 02

TABELA 60 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 02

ELEMENTOS	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)
Blocos	57,0	3.301,0	131,0
Vigas	141,9	14.053,0	2.174,0
Lajes	366,7	20.956,0	3.880,0
Pilares	209,4	15.933,0	2.403,0
TOTAL GERAL	775,0	54.243,0	8.588,0

TABELA 61 - CONSUMO DE BLOCOS DE CONCRETO DO MODELO 02

MATERIAL	QUANTIDADE
Blocos de concreto de (14x19,5x39) cm	28.032,0

TABELA 62 - FUNDAÇÃO DO MODELO 02

MATERIAL	QUANTIDADE (m)
Estacas pré-moldadas de concreto (30x30) cm	990,0

4.4.3 Modelo 03

TABELA 63 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 03

ELEMENTOS	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)
Blocos	57,0	2.693,0	131,0
Vigas	141,9	14.187,0	2.152,0
Lajes	389,7	17.019,0	3.880,0
Pilares	209,4	12.659,0	2.407,0
TOTAL GERAL	798,0	46.558,0	8.570,0

TABELA 64 - CONSUMO DE FORMAS PLÁSTICAS DO MODELO 03

MATERIAL	QUANTIDADE
Formas plásticas (moldes) por pavimento	742,0

TABELA 65 - FUNDAÇÃO DO MODELO 03

MATERIAL	QUANTIDADE (m)
Estacas pré-moldadas de concreto (30x30) cm	946,0

4.4.4 Modelo 04

TABELA 66 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 04

ELEMENTOS	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)
Blocos	57,7	2.672,0	114,0
Vigas	133,1	14.643,0	2.077,2
Lajes	441,7	27.183,0	3.978,3
Pilares	179,0	11.555,0	2.047,5
TOTAL GERAL	811,5	56.053,0	8.217,0

TABELA 67 - CONSUMO DE EPS (ISOPOR) DO MODELO 4

MATERIAL	QUANTIDADE (m ³)
Blocos de EPS (isopor)	467,0

TABELA 68 - FUNDAÇÃO DO MODELO 03

MATERIAL	QUANTIDADE (m)
Estacas pré-moldadas de concreto (30x30) cm	942,0

4.4.5 Modelo 05

TABELA 69 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 05

ELEMENTOS	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)
Blocos	57,7	3.067,0	114,0
Vigas	133,1	14.753,0	2.066,2
Lajes	494,2	24.966,0	3.978,3
Pilares	179,0	12.757,0	2.047,5
TOTAL GERAL	864,0	55.543,0	8.206,0

TABELA 70 - CONSUMO DE FORMAS PLÁSTICAS DO MODELO 05

MATERIAL	QUANTIDADE
Formas plásticas (moldes) por pavimento	652,0

TABELA 71 - FUNDAÇÃO DO MODELO 05

MATERIAL	QUANTIDADE (m)
Estacas pré-moldadas de concreto (30x30) cm	928,0

4.4.6 Modelo 06

TABELA 72 - RESUMO QUANTITATIVO DE MATERIAIS DO MODELO 06

ELEMENTOS	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)
Blocos	57,7	3.097,0	114,0
Vigas	133,1	18.355,0	2.125,2
Lajes	639,2	30.836,0	3.978,3
Pilares	179,0	18.470,0	2.047,5
TOTAL GERAL	1.009,0	70.758,0	8.265,0

TABELA 73 - PROTENSÃO DO MODELO 06

MATERIAL	AÇO (kg)
Aço de protensão CP-190 RB 12,7 mm	11.844,0

TABELA 74 - FUNDAÇÃO DO MODELO 06

MATERIAL	QUANTIDADE (m)
Estacas pré-moldadas de concreto (30x30) cm	1.008,0

5 ANÁLISE DE CUSTOS DOS MODELOS

5.1 CONSUMO DE MATERIAIS E ÍNDICES

Para avaliar a estrutura projetada em relação ao consumo de materiais, os projetistas estruturais e também algumas construtoras, utilizam os seguintes índices:

- espessura média (EM) – relação entre o volume total de concreto (VC) e as áreas estruturadas do edifício (AE);
- taxa de aço 1 (TA1) – relação entre consumo total de aço (CA) e o volume total de concreto (VC);
- taxa de aço 2 (TA2) - relação entre consumo total de aço (CA) e as áreas estruturadas do edifício (AE);
- taxa de aço 3 (TA3) – relação entre consumo total de aço de protensão (CAP) e as áreas estruturadas com protensão (AEP);
- índice de forma (IF) – relação entre área total de formas (AF) e as áreas estruturadas do edifício (AE).

A área estruturada total de cada modelo analisado ($AE = 4.544,0 \text{ m}^2$), e para o modelo 06 as áreas estruturadas com protensão ($AEP = 3.440,0 \text{ m}^2$).

Estes índices de consumo de materiais básicos, somente têm sentido para obter os quantitativos de materiais em estruturas de concreto armado para projetos arquitetônico semelhantes.

