

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Julia Schnack Weizenmann

**LAJES MACIÇAS E NERVURADAS: IMPACTO SOBRE OS
CUSTOS DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO
CONSIDERANDO DIFERENTES RITMOS DE EXECUÇÃO**

Porto Alegre
Maio de 2021

JULIA SCHNACK WEIZENMANN

**LAJES MACIÇAS E NERVURADAS: IMPACTO SOBRE OS
CUSTOS DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO
CONSIDERANDO DIFERENTES RITMOS DE EXECUÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: João Ricardo Masuero

Porto Alegre
Maio de 2021

JULIA SCHNACK WEIZENMANN

**LAJES MACIÇAS E NERVURADAS: IMPACTO SOBRE OS
CUSTOS DA ESTRUTURA DE UM EDIFÍCIO
CONSIDERANDO DIFERENTES RITMOS DE EXECUÇÃO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 28 de maio de 2021

BANCA EXAMINADORA

João Ricardo Masuero (Orientador)

Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Roberto Domingo Rios

Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Júlia Menegon

Mestre em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor João Ricardo Masuero pela orientação nesse trabalho, paciência e auxílio sempre que preciso, além de todos os ensinamentos transmitidos ao longo da graduação.

Agradeço à minha família, especialmente aos meus pais, Katia e Paulo, e meu irmão Augusto, pelo amor, pela base e suporte, e por todo apoio durante o caminho que eu escolhi trilhar.

Às minhas amigas de Lajeado, Isabel, Mariah, Ana, Luísa, Eveline e Amanda, pelos anos de amizade que se mantiveram com a distância.

Aos meus colegas de faculdade, Fernanda, Mathias e Natalie, que fizeram parte de toda a minha trajetória na universidade, compartilhando conquistas e angústias.

Ao Bernardo, pela parceria, compreensão e incentivos incansáveis durante a realização desse trabalho.

Agradeço também à engenheira Julia Menegon e ao professor Roberto Domingos Rios pela disposição em participar da Comissão Examinadora do meu trabalho de conclusão.

E a todos de que alguma forma me auxiliaram, incentivaram e fizeram parte dessa conquista, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

Este trabalho apresenta um comparativo de custos entre lajes maciças e nervuradas em edifícios, levando em consideração o ritmo de execução. Os edifícios são de 20 pavimentos (60m de altura total) e foram consideradas além de cargas verticais, as cargas horizontais decorrentes da ação do vento. Os vãos das lajes escolhidos são 3m x 3m, 5m x 5m e 7,5m x 7,5m, pois entende-se que essas três configurações englobam dimensões conhecidas por favorecer lajes maciças, nervuradas e um meio termo, sem expectativas de resultados muito definidos. A avaliação dos ritmos de execução dentro dos custos foi considerada importante, pois esses dois tipos de lajes possuem sistemas de execução e aquisição de materiais diferentes. Para uma análise mais completa, foram estabelecidos 4 ritmos de obra para cada modelo. Os ritmos se diferenciam no tempo de execução por pavimento e no número de conjuntos de fôrmas para as lajes (que simula o tamanho da equipe ou agilidade da mesma na montagem e desmontagem dos sistemas de fôrmas e escoramento). O dimensionamento dos edifícios usou como base a otimização das seções para o menor volume de concreto possível, dentro dos limites estabelecidos em norma e parâmetros de estabilidade, com o objetivo de tornar os comparativos mais justos. Os resultados obtidos com o estudo mostraram que para vãos de lajes 3m x 3m, o sistema mais benéfico é o de lajes maciças, sendo em torno de 10% mais econômico que o ritmo mais acelerado das lajes nervuradas. Já para as lajes de vãos 5m x 5m, a combinação mais barata é de lajes nervuradas em ritmo mais acelerado (ritmo 1), embora o sistema de lajes nervuradas se torna mais econômico também com o segundo ritmo. Para a configuração com vãos 7,5 x 7,5m, como esperado, os custos se mostraram satisfatórios para todos os ritmos de execução das lajes nervuradas, enquanto o sistema com lajes maciças apresentou um acréscimo de 27% no valor global da obra. Na comparação de todos os modelos de lajes e ritmos, havendo total liberdade na definição do projeto arquitetônico (escolha da malha de pilares e vigas e tamanho das lajes) e no sistema construtivo (tipo das lajes), a configuração com menor custo estimado da estrutura é a que utiliza uma malha 3x3m com o emprego de lajes maciças, mas com custo global muito próximo ao ritmo mais acelerado de execução de lajes nervuradas 5m x 5m, sendo a diferença entre os valores de menos de 7%. Chegou-se então à conclusão de que os dois sistemas são válidos como opção de projeto, dependendo da versatilidade do projeto arquitetônico e planejamento da execução da edificação.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classe de agressividade ambiental.....	16
Figura 2: Classe de agressividade e qualidade do concreto.....	17
Figura 3: Cobrimentos de armadura.....	17
Figura 4: Coeficiente de arrasto, Ca, baixa turbulência.....	26
Figura 5: Coeficiente de arrasto, Ca, alta turbulência.....	27
Figura 6: Planta de pórticos – modelos 1 e 2.....	35
Figura 7: Planta de pórticos – modelos 3 e 4.....	35
Figura 8: Planta de pórticos – modelos 5 e 6.....	36
Figura 9: Corte esquemático.....	37
Figura 10: Planta de formas do pavimento tipo 1 – modelo 1.....	49
Figura 11: Planta de formas do pavimento tipo 2 – modelo 1.....	50
Figura 12: Planta de formas do pavimento tipo 3 – modelo 1.....	50
Figura 13: Planta de formas do pavimento tipo 4 – modelo 1.....	51
Figura 14: Coeficiente de estabilidade global.....	54
Figura 15: Deslocamentos horizontais.....	54
Figura 16: Planta de formas do pavimento tipo 1 – modelo 2.....	55
Figura 17: Planta de formas do pavimento tipo 2 – modelo 2.....	55
Figura 18: Planta de formas do pavimento tipo 3 – modelo 2.....	56
Figura 19: Planta de formas do pavimento tipo 4 – modelo 2.....	56
Figura 20: Coeficiente de estabilidade global.....	58
Figura 21: Deslocamentos horizontais.....	58
Figura 22: Planta de formas do pavimento tipo 1 – modelo 3.....	60
Figura 23: Planta de formas do pavimento tipo 2 – modelo 3.....	60
Figura 24: Planta de formas do pavimento tipo 3 – modelo 3.....	61
Figura 25: Planta de formas do pavimento tipo 4 – modelo 3.....	61
Figura 26: Coeficiente de estabilidade global.....	64
Figura 27: Deslocamentos horizontais.....	64
Figura 28: Planta de formas do pavimento tipo 1 – modelo 4.....	65
Figura 29: Planta de formas do pavimento tipo 2 – modelo 4.....	65
Figura 30: Planta de formas do pavimento tipo 3 – modelo 4.....	66
Figura 31: Planta de formas do pavimento tipo 4 – modelo 4.....	66
Figura 32: Coeficiente de estabilidade global.....	69
Figura 33: Deslocamentos horizontais.....	70
Figura 34: Planta de formas do pavimento tipo 1 – modelo 5.....	70
Figura 35: Planta de formas do pavimento tipo 2 – modelo 5.....	71
Figura 36: Planta de formas do pavimento tipo 3 – modelo 5.....	71
Figura 37: Planta de formas do pavimento tipo 4 – modelo 5.....	72
Figura 38: Coeficiente de estabilidade global.....	74
Figura 39: Deslocamentos horizontais.....	75
Figura 40: Planta de formas do pavimento tipo 1 – modelo 6.....	75
Figura 41: Planta de formas do pavimento tipo 2 – modelo 6.....	76
Figura 42: Planta de formas do pavimento tipo 3 – modelo 6.....	76
Figura 43: Planta de formas do pavimento tipo 4 – modelo 6.....	77
Figura 44: Coeficiente de estabilidade global.....	79
Figura 45: Deslocamentos horizontais.....	80
Figura 46: Custos x ritmo – 3x3m.....	81
Figura 47: Custos x ritmo – 5x5m.....	82
Figura 48: Custos x ritmo – 7,5x7,5m.....	83

Figura 49: Custos x ritmo – maciças.....	84
Figura 50: Custos x ritmo 1 – nervuradas.....	85
Figura 51: Custos x ritmo 2 – nervuradas.....	85
Figura 52: Custos x ritmo 3 – nervuradas.....	86
Figura 53: Custos x ritmo 4 – nervuradas.....	86
Figura 54: Custos x ritmo – entre todas soluções.....	89
Figura 55: Linhas de tendência.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Combinações últimas.....	19
Tabela 2: Combinações de serviço.....	20
Tabela 3: Valores de coeficiente γ_f	21
Tabela 4: Peso específico aparente dos materiais de construção – item 1.....	22
Tabela 5: Peso específico aparente dos materiais de construção – item 3.....	22
Tabela 6: Alvenarias.....	23
Tabela 7: Revestimentos de pisos e impermeabilizações.....	23
Tabela 8: Forros, dutos, sprinklers.....	24
Tabela 9: Valores característicos nominais das cargas variáveis.....	24
Tabela 10: Resumo de modelos.....	34
Tabela 11: Cobrimentos mínimos de armadura.....	38
Tabela 12: Carregamentos considerados.....	39
Tabela 13: Valores das pressões.....	40
Tabela 14: Números de combinações de ações avaliadas pelo TQS.....	40
Tabela 15: Combinações de ações avaliadas pelo TQS.....	41
Tabela 16: Permanência dos conjuntos em obra.....	47
Tabela 17: Custos de materiais e mão de obra.....	48
Tabela 18: Resumo de modelos.....	49
Tabela 19: Dimensões finais dos grupos de elementos – modelo 1.....	51
Tabela 20: Quantitativo de concreto e fôrmas – modelo 1.....	52
Tabela 21: Quantitativo de aço – modelo 1.....	52
Tabela 22: Quantitativo de aço por bitolas – modelo 1.....	53
Tabela 23: Taxas de consumo.....	53
Tabela 24: Dimensões finais dos grupos de elementos – modelo 2.....	57
Tabela 25: Quantitativo de concreto e fôrmas – modelo 2.....	58
Tabela 26: Quantitativo de aço – modelo 2.....	58
Tabela 27: Quantitativo de aço por bitolas – modelo 2.....	58
Tabela 28: Taxas de consumo.....	58
Tabela 29: Dimensões finais dos grupos de elementos – modelo 3.....	62
Tabela 30: Quantitativo de concreto e fôrmas – modelo 3.....	62
Tabela 31: Quantitativo de aço – modelo 3.....	63
Tabela 32: Quantitativo de aço por bitolas – modelo 3.....	63
Tabela 33: Taxas de consumo.....	63
Tabela 34: Dimensões finais dos grupos de elementos – modelo 4.....	67
Tabela 35: Quantitativo de concreto e fôrmas – modelo 4.....	68
Tabela 36: Quantitativo de aço – modelo 4.....	68
Tabela 37: Quantitativo de aço por bitolas – modelo 4.....	68
Tabela 38: Taxas de consumo.....	68
Tabela 39: Dimensões finais dos grupos de elementos – modelo 5.....	72
Tabela 40: Quantitativo de concreto e fôrmas – modelo 5.....	73
Tabela 41: Quantitativo de aço – modelo 5.....	73
Tabela 42: Quantitativo de aço por bitolas – modelo 5.....	73
Tabela 43: Taxas de consumo.....	73
Tabela 44: Dimensões finais dos grupos de elementos – modelo 6.....	77
Tabela 45: Quantitativo de concreto e fôrmas – modelo 6.....	78
Tabela 46: Quantitativo de aço – modelo 6.....	78
Tabela 47: Quantitativo de aço por bitolas – modelo 6.....	78
Tabela 48: Taxas de consumo.....	78

Tabela 49: Comparativos entre modelos – 3x3m.....	82
Tabela 50: Comparativos entre modelos – 5x5m.....	84
Tabela 51: Comparativos entre modelos – 7,5x7,5m.....	84
Tabela 52: Custos x ritmo – maciças.....	85
Tabela 51: Custos x ritmo – nervuradas.....	86

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	14
2.1 Questão de pesquisa	14
2.2 Objetivos	14
2.3 Escopo do trabalho	14
3 CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	16
3.1 Base de dimensionamento	16
3.1.1 Classe de agressividade + cobrimento nominal.....	16
3.1.2 Estados Limites	18
3.1.3 Ações e combinações	18
3.2 Cargas	21
3.2.1 Permanentes.....	21
3.2.2 Variáveis.....	24
3.2.3 Cargas de vento	24
3.3 Deslocamentos máximos no estado limite de deformação excessiva ELS-DEF	28
3.4 Parâmetros de estabilidade	28
3.5 Características das lajes.....	29
3.5.1 Lajes maciças.....	29
3.5.2 Lajes nervuradas	30
4 MÉTODO DE ANÁLISE DA ESTRUTURA	32
5 METODOLOGIA	33
5.1 Edificação idealizada.....	33
5.2 Parâmetros de projeto.....	38
5.3 Otimização das seções transversais.....	42
5.4 Orçamentos.....	45
6 RESULTADOS	49
6.1 Modelos	49
6.1.1 Modelo 1.....	49
6.1.2 Modelo 2.....	55
6.1.3 Modelo 3.....	60
6.1.4 Modelo 4.....	65
6.1.5 Modelo 5.....	70