5.1.1 Consumo de materiais e índices dos modelos

Na TABELA 75 e na TABELA 76, serão apresentados todos os modelos com os seus consumos de materiais e os índices.

Relação dos modelos:

- Modelo 01 – sistema estrutural convencional com laje maciça;
- Modelo 02 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto;
- Modelo 03 – sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas;

- Modelo 04 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido-isopor);
- Modelo 05 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas;
- Modelo 06 - sistema estrutural com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada).

TABELA 75 – CONSUMO DE MATERIAIS (CONCRETO, AÇO E FORMAS) E ÍNDICES DOS MODELOS

MOD	CONCRETO (m ³)	AÇO (kg)	FORMAS (m ²)	EM (cm)	TA1 (kg/m ³)	TA2 (kg/m ²)	TA3 (kg/m ²)	IF (m ² /m ²)
Modelo 01	774,0 (-0,13%)	64.340,0 (+18,61%)	9.463,0 (+10,19%)	17,03	83,13	14,16	-	2,08
Modelo 02	775,0 (1)	54.243,0 (1)	8.588,0 (1)	17,05	70,00	11,94	-	1,89
Modelo 03	798,0 (+2,97%)	46.558,0 (-14,17%)	8.570,0 (-0,21%)	17,56	58,34	10,25	-	1,89
Modelo 04	811,5 (+4,71%)	56.053,0 (+3,34%)	8.217,0 (-4,32%)	17,86	69,07	12,34	-	1,81
Modelo 05	864,0 (+11,48%)	55.543,0 (+2,40%)	8.206,0 (-4,44%)	19,00	64,28	12,22	-	1,81
Modelo 06	1009,0 (+30,19%)	70.758,0 (+30,45%)	8.265,0 (-3,76%)	22,20	70,13	15,57	3,44	1,82

NOTAS: (1) ÍNDICES: EM=(VC/AE), TA1=(CA/VC), TA2=(CA/AE), TA3=(CAP/AEP), IF=(AF/AE).

(2) O AÇO DO MODELO 06 É SOMENTE ARMADURA PASSIVA.

TABELA 76 – RESUMO DOS DEMAIS MATERIAIS PARA A COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DOS MODELOS

MATERIAIS	MODELO 01	MODELO 02	MODELO 03	MODELO 04	MODELO 05	MODELO 06
Blocos de concreto (unidades)	28.032					
EPS (isopor) (m ³)				467,0		
Formas plásticas (unidades)			742,0		652,0	
Aço de protensão (kg)						11.844,0
Estacas (m)	1004,0	990,0	946,0	942,0	928,0	1.008,0