6.1.6 Modelo 6.....	75
6.2 Comparativos	80
6.2.1 Entre estruturas de mesmos vãos.....	80
6.2.1.1 Malha 3x3m.....	80
6.2.1.2 Malha 5x5m.....	81
6.2.1.3 Malha 7,5x7,5m.....	82
6.2.2 Entre edifícios de mesmos sistemas de lajes	83
6.2.2.1 Maciças.....	83
6.2.2.2 Nervuradas	84
6.2.3 Entre todas as soluções propostas.....	87
6.2.3.1 Reações totais.....	87
6.2.3.2 Custos	89
7 CONCLUSÃO	91
REFERÊNCIAS	93
APÊNDICE A.....	95
APÊNDICE B	98
APÊNDICE C.....	112

1 INTRODUÇÃO

Motivada pela constante evolução nos projetos arquitetônicos, a engenharia vem acompanhando esse crescimento afim de propor novas soluções às particularidades de cada projeto. Essas soluções procuram, normalmente, otimizar o custo-benefício da estrutura, mas também podem ser priorizados outros aspectos como materiais utilizados, fidelidade ao projeto arquitetônico, e também prazos de execução. Cabe ao engenheiro estrutural avaliar as opções disponíveis no mercado e definir qual a melhor alternativa para cada concepção estrutural.

Dentre as alternativas comumente empregadas no projeto estrutural de edifícios de concreto armado, estão o uso das lajes maciças e lajes nervuradas. As lajes maciças têm sido o sistema mais usado por anos e garantem, em determinadas configurações, uma relação preço e eficiência satisfatória. Em construções de pequeno e médio porte, as lajes maciças conseguem suprir as necessidades da estrutura apresentando grande resistência à fissuração, quando os vãos não ultrapassam em torno de 7 m. A simplicidade da execução também é uma vantagem da escolha do sistema, visto que a seção é de espessura constante e a mão de obra com treinamento em sua execução é facilmente encontrada.

O uso das lajes nervuradas vem aumentando conforme esse sistema se torna mais acessível e atende às expectativas propostas pelo projeto arquitetônico, pois possibilita a redução no peso próprio do elemento e vãos maiores (pilares mais espaçados), decorrente de uma distribuição do concreto na seção padrão da laje de forma mais eficiente. A seção se comporta de forma similar a uma viga em T, onde a mesa resiste a esforços de compressão e a armadura posicionada na alma aos esforços de tração. Tal forma é obtida com o uso de fôrmas específicas para execução de lajes nervuradas ou materiais inertes que não contribuem para a resistência, como blocos cerâmicos, de concreto celular ou de EPS.

Por exigirem processos diferentes na execução, a comparação de custo desses sistemas não é precisa quando se leva em consideração somente o consumo de materiais. As fôrmas das lajes maciças são em geral sob medida e de uso único da edificação em questão, enquanto as lajes nervuradas podem ser feitas com fôrmas padronizadas, geralmente locadas, ou materiais que se incorporem o elemento. Por essa variedade de métodos de execução das lajes, o escoramento também é, em geral, padronizado e adaptado ao sistema. Além disso, a oferta de mão de obra treinada e materiais dos dois sistemas é proporcional ao uso, pois ainda é mais difícil encontrar equipes treinadas e concorrência para o fornecimento dos materiais para as lajes nervuradas.

Dito isso, questiona-se quais as reais vantagens de utilização de um sistema e outro, quando se leva em consideração a execução de um edifício inteiro e todos os seus elementos estruturais (lajes, vigas e pilares). As comparações feitas somente sobre pavimentos e lajes isoladas têm se mostrado incompletas, uma vez que os custos de execução e mão de obra das lajes nervuradas, por exemplo, estão relacionados também com o ritmo de obra, já que dependem de locação de formas. A altura dos edifícios também influencia na análise, pois lajes com um peso próprio menor podem levar a vigas e pilares com menores dimensões ou menores taxas de armadura. A redução da seção desses elementos pode afetar a estabilidade global da edificação e os deslocamentos horizontais máximos sob a ação do vento, de forma que uma avaliação integrada, da edificação como um todo, é fundamental para que todos esses aspectos inter-relacionados sejam contemplados.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

2.1 Questão de pesquisa:

Em que configurações de edificações e da estrutura correspondente em concreto armado é economicamente vantajoso o uso de lajes nervurada, em comparação ao uso de lajes maciças?

2.2 Objetivos:

O objetivo principal do trabalho é a comparação de custos entre sistemas estruturais utilizando lajes maciças e nervuradas em edifícios com 20 pavimentos com diferentes vãos entre os pilares. Será levada em consideração, além dos custos de materiais e mão de obra, também a influência do ritmo de obra sobre a os custos, considerando que há diferença entre os sistemas de fôrmas para os dois tipos de lajes (locação para laje nervurada e aquisição para a laje maciça).

2.3 Escopo do trabalho:

As limitações e delimitações do trabalho estão listadas a seguir:

1. A análise e o dimensionamento da estrutura foram feitos utilizando o programa TSQ UNIPRO versão 21.14.52, considerado como uma ferramenta que, bem utilizado, atende às prescrições normativas da NBR6118:2014, NBR6120:2019 e NBR6123:1988.

1. Apenas uma única resistência característica de concreto (35 MPa) e um único tipo de Aço (CA50) foram considerados nas comparações.

3. Foram utilizados os quantitativos oriundos do detalhamento automático do programa, sem alterações, de forma a manter o mesmo algoritmo e os mesmos critérios para todos os modelos estruturais analisados

4. Não houve dimensionamento e análise de fundações.

5. Não houve consideração de cargas dinâmicas ou oscilatórias.

6. Não houve verificação de conforto térmico ou acústico, ou considerações de projeto associadas à ocorrência de incêndio.

7. Foram consideradas forças de arrasto do vento em duas direções ortogonais e nos dois sentidos de cada direção, incluindo excentricidades para ambos os lados. Tais situações serão consideradas suficientes para avaliar a ação do vento sobre a edificação.

8. Para garantir a comparação entre estruturas dimensionadas com os mesmos critérios, cada estrutura ou configuração considerada foi otimizada para as menores seções transversais possíveis de cada componente (volume mínimo de concreto) que permitam atender as

exigências normativas dos Estados Limite de Serviço de Deformações Excessivas (ELS-DEF) e Estado Limite Último (ELU). Tal verificação de atendimento foi feita utilizando-se o software TQS.

9. Na análise de estabilidade global, foram permitidas estruturas de nós móveis com o parâmetro gama Z até o limite de 1,3, permitindo a aproximação dos efeitos de segunda ordem pela majoração das cargas horizontais.

10. Para avaliação dos custos foi utilizada uma base de dados de custos disponível e também será feita pesquisa de mercado, através de solicitação de orçamentos.

3 CARACTERÍSTICAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

3.1 Base de dimensionamento

Os parâmetros e métodos de cálculo para dimensionamento de estruturas de edifícios de concreto armado são regidos pela NBR 6118:2014. As cargas a serem consideradas são definidas pela NBR 6120:2019 e as cargas de vento previstas pela NBR 6123:1988.