5.1.1.1 Consumos de concreto, aço e formas dos modelos

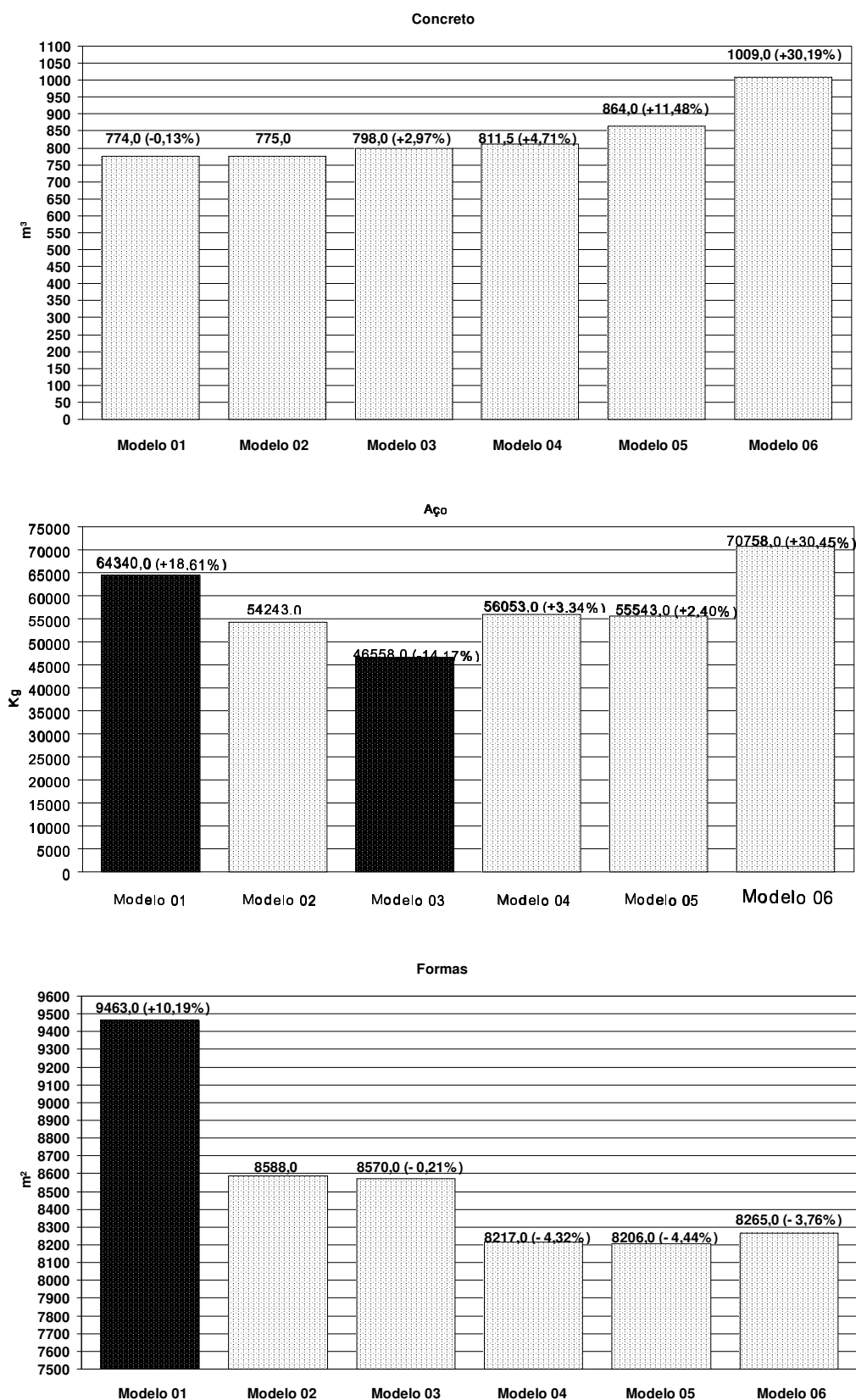


FIGURA 45 - CONSUMOS DE CONCRETO, AÇO E FORMAS DOS MODELOS

Na análise dos consumos, o modelo 02 foi tomado como referência para verificar as diferenças de percentagens dos materiais porque na hipótese da pesquisa (Capítulo 1) o sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto foi considerado o mais econômico.

No modelo 01 verifica-se uma pequena diferença no consumo de concreto (-0,13%) com aumento no consumo de aço (+18,56%) e formas (+10,19%). Devido às quantidades de vigas nos pavimentos tipo, o prazo de execução da estrutura é maior que nos outros modelos, como demonstrado no item 5.2.1.

O modelo 03 apresenta uma diferença muito pequena no volume de concreto (-2,97%) e formas (-0,21%), com menor consumo de aço (-14,17%). Estas pequenas diferença em relação ao modelo 02 foram devido ao peso próprio das lajes, analisando somente pelo consumo de materiais. Este modelo é o mais econômico, mas tem-se levar em consideração na composição do custo final, as formas plásticas e os forros de gesso acartonados.

No modelo 04 tem-se um pequeno aumento no consumo de concreto (+4,71%) e aço (+3,74%) com menor consumo das formas (-4,32%). Deve-se levar em consideração na composição do custo final o preço do EPS (isopor). Este modelo tem também vãos das lajes maiores que o modelo 02.

O modelo 05 apresenta um aumento no consumo de concreto (+11,48%) e aço (+2,40%) com menor consumo das formas (-4,44%). Tem-se levar em consideração na composição do custo final, as formas plásticas e os forros de gesso acartonados. Este modelo tem os vãos das lajes iguais ao modelo 04.

O modelo 06 apresenta um alto consumo de concreto (+30,19%) e aço - armadura passiva (+30,45%) com menor consumo das formas (-3,76%). Tem-se levar em consideração na composição do custo final, os custos da protensão. Os vãos das lajes são maiores que o do modelo 02.

Em projetos arquitetônicos semelhantes que tenham subsolo para vagas de garagens, o modelo 04 e modelo 05 apresentam-se com uma solução bastante atraente, considerando os consumos de materiais e os vãos livres.

Na composição do custo final de cada modelo analisado, deve-se realizar um orçamento levando-se em consideração não somente os consumos de materiais, mas, a mão-de-obra, os equipamentos para execução, prazo de execução e a construtibilidade.

5.2 ANÁLISE DE CUSTOS

Na composição do custo global do sistema estrutural de cada modelo, foram utilizados o banco de dados da construtora AM5 Construções Ltda com sede em Curitiba-PR, empresa com certificação do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat (PQPH) e da ISO 9001 (produtos), com muita tradição na construção de edifícios residenciais.

Para fundação dos modelos, os dados foram obtidos com a empresa Silwal Sondagens e Fundações com sede em Curitiba-PR.

Para o serviço de protensão com monocordoalha engraxada utilizada no modelo 06, os dados foram obtidos com a empresa Engeprot Engenharia e Protensão Ltda com sede em Curitiba-PR.