3.1.1 Classe de agressividade e cobrimento nominal

De acordo com a NBR6118:2014 as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas para que, durante toda a sua vida útil, conservem as características de segurança, estabilidade e serviço.

As condições ambientais reais e de projeto são fatores chave na perpetuação dessas características e devem ser muito bem determinadas. Para isso, de acordo com a norma (Figura 1), a agressividade do ambiente deve ser classificada em classes, que relacionam as ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto.

Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)

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

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

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Figura 1 – Classe de agressividade ambiental. Fonte: NBR6118:2014

Com o objetivo de atender à durabilidade da edificação, para cada classe de agressividade está determinado um cobrimento mínimo de concreto a partir das armaduras dos elementos do projeto. Estes cobrimentos se referem à distância entre a face do elemento e a face externa da armadura mais próxima da face do elemento, em geral os estribos. Nas tabelas a seguir (Figuras 2 e 3), retiradas da NBR6118:2014, estão os valores a serem considerados para cada classe de agressividade.

Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento 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 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.
^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Figura 2 – Classe de agressividade e qualidade do concreto. Fonte: NBR6118:2014

Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.
^b 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, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.
^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.
^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Figura 3 – Cobrimentos de armadura. Fonte: NBR6118:2014

3.1.2 Estados Limites

Além dos aspectos econômicos e estéticos, as estruturas de concreto armado devem ser projetadas para atender também a segurança, bom desempenho em serviço e durabilidade.

De acordo com BASTOS (2019), a segurança da estrutura contra o colapso relaciona-se ao Estado Limite Último, e a segurança dos usuários na utilização da estrutura relaciona-se aos Estados Limites de Serviço.

3.1.3 Ações e combinações

Conforme a o item 11.8.1 da NBR6118:2014:

“Um carregamento é definido pela combinação das ações que tem probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período preestabelecido. A combinação das ações deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura; a verificação da segurança em relação aos estados-limites últimos e aos estados-limites de serviço deve ser realizada em função de combinações últimas e de combinações de serviço, respectivamente.”

As combinações últimas são classificadas em normais, especiais (ou de construção) e excepcionais e estão dispostas na tabela 11.3 na NBR6118 reproduzida na tabela 1:

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
Normais	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de Concreto Armado ¹	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{oj} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{oe} F_{\varepsilon qk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de Concreto Protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores $P_{k,max}$ e $P_{k,min}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_g G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,min}$, onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{oj} Q_{jk}$
Especiais ou de construção ²	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{oj} F_{qjk}) + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{oe} F_{\varepsilon qk}$	
Excepcionais ²	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{oj} F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \psi_{oe} F_{\varepsilon qk}$	
<p>onde:</p> <p>F_d = valor de cálculo das ações para combinação última ; F_{gk} = representa as ações permanentes diretas</p> <p>$F_{\varepsilon k}$ = representa as ações indiretas permanentes como a retração $F_{\varepsilon gk}$ e variáveis como a temperatura $F_{\varepsilon qk}$</p> <p>F_{qk} = representa as ações variáveis diretas das quais F_{q1k} é escolhida principal</p> <p>$\gamma_g, \gamma_{\varepsilon g}, \gamma_q, \gamma_{\varepsilon q}$ - ver Tabela 3.7 ; ψ_{oj}, ψ_{oe} - ver Tabela 3.8</p> <p>F_{sd} = representa as ações estabilizantes ; F_{nd} = representa as ações não estabilizantes</p> <p>G_{sk} = valor característico da ação permanente estabilizante</p> <p>R_d = esforço resistente considerado estabilizante, quando houver</p> <p>G_{nk} = valor característico da ação permanente instabilizante</p> $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum_{j=2}^m \psi_{oj} Q_{jk}$ <p>Q_{nk} = valor característico das ações variáveis instabilizantes</p> <p>Q_{1k} = valor característico da ação variável instabilizante considerada principal</p> <p>ψ_{oj} e Q_{jk} = são as demais ações variáveis instabilizantes, consideradas com seu valor reduzido</p> <p>$Q_{s,min}$ = valor característico mínimo da ação variável estabilizante que acompanha obrigatoriamente uma ação variável instabilizante</p> <p>1. No caso geral, devem ser consideradas inclusive combinações onde o efeito favorável das cargas permanentes seja reduzido pela consideração de $\gamma_g = 1,0$. No caso de estruturas usuais de edifícios, essas combinações que consideram γ_g reduzido (1,0) não precisam ser consideradas.</p> <p>2. Quando F_{q1k} ou F_{q1exc} atuarem em tempo muito pequeno ou tiverem probabilidade de ocorrência muito baixa, ψ_{oj} pode ser substituído por ψ_{2j}. Este pode ser o caso para ações sísmicas e situação de incêndio.</p>		

Tabela 1 – Combinações últimas. Fonte: BASTOS (2019)

As combinações de serviços são classificadas em quase permanentes, frequentes e raras. A tabela 2 compila as informações:

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gk} + \Sigma \psi_{2j} F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gk} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_{2j} F_{qjk}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gk} + F_{q1k} + \Sigma \psi_{1j} F_{qjk}$
onde: $F_{d,ser}$ = valor de cálculo das ações para combinações de serviço; F_{q1k} = valor característico das ações variáveis principais diretas; ψ_1 = fator de redução de combinação frequente para ELS; ψ_2 = fator de redução de combinação quase permanente para ELS.		

Tabela 2 – Combinações de serviço. Fonte: BASTOS (2019)

“São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e devem ser verificadas como estabelecido a seguir:

a) quase permanentes: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado-limite de deformações excessivas;

b) frequentes: repetem-se muitas vezes durante o período de vida da estrutura, e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados-limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificações de estados-limites de deformações excessivas decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações;” (NBR6118:2014)

Ações		γf_2		
		ψ_0	ψ_1^a	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^b	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas ^c	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
^a Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente para os problemas de fadiga, ver Seção 23. ^b Edifícios residenciais. ^c Edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos.				

Tabela 3– Valores do coeficiente γf_2 . Fonte: NBR6118:2014

3.2 Cargas

A NBR6120:2019 trata especificamente das ações para o cálculo das estruturas. A partir das informações contidas nela, são obtidos os valores dos carregamentos presentes na edificação.

3.2.1 Permanentes

As ações permanentes são os valores de carga sempre presentes na estrutura. Na presente pesquisa as cargas permanentes abrangem o peso próprio da estrutura, o peso de dos materiais de construção (contrapiso e revestimentos), o peso de componentes construtivos (paredes, forros e impermeabilização).

Abaixo estão apresentados os trechos utilizados das tabelas disponíveis na NBR6120 para obter os valores de peso próprio dos materiais.