Para composição do custo dos modelos foram considerados:

- equipes de execução terceirizadas;
- acessórios e complementos considerados no custo de mão-de-obra;
- concreto usinado e bombeado;
- aço adquirido cortado e dobrado;
- formas dos blocos de fundação e baldrame moldadas no local;
- formas de todos os pavimentos do modelo 01 foram consideradas moldadas no local;
- formas dos demais modelos locadas;
- complementos de formas (compensados) considerados dentro do custo de locação;
- escoramento locado;
- formas plásticas locadas;
- forros de gesso acartonado como diferença entre chapisco o emboço e reboco de teto;
- aditivos adesivos para os revestimentos sobre o EPS (isopor).

Nos serviços de protensão foram considerados na mão-de-obra:

- corte das cordoalhas;
- lançamento e posicionamento das cordoalhas e ancoragens;
- desforma e limpeza dos nichos de protensão;

- marcação dos cabos para medida de alongamentos;
- ancoragem Monocordoalha;
- cunhas bi-partidas;
- acessórios plásticos (nichos e luvas);
- pré-blocagem das ancoragens passivas;
- protensão dos cabos;
- leitura dos alongamentos obtidos.

Nos itens seguintes apresentam-se os custo de cada modelo analisado.

5.2.1 Custo global e prazo de execução do modelo 01

TABELA 77 – CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 01

	MATERIAIS (R\$)	MÃO-DE-OBRA (R\$)	TOTAL PARCIAL (R\$)	PRAZO (DIAS)
Concreto	185.760,0	19.350,0	205.110,0	
Aço	176.163,0	90.076,0	266.239,0	
Formas	98.794,0	162.774,0	261.558,0	
Fundação	51.760,0	21.030,0	72.790,0	
TOTAL GERAL			805.697,0	180

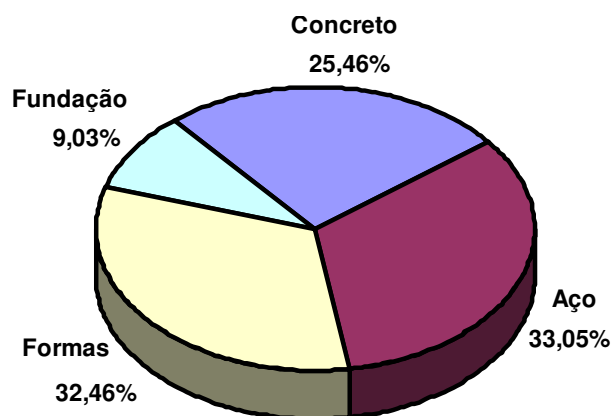


FIGURA 46 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 01

5.2.2 Custo global e prazo de execução do modelo 02

TABELA 78 – CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 02

	MATERIAIS (R\$)	MÃO-DE-OBRA (R\$)	TOTAL PARCIAL (R\$)	PRAZO (DIAS)
Concreto	186.000,0	19.375,0	205.375,0	
Aço	148.517,0	75.940,0	224.457,0	
Formas	55.737,0	90.573,0	146.310,0	
Blocos de concreto	36.442,0	-	36.442,0	
Fundação	50.940,0	20.750,0	71.690,0	
TOTAL GERAL			684.274,0	120

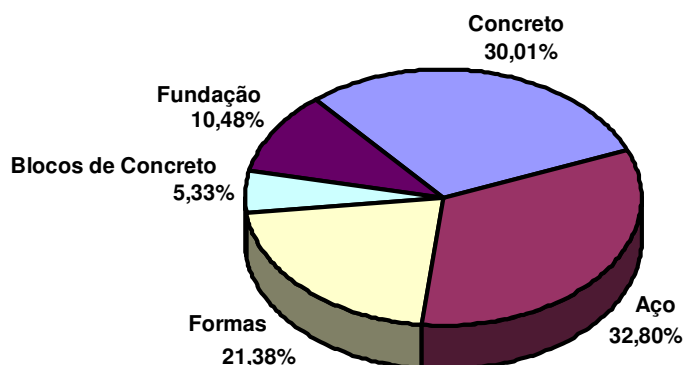


FIGURA 47 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 02

5.2.3 Custo global e prazo de execução do modelo 03

TABELA 79 – CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 03

	MATERIAIS (R\$)	MÃO-DE-OBRA (R\$)	TOTAL PARCIAL (R\$)	PRAZO (DIAS)
Concreto	191.520,0	19.950,0	211.470,0	
Aço	108.840,0	65.181,0	174.021,0	
Formas	55.737,0	90.389,0	146.126,0	
Formas plásticas	11.353,0	-	11.353,0	
Forro de gesso	63.988,0	-	63.988,0	
Fundação	48.740,0	19.870,0	68.610,0	
TOTAL GERAL			675.568,0	120

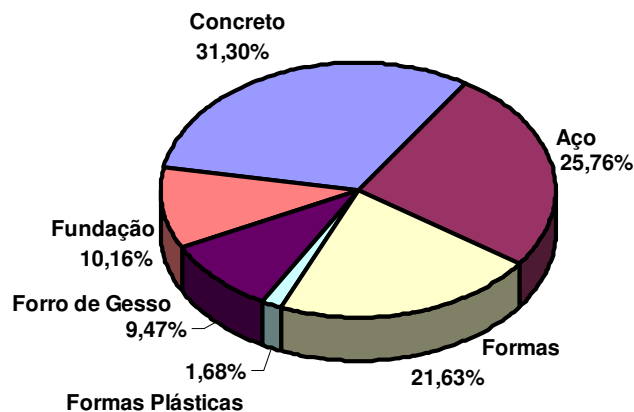


FIGURA 48 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 03

5.2.4 Custo global e prazo de execução do modelo 04

TABELA 80 – CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 04

	MATERIAIS (R\$)	MÃO-DE-OBRA (R\$)	TOTAL PARCIAL (R\$)	PRAZO (DIAS)
Concreto	194.760,0	20.288,0	215.048,0	
Aço	127.709,0	78.474,0	206.183,0	
Formas	55.225,0	86.445,0	141.670,0	
EPS (isopor)	57.616,0	-	57.616,0	
Fundação	50.700,0	19.790,0	70.490,0	
TOTAL GERAL			691.007,0	120

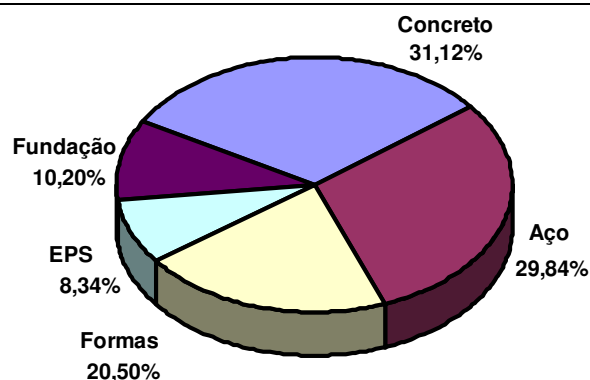


FIGURA 49 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 04

5.2.5 Custo global e prazo de execução do modelo 05

TABELA 81 – CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 05

	MATERIAIS (R\$)	MÃO-DE-OBRA (R\$)	TOTAL PARCIAL (R\$)	PRAZO (DIAS)
Concreto	207.360,0	21.600,0	228.960,0	
Aço	126.529,0	77.760,0	204.289,0	
Formas	55.226,0	86.333,0	141.559,0	
Formas plásticas	9.608,0	-	9.608,0	
Forro de gesso	63.988,0	-	63.988,0	
Fundação	50.000,0	19.510,0	69.510,0	
TOTAL GERAL			717.914,0	120

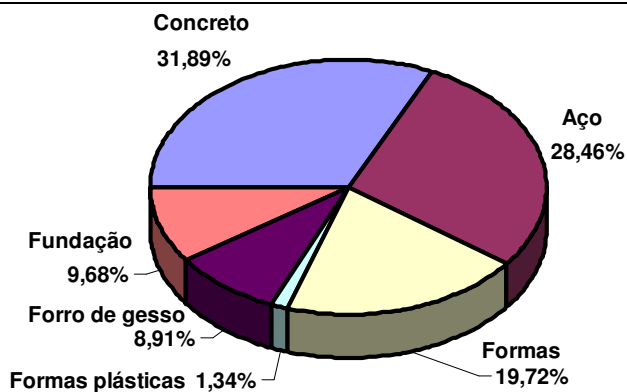


FIGURA 50 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 05

5.2.6 Custo global e prazo de execução do modelo 06

TABELA 82 – CUSTO E PRAZO DE EXECUÇÃO DO MODELO 06

	MATERIAIS (R\$)	MÃO-DE-OBRA (R\$)	TOTAL PARCIAL (R\$)	PRAZO (DIAS)
Concreto	242.160,0	25.225,0	267.385,0	
Aço	167.553,0	99.061,0	266.614,0	
Formas	55.226,0	86.935,0	142.161,0	
Protensão	72.602,0	36.716,0	109.318,0	
Fundação	54.480,0	21.110,0	75.590,0	
TOTAL GERAL			861.068,0	120

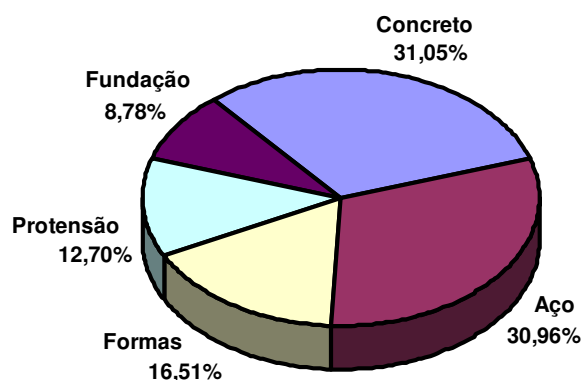


FIGURA 51 - CUSTO PERCENTUAL DE CADA ETAPA DO MODELO 06

5.3 COMPARATIVO DO CUSTO DOS MODELOS

A TABELA 83 e a FIGURA 52 apresentam o comparativo do custo de todos os modelos analisados.