2 Blocos artificiais e pisos	Blocos de concreto vazados (função estrutural, classes A e B, ABNT NBR 6136)	14
	Blocos cerâmicos vazados com paredes vazadas (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	12
	Blocos cerâmicos vazados com paredes maciças (função estrutural, ABNT NBR 15270-1)	14
	Blocos cerâmicos maciços	18
	Blocos de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	5,5
	Blocos de vidro	9
	Blocos sílico-calcareos	20
	Lajotas cerâmicas	18
	Porcelanato	23
	Terracota	21

Tabela 4 – Peso específico aparente dos materiais de construção – item 1. Fonte: NBR 6120:2019

Material		Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
3 Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18 (15)
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23 (21)
	Argamassa de gesso	12 a 18 (15)
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25
	NOTA Os pesos específicos de argamassas e concretos são válidos para o estado endurecido.	

Tabela 5 – Peso específico aparente dos materiais de construção – item 3. Fonte: NBR 6120:2019

Alvenaria	Espessura nominal do elemento cm	Peso - Espessura de revestimento por face kN/m ²		
		0 cm	1 cm	2 cm
ALVENARIA DE VEDAÇÃO				
Bloco de concreto vazado (Classe C – ABNT NBR 6136)	6,5	1,0	1,4	1,8
	9	1,1	1,5	1,9
	11,5	1,3	1,7	2,1
	14	1,4	1,8	2,2
	19	1,8	2,2	2,6
Bloco cerâmico vazado (Furo horizontal - ABNT NBR 15270-1)	9	0,7	1,1	1,6
	11,5	0,9	1,3	1,7
	14	1,1	1,5	1,9
	19	1,4	1,8	2,3
Bloco de concreto celular autoclavado (Classe C25 – ABNT NBR 13438)	7,5	0,5	0,9	1,3
	10	0,6	1,0	1,4
	12,5	0,8	1,2	1,6
	15	0,9	1,3	1,7
	17,5	1,1	1,5	1,9
	20	1,2	1,6	2,0
Bloco de vidro (decorativo, sem resistência ao fogo)	8	0,8	–	–
NOTA Na composição de pesos de alvenarias desta Tabela foi considerado o seguinte:				
— argamassa de assentamento vertical e horizontal de cal, cimento e areia com 1 cm de espessura e peso específico de 19 kN/m ³ ;				
— revestimento com peso específico médio de 19 kN/m ³ ;				
— proporção de um meio bloco para cada três blocos inteiros;				
— sem preenchimento de vazios (com graute etc.).				

Tabela 6 – Alvenarias. Fonte: NBR6120:2019

Material	Espessura cm	Peso kN/m ²
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1,0
	7	1,4
Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$)	5	1,7
	7	2,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7
NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.		

Tabela 7 – Revestimentos de pisos e impermeabilizações. Fonte: NBR6120:2019

Material	Peso kN/m ²
Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte	0,25
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Forro de PVC, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte	0,10
Dutos de ventilação, sem isolamento térmico	0,20
Dutos de ar-condicionado, com isolamento térmico	0,30
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 65 mm	0,10
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 80 mm	0,15

Tabela 8 – Forros, dutos e sprinkler. Fonte: NBR6120:2019

3.2.2 Variáveis

A seção 6 da NBR6120:2019 trata das cargas variáveis de projeto. Essas cargas devem ser consideradas quase-estáticas e produzem os efeitos mais desfavoráveis para cada uso da edificação. A tabela abaixo apresenta os valores de carga equivalentes a edifícios comerciais.

Local		Carga uniformemente distribuída kN/m ²	Carga concentrada kN
Edifícios comerciais, corporativos e de escritórios	Salas de uso geral e sanitários	2,5	–
	Regiões de arquivos deslizantes	5	–
	Call center	3	–
	Corredores dentro de unidades autônomas	2,5	–
	Corredores de uso comum	3	–
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
	Jardins (ver item nesta Tabela)		

Tabela 9 – Valores característicos nominais das cargas variáveis. Fonte: NBR6120:2019

3.2.3 Cargas de vento

Para a consideração das cargas de vento na edificação, seguem-se os procedimentos estabelecidos pela NBR 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações. Os valores das forças estáticas horizontais são obtidos do seguinte modo:

A velocidade básica do vento (V_0), dependente da localização geográfica da edificação, é obtida a partir do mapa de isopletas da velocidade básica – figura 1 NBR6123:1998.

A velocidade básica é multiplicada por pelos fatores S1, S2 e S3, com o objetivo de encontrar a velocidade característica do vento (V_k), conforme a equação 1

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (\text{equação 1})$$

O fator S1 refere-se as variações do relevo do terreno sobre o qual a edificação está construída, adotando-se o valor de $S_1=1,0$ para terrenos planos ou fracamente acidentados.

O fator S2 considera o efeito combinado da rugosidade do terreno, da variação da velocidade do vento com a altura acima do terreno e das dimensões da edificação. Para terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, como subúrbios densamente construídos de grandes cidades, adota-se a categoria IV, que quando combinada com a classe da edificação (5.3.2 da NBR6123), conforme as dimensões máximas, é possível obter o fator S2 através da equação 1 retirada da NBR6123.

$$S_2 = 0,84 Fr (z/10)^{0,135} \quad (\text{equação 2})$$

E por último, é possível determinar o fator estatístico S3 segundo o grupo de utilização da edificação. Adota-se $S_3= 1,0$ em edificações para hotéis, residências e comércio com alto fator de ocupação.

A pressão dinâmica do vento é obtida a partir da equação 3:

$$q = 0,613 * V_k^2$$

Por fim é possível obter a força de arrasto através da equação 4:

$$F_a = C_a * q * A_e$$

Onde:

- C_a é o coeficiente de arrasto, fornecido em ábaco em função da geometria da edificação e do nível de turbulência do vento;
- q é a pressão dinâmica do vento, anteriormente descrita;
- A_e é a área em projeção no plano ortogonal à direção do vento da forma do objeto em estudo.

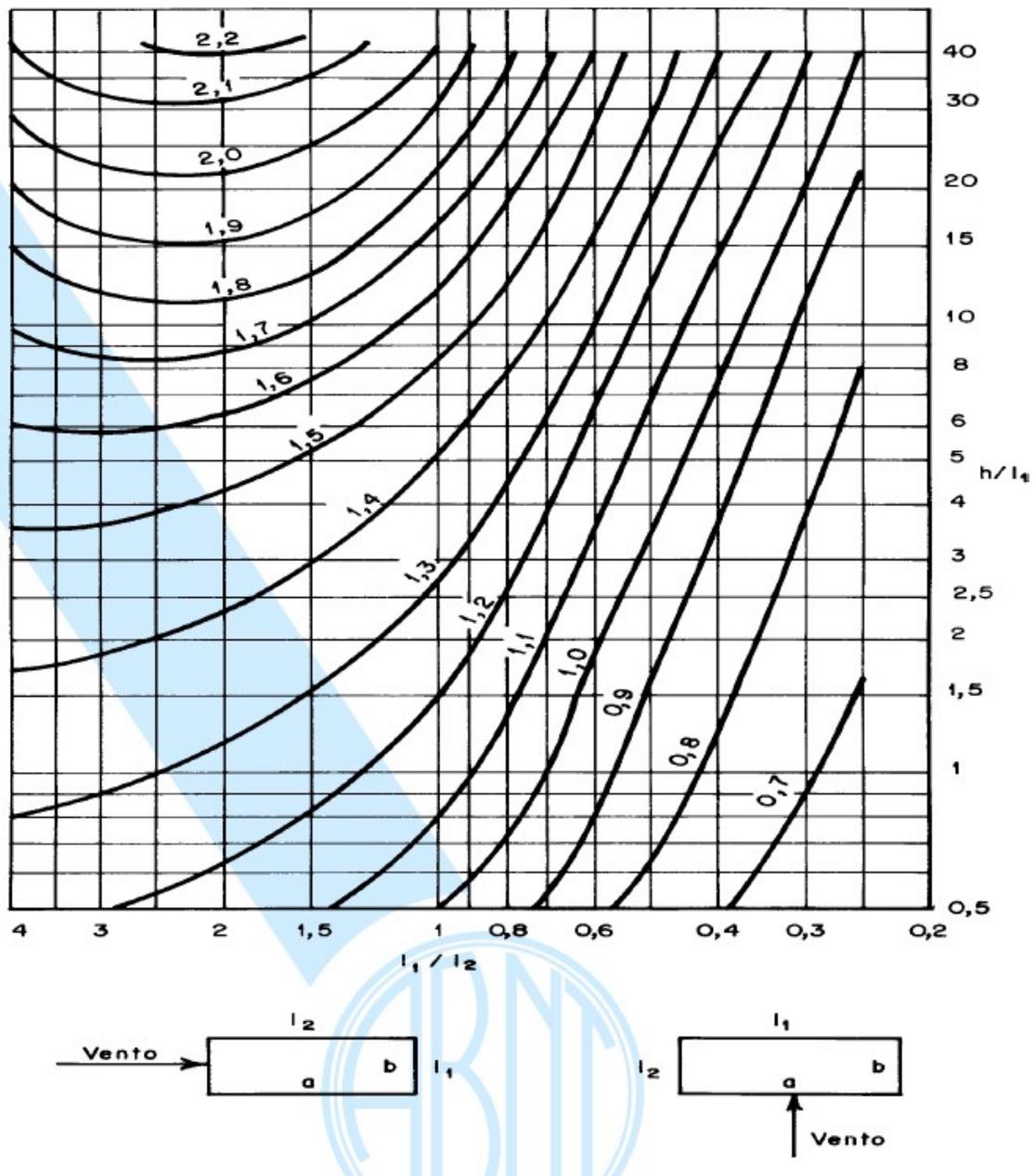


Figura 4 - Coeficiente de arrasto, C_d , para edificações paralelepípedicas em vento de baixa turbulência

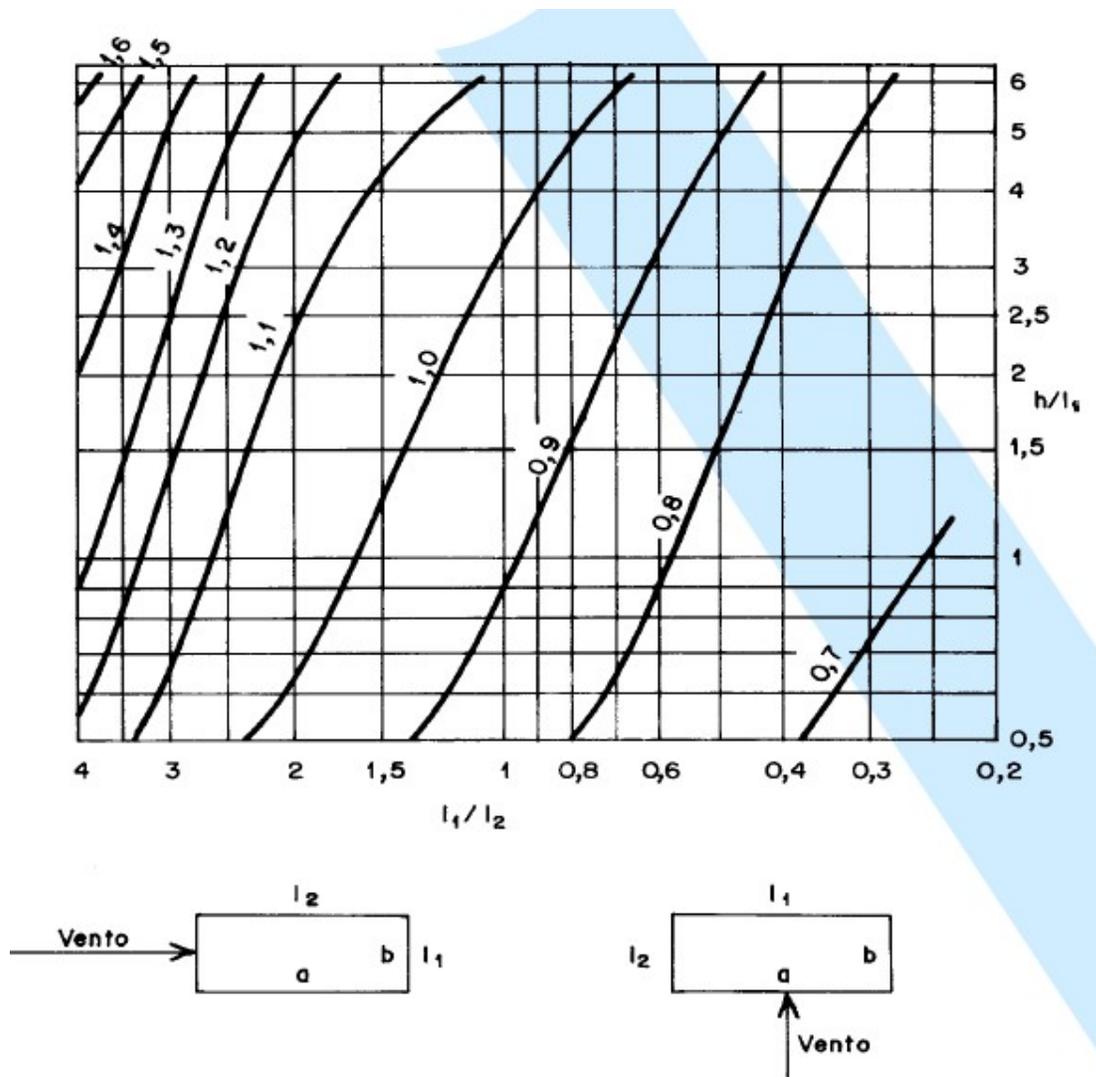


Figura 5 - Coeficiente de arrasto, C_a , para edificações paralelepípedicas em vento de alta turbulência

Conforme o item 6.6, a NBR6123:1988 acrescenta que a resultante dessa força em edificações paralelepípedicas deve ser aplicada no centro da dimensão em planta, mas também deve-se considerar algumas excentricidades causadas pelo vento agindo obliquamente ou por efeitos de vizinhança, que podem causar o aparecimento de efeitos torcionais na estrutura. Esses valores de excentricidade são função da dimensão da edificação, em planta, perpendicular ao vento na direção considerada, conforme segue abaixo:

- Edificações sem efeitos de vizinhança:

$$e_a = 0,075 a \text{ e } e_b = 0,075 b$$

- Edificações com efeitos de vizinhança:

$$e_a = 0,15 a \text{ e } e_b = 0,15 b.$$

Sendo ea medido na direção do lado maior, a , e eb medido na direção do lado menor, b . Essas excentricidades devem ser consideradas nos dois sentidos, em cada direção do vento.