TABELA 83 – CUSTO COMPARATIVO DOS MODELOS

MODELO 01 (R\$)	MODELO 02 (R\$)	MODELO 03 (R\$)	MODELO 04 (R\$)	MODELO 05 (R\$)	MODELO 06 (R\$)
805.697,0 (+17,74%)	684.274,0	675.568,0 (-1,27%)	691.007,0 (+0,98%)	717.914,0 (+4,92%)	861.068,0 (+25,84%)

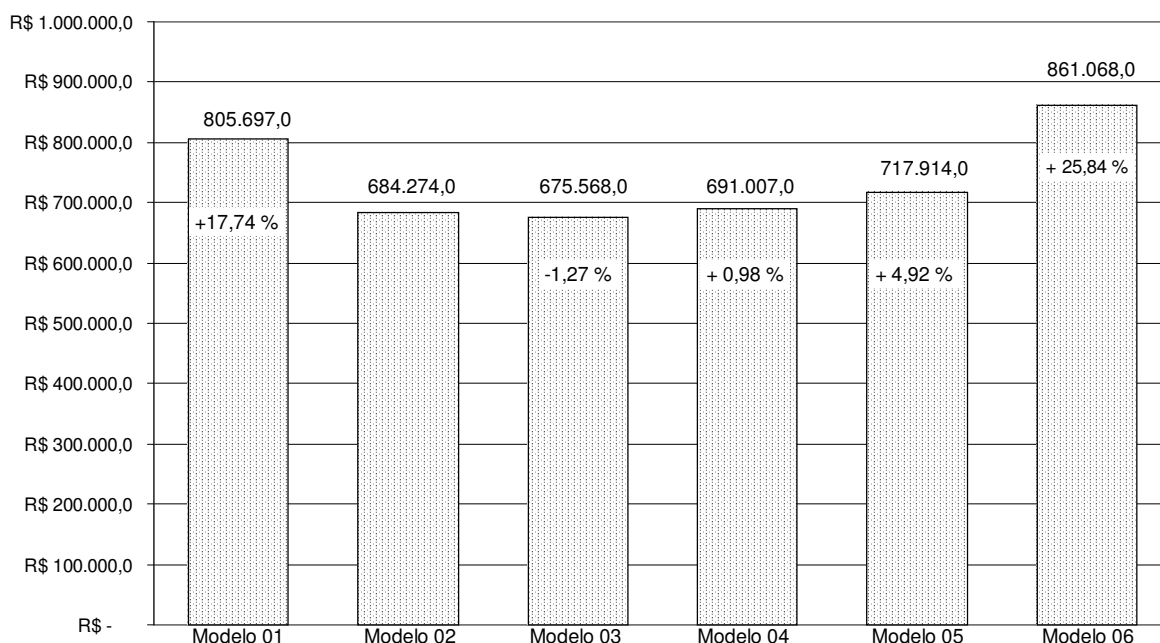


FIGURA 52 - CUSTO COMPARATIVO DOS MODELOS

5.4 COMPARATIVO DO CUSTO DAS ESTRUTURAS COM O VALOR DA EDIFICAÇÃO

O edifício foi orçado de acordo com os dados do Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Paraná – (SINDUSCON - PR) e a norma ABNT NBR 12271:1992 - Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifício em condomínio. O custo unitário básico (CUB) para o padrão H123N (H - habitação, 12 - doze pavimentos, 3 - três quartos e N – acabamento normal) é de R\$=761,36/m² (dez de 2006). A área construída do edifício é igual a 4.350,0 m², obteve-se o custo total da edificação considerando todos os insumos pertinentes o valor de R\$=4.350.000,0 (quatro milhões trezentos e cinquenta mil reais).

TABELA 84 – COMPARATIVO DO CUSTO DAS ESTRUTURAS COM O VALOR DA EDIFICAÇÃO

	MODELO 01	MODELO 02	MODELO 03	MODELO 04	MODELO 05	MODELO 06
CUSTO (R\$)	805.697,0	684.274,0	675.568,0	691.007,0	717.914,0	861.068,0
PERCENTUAL (%)	18,52	15,73	15,53	15,88	16,50	19,79

A hipótese principal deste trabalho foi que o sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento blocos de concreto (modelo 02) seria o mais econômico. No entanto, o modelo 03, mostrou-se com um custo um pouco menor (diferença de -1,27%, como mostrado na TABELA 85).

O sistema estrutural (modelo 02) que serviu de referência para o desenvolvimento desse trabalho, com pequenas alterações, foi utilizado pela empresa de projeto estrutural Kalkulo Projetos Estruturais para um edifício residencial construído na cidade de Joinville-SC no ano de 1997. Na época, nos estudos realizados por esta empresa consideraram a solução mais econômica.