3.3 Deslocamentos máximos no estado limite de deformação excessiva ELS-DEF

Os deslocamentos horizontais citados na NBR6118:2014 são os valores máximos admitidos para a verificação da estrutura no estado limite de serviço, que se refere ao mau funcionamento de elementos estruturais e não estruturais, causando vibrações e fissurações. A tabela 13.3 da norma supracitada define como deslocamento máximo no topo do edifício $H/1700$, sendo H a altura total da edificação. Na mesma tabela é possível encontrar o deslocamento limite entre pavimentos consecutivos, dado por $H_i/850$, onde H_i é o desnível entre dois pavimentos vizinhos. Os limites impostos são em razão dos elementos não estruturais que podem sofrer fissuração generalizada e descolamento da estrutura com os deslocamentos causados pelas cargas de vento.

Para os deslocamentos verticais das peças em geral se admite um limite máximo de $1/250$ e para lajes ou vigas em balanço $1/125$, conforme a Tabela-13.3 da NBR6118:2014, em razão dos limites de aceitabilidade sensoriais visuais.

3.4 Parâmetros de estabilidade

Para a análise da estabilidade global da estrutura a NBR6118:2014 apresenta dois critérios: parâmetro de estabilidade alfa (α) e o coeficiente gama Z (γ_z). Eles são utilizados para determinar se a estrutura é considerada de nós fixos, caso em que os efeitos globais de 2ª ordem podem ser desconsiderados, ou se é considerada de nós móveis, situação na qual os efeitos de 2ª ordem não devem ser desprezados. Pela maior abrangência de análise proporcionada pelo coeficiente gama Z , somente este será considerado no dimensionamento das estruturas da presente pesquisa.

O coeficiente gama Z além de indicar se a estrutura deve ser considerada de nós fixos ou nós móveis, possibilita definir o método de consideração dos esforços globais de 2ª ordem. A NBR6118 determina que:

$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$

sendo:

$M_{1,tot,d}$ é o momento de tombamento, ou seja, a soma dos momentos de todas as forças horizontais da combinação considerada, com seus valores de cálculo, em relação à base da estrutura;

$\Delta M_{tot,d}$ é a soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura, na combinação considerada, com seus valores de cálculo, pelos deslocamentos horizontais de seus respectivos pontos de aplicação, obtidos da análise de 1ª ordem.

Estruturas com o coeficiente gama Z menor ou igual a 1,10 são consideradas de nós fixos, e os efeitos de segunda ordem globais podem ser desconsiderados. Para valores de gama Z entre 1,1 e 1,3, é possível considerar os efeitos de segunda ordem a partir da majoração adicional dos esforços horizontais da combinação de carregamento considerada por 0,95 $\%$. A presente pesquisa priorizou a modelagem de estruturas com gama Z menor do que 1,3 para não haver necessidade da avaliação dos efeitos de segunda ordem através de outros métodos.

3.5 Características das lajes

“As lajes são elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano (NBR 6118). As lajes maciças e as nervuradas são os principais tipos utilizados atualmente em estruturas de maior porte moldadas no local. Lajes formadas por vigotas e tabelas são muito empregadas em edificações de pequeno porte, com poucos andares, sendo pouco empregadas em edifícios.” (DANIEL, 2020)

A comparação dos quantitativos de lajes já foi realizada e os resultados encontrados por SILVA (2010) apresentaram como vão de transição entre os sistemas de lajes maciças e nervuradas a dimensão de 6m. O mesmo ressalta que a partir de 12m de vão as lajes nervuradas passam a ter custos elevados, tornando interessante a análise de utilização de lajes protendidas.

3.5.1 Lajes maciças

Conforme DANIEL (2020) aponta, Araújo (2010a, p. 2) define as lajes maciças como:

“As lajes maciças são placas de espessura uniforme, apoiadas ao longo do seu contorno. Os apoios podem ser constituídos por vigas ou por alvenarias, sendo este o tipo de laje predominante nos edifícios residências onde os vãos são relativamente pequenos.”

Segundo Bastos (2015, p. 1), “Laje maciça é aquela onde toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, e apoiada em vigas ou paredes ao longo das bordas”.

As lajes maciças são as mais usuais no Brasil, principalmente devido à sua facilidade de execução. Porém, conforme mencionado por Albuquerque (1999), a laje maciça não pode vencer grandes vãos devido ao seu peso próprio e é prática usual adotar-se como vão médio econômico das lajes um valor entre 3,5 e 5m. Entretanto, a facilidade de adaptar o sistema de lajes maciças a formatos irregulares de lajes pode tornar o sistema mais adequado economicamente, sendo necessária análise particularizada para cada caso.

Como ponto negativo desse sistema, podem ser citadas a grande quantidade de vigas e consequente aumento no número de recortes das formas, o que diminui a produtividade, além de consumir muito concreto, aço e formas. Em contrapartida, o maior número de vigas citados, formam mais pórticos, resultando em uma estrutura mais estável (Albuquerque, 1999).

Os limites mínimos de espessura para lajes dependem do uso e de suas vinculações conforme apresenta a NBR6118:

- 7 cm para cobertura não em balanço;
- 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- 10 cm para lajes em balanço;
- 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;

As lajes em balanço, em função da sua espessura, podem ter um coeficiente adicional de majoração das cargas, assim como os pilares, conforme Figura 5

A taxa máxima de armadura e os deslocamentos máximos permitidos para lajes correspondem aos mesmos limites impostos às vigas.

3.5.2 Lajes nervuradas

As lajes nervuradas, “são as lajes moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte” (NBR 6118:2014). Como explicado por Albuquerque (1999), o fato de as armaduras serem responsáveis pelos esforços resistentes de tração permite que a zona tracionada seja reduzida na forma de nervuras, não comprometendo a zona comprimida, que será resistida pela mesa de concreto. Ainda de acordo com o autor, a vantagem principal desta utilização é a redução do peso próprio da estrutura, já que o volume de concreto diminui, e ainda há um aumento na inércia, já que a laje tem sua altura aumentada.

A NBR6118:2014 estabelece os seguintes critérios de projeto: *“Quando não há tubulações horizontais embutidas, a mesa deve possuir no mínimo 4cm de espessura, garantindo que a mesma seja maior que 1/15 da distância entre as faces das nervuras.”*

Além disso a NBR6118:2014 estabelece:

O valor mínimo absoluto da espessura da mesa deve ser 5 cm, quando existirem tubulações embutidas de diâmetro menor ou igual a 10 mm. Para tubulações com diâmetro Φ maior que 10 mm, a mesa deve ter a espessura mínima de $4\text{ cm} + \Phi$, ou $4\text{ cm} + 2\Phi$ no caso de haver cruzamento destas tubulações. Em relação às nervuras, estas não podem apresentar espessuras inferiores a 5 cm. Além disso, caso possua espessura menor que 8 cm, não pode conter armadura de compressão. Outro ponto importante, é que o espaçamento entre nervuras determina a forma pela qual o modelo da laje deve ser analisado. A NBR6118:2014 apresenta três casos em função do espaçamento entre eixo de nervuras:

- Espaçamento ≤ 65 cm: é necessária apenas a verificação do cisalhamento na região das nervuras, segundo os mesmos critérios de lajes.

- Espaçamento entre 65 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 até 90 cm e a largura média das nervuras for maior que 12 cm”.

- Espaçamento ≥ 110 cm: “a mesa deve ser projetada como laje maciça, apoiada na grelha de vigas, respeitando-se os seus limites mínimos de espessura”

As lajes nervuradas têm uma característica negativa, que é o baixo isolamento acústico por decorrência da capa pouco espessa. Por esse motivo esse sistema é pouco usado em edifícios residenciais. Mas quando se trata de edifícios comerciais, as lajes nervuradas são recomendadas pois vencem maiores espaçamentos entre pilares, proporcionando flexibilidade de layout com o uso de divisórios leves para a modulação dos espaços.

4 MÉTODOS DE ANÁLISE DA ESTRUTURA

Visto que o software TQS Unipro foi escolhido como ferramenta de trabalho, a análise da estrutura é feita a partir dos modelos que ele oferece. No início de um novo projeto, o programa permite escolher entre diferentes modelos de análise estrutural, os mais utilizados são o Modelo IV – Modelo de vigas e pilares, flexibilizado conforme critérios e o Modelo VI – Modelo de vigas, pilares e lajes, flexibilizado conforme critérios. Para o primeiro modelo citado, conforme o TQS:

“O pórtico será composto apenas por barras que simulam as vigas e pilares da estrutura, com o efeito de diafragma rígido das lajes devidamente incorporado. Os efeitos oriundos das ações verticais e horizontais nas vigas e pilares são calculados com o pórtico espacial. Nas lajes, somente os efeitos gerados pelas ações verticais são calculados, de acordo com o modelo selecionado para os pavimentos. Nos pavimentos simulados por grelhas de lajes, os esforços resultantes das barras de lajes sobre as vigas são transferidos como cargas para o pórtico espacial, ou seja, há uma certa integração entre ambos os modelos (pórtico espacial e grelhas). Para os demais tipos de modelos de pavimentos, as cargas das lajes são transferidas para o pórtico por meio de quinhões de carga.”

Já no segundo modelo mencionado, o prédio é modelado por um pórtico espacial, que engloba todos os elementos da estrutura, ou seja, vigas, pilares e lajes. Todas as ações neste modelo, verticais e horizontais, são resistidas por todos os elementos, o que faz a laje resistir a parte dos esforços do vento, o que não ocorre nos outros modelos. (TQS, 2020)

Na consideração dos efeitos de segunda ordem, o TQS Unipro utiliza, para estruturas com coeficiente de instabilidade gama Z até 1,30, as simplificações permitidas pela NBR6118:2014, de considerar a não linearidade física dos componentes pela redução da rigidez EI e pela amplificação das cargas horizontais pelo fator 0,95 Gama Z.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos os métodos, parâmetros e processos envolvidos para o desenvolvimento da pesquisa.

Com o objetivo de avaliar o custo de dois sistemas estruturais para lajes de concreto armado e determinar o impacto que o ritmo de obra causa no custo global da obra, foram definidos modelos estruturais seguindo um roteiro com parâmetros determinados, a fim de permitir a comparação das estruturas com a mínima interferência de outras opções de projeto que não as adotadas de forma uniforme para todos os modelos deste estudo. De início, alguns limites e imposições tiveram de ser definidos conforme norma e/ou para simplificar e padronizar os comparativos entre os diversos modelos.

Para a modelagem e cálculo das estruturas, foi usado o sistema CAD/TQS Unipro, versão 21.14.52, licença educacional, disponibilizada pela universidade. O software realiza o dimensionamento e esforços respeitando o Estado Limite Último (ELU) da estrutura, com verificação para o Estado Limite de Serviço (ELS), e os critérios seguem as considerações presentes na NBR6118:2014, NBR6120:2019 e NBR6123:1988.

5.1 Edificação idealizada

De forma a possibilitar a variação dos vãos das lajes dentro da faixa de valores pretendida, e poder dispor os pilares de maneira compatível, foram utilizados modelos idealizados, com uma malha de vigas ortogonal regular, sem conter arquitetura definida ou núcleo de circulação vertical. Além disso, as fundações também não foram dimensionadas, sendo os modelos considerados engastados no nível do térreo. Outros fatores que não foram levados em consideração são as verificações de conforto térmico ou acústico, as situações decorrentes de incêndio, e a análise de cargas dinâmicas. A resistência do concreto utilizada foi $f_{ck}=35\text{Mpa}$, pois é um concreto mais usual nos projetos estruturais de concreto armado, juntamente com 25Mpa e 30Mpa, mas conforme MATIAS (2019), resulta em um custo global da estrutura menor para seções mínimas.

Para a correta comparação dos sistemas de lajes, foram definidos 3 grupos de dimensões de vãos, baseados em literatura existente que diz:

“Com base nos gráficos e tabelas obtidos para consumo de concreto e aço das lajes maciças e nervuradas, pode-se confirmar que, para as condições estudadas neste trabalho, as lajes nervuradas são mais indicadas para maiores vãos, enquanto as lajes maciças são mais adequadas para vãos menores” (SILVA, 2010)

Portanto, os vãos escolhidos para as lajes foram 3m x 3m, 5m x 5m e 7,5m x 7,5m. As dimensões escolhidas para o pavimento tipo do edifício, de forma a se manter as dimensões da edificação em planta constantes e ao mesmo tempo serem múltiplas das dimensões das lajes quadradas, foram 15m x 30m. Assim, todos os edifícios analisados possuem mesma área construída e somente variação nos sistemas construtivos de lajes e vãos entre pilares.

Após definidos os parâmetros de projeto, para a criação do roteiro de otimização e dimensionamento foi escolhida a configuração de edifício com dimensão de vãos intermediários (figura