Verifica-se que o sistema estrutural orçado (modelo 02) com os custos de materiais da região metropolitana de Curitiba pode ser considerado uma alternativa economicamente viável.

Para os projetos que apresentam certas semelhanças com os modelos analisados neste trabalho, é possível utilizar-se dos índices de consumos de materiais indicados na TABELA 75, e com uma análise das demais tabelas deste capítulo, obter o custo de uma estrutura de concreto.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1 CONCLUSÕES

Como existe uma variedade de sistemas estruturais possíveis para um mesmo projeto arquitetônico, em alguns casos os projetistas estruturais encontram dificuldades para analisar qual a solução mais econômica para o projeto estrutural. Na análise econômica devem ser levados em conta fatores como:

- consumo de materiais;
- mão-de-obra;
- métodos construtivos;
- racionalização;
- prazo de execução;
- construtibilidade;
- sustentabilidade.

A utilização de software para projetos estruturais tem permitido aos projetistas (calculistas) lançar várias alternativas estruturais obtendo de um modo rápido os consumos de materiais. Desta forma, as construtoras podem avaliar os custos das estruturas propostas.

Esta fase de análise é muito importante porque o custo da estrutura pode variar entre 15% a 20% do custo da edificação, como demonstrado no Capítulo 5.

O modelo 01 - sistema estrutural convencional com laje maciça - tem um custo de +17,74% maior que o modelo de referência (modelo 02) e 18,52% em relação ao custo da edificação. As formas e o prazo de execução oneraram esta solução que é muito utilizada na região metropolitana de Curitiba.

O modelo 03 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas – apresentou um diferencial de custo de -1,27% em relação ao modelo 02 e 15,53% em relação ao custo da edificação. É uma solução interessante para as instalações com a utilização dos forros de gesso.

O modelo 04 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento EPS (poliestireno expandido-isopor) apresentou um diferencial de custo de +0,98% em relação ao modelo 02 e 15,88% em relação ao custo da edificação. Verifica-se que esta solução apresenta uma diferença mínima

de custo com o modelo 02. É recomendada para edifícios que tenham subsolo determinado para garagens em função de vãos maiores entre os pilares. Permite também alteração no leiaute do apartamento quando solicitado pelo cliente sendo um forte argumento de venda para a construtora. Essa solução não necessita de forro de gesso.

O modelo 05 - sistema estrutural com laje lisa nervurada utilizando como material de enchimento formas plásticas - apresentou um diferencial de custo de +4,92% em relação ao modelo 02 e 16,50% em relação ao custo da edificação. Essa solução tem a mesma distribuição de pilares que o modelo 04 possuindo portanto as mesmas vantagens.

O Modelo 06 - sistema estrutural com laje lisa maciça com o uso de protensão não aderente (monocordoalha engraxada) - tem um diferencial de custo de +25,84% em relação ao modelo de referência (modelo 02) e 19,79% em relação ao custo da edificação. Para este projeto arquitetônico não é uma solução recomendada.

O modelo 03 apresentou um diferencial de custo de -1,27% em relação ao modelo 02, em grande parte devido ao custo de locação das formas plásticas que foi considerado no orçamento R\$0,17/unidade/dia, valor bastante reduzido em função da concorrência. Essa solução não foi adotada pela empresa Kalkulo Projetos Estruturais porque na época (1997) o valor de locação era aproximadamente 5(cinco) vezes maior.

A escolha de um sistema estrutural para um determinado projeto arquitetônico não é uma tarefa simples. Requer dos profissionais envolvidos, arquitetos e engenheiros, conhecimento dos métodos construtivos, dos materiais empregados, da durabilidade, da segurança estrutural e da funcionalidade que se pretende para a construção.

6.2 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTO DE TRABALHOS FUTUROS

Apresentam-se a seguir algumas sugestões de sistemas estruturais que poderiam ser desenvolvidos:

- substituir no modelo 01 as lajes maciças por lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas;

- substituir no modelo 02 as lajes lisas nervuradas com material de enchimento blocos de concreto, por lajes nervuradas pré-moldadas treliçadas;
- substituir no modelo 02 os blocos de concreto por EPS (isopor);
- substituir no modelo 06 as lajes lisas maciças com protensão não aderente por sistema aderente;
- substituir no modelo 06 as lajes lisas maciças por lajes nervuradas com protensão não aderente, usando como material de enchimento formas plásticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.T. **Análise de Alternativas Estruturais para Edifícios em Concreto Armado**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721**: Avaliação de custos unitários e preparo de orçamento de construção para incorporação de edifício em condomínio. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Projetos de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO DO POLIESTIRENO EXPANDIDO – ABRAPEX. **Aplicações: Construção Civil – Enchimento de Lajes e Formas para Concreto**. São Paulo, SP. Disponível em: <<http://www.abrapex.com/br>> Acesso em 15 de setembro de 2006.

ASTRA S.A INDÚSTRIA E COMÉRCIO. **Encarte Técnico**. Jundiaí, SP. Disponível em: <<http://www.atex.com.br/>> Acesso em: 20 de outubro de 2006.

ATEX DO BRASIL. **Encarte Técnico**. Lagoa Santa, MG. Disponível em: < <http://www.astra-sa.com.br/> > Acesso em: 20 de outubro de 2006.

BARBIRATO, C. B. C. **Contribuições à análise de pavimentos de edifícios em laje nervurada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

BATLOUNI NETO, J. **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2v.1600p, 2005.

CAUDURO, E.L. **Manual para a boa execução de estruturas protendidas usando cordoalhas de aço engraxadas e plastificadas**. São Paulo, 2002. 1 CD-ROM.

CERVO, A.L. **Metodologia Científica** – Quinta Edição, São Paulo: Prendice Hall, 2002.

COVAS, N ; BELK, A. **Computação gráfica aplicada ao projeto**. Disponível em: < <http://www.catep.com.br/>> Acesso em: 12 de dezembro de 2006.

CUNHA, A.J.P.; SOUZA, V.C.M. **Lajes em concreto armado e protendido**. 1. ed. Niterói: Universidade Federal Fluminense Editora, 1994.

ENTAC – ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, VII, 2004, São Paulo.

FABRICIO, M.M. **Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. 308 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:<http://www.eesc.usp.br/docentes/fabricio/Projeto_/simultaneo-tese.pdf> Acesso em: 2 de maio de 2006.

FIGUEIREDO FILHO, J.R. et al. **Comparação de sistemas de lajes com nervuras pré-moldadas com os de lajes maciças para edificações de médio porte**. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002, Foz do Iguaçu-PR. Anais.

FRANÇA, B. M. ; FUSCO, P. B. **As lajes nervuradas na moderna construção de edifícios**. 1. ed. São Paulo, AFALA & ABRAPREX, 1997.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIROLDO, F. **Contribuição de um sistema alternativo para consideração das armaduras protendidas não aderentes no estado limite ultimo de flexão em peças de concreto**. 172 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P.E. **Qualidade: cada erro tem seu preço**. Trad. de Vera M. C. Fernandes Hachid. *Téchne*, n. 1, p.32-4, nov/dez 1992.

LIMA, G.C. et al. **Estudo comparativo de custos entre lajes: maciça, nervurada bidirecional (tipo colméia) e treliçada bidirecional**. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002, Foz do Iguaçu-PR. Anais.

MINISTÉRIO DAS CIDADES - MCIDADES. **Política de Desenvolvimento Urbano: Caderno do Ministério das Cidades nº 4**. Brasília, 2004.

MELHADO, S.B. ; AGOPYAN V. **O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para a sua elaboração e controle**. São Paulo, EPUSP, 1995.p. 23. (Boletim Técnico do Departamento de Engenharia da Construção Civil, BT/PCC/139). Disponível em:<<http://publicacoes.pcc.usp.br/lista.htm>> Acesso em: 13 de novembro de 2006.

MERCE, R.N. ; OLIVEIRA, J.C.A. **Concepções de sistemas estruturais para lajes de edifício**. In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002, Foz do Iguaçu-Pr. Anais.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa**. Brasília, 2002.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional do Meio Ambiente-Agenda 21**. Brasília, 2002.

NASCIMENTO, L. A. ; SANTOS, E. T. **A Contribuição da Tecnologia da Informação ao Processo de Projeto na Construção Civil.** In: I WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 2001, São Carlos, SP. Anais. São Carlos: EESC USP / Departamento de Arquitetura e Urbanismo, 2001. v.1.

PIZZETTI, S.H. **Comparação dos parâmetros quantitativos de uma estrutura de concreto armado em relação a resistência característica do concreto.** In: 45º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2003, VITÓRIA-ES. Anais.

RAMALHO, M. A ; CORRÊA, M.R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural.** 1. ed. São Paulo: Editora Pini Ltda, 2003.

ROBSON, C. **Real world research: a resource for social scientist and practitioner.** Oxford: blackweli, 1993.

SEVERINO, A.J. **Metodologia do Trabalho Científico** 22 ed. Versão revisada de acordo com ABNT. São Paulo: Cortez, 2002.

SILVA, L.R. **Análise de custos de diferentes alternativas estruturais para edifício de múltiplos pavimentos.** 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2001.

SILVA, L.R ; GUIMARÃES, G.N. **Laje treliçada x laje cogumelo: uma análise de custo.** In: 42º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2002, Belo Horizonte MG. Anais.

SILVA, M.A.F. et al. **Alternativas estruturais para edifícios em concreto armado.** In: 43º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2004, Florianópolis-SC. Anais.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DO PARANÁ – SINDUSCON – PR. Disponível em:< <http://www.sinduscon-pr.com.br/>> Acesso em: 17 de dezembro de 2006.

TQS INFORMÁTICA LTDA. **Sistemas CAD/TQS para windows, versão 12.6,** São Paulo, 2006.

TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte.** 149 f . Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e método.** 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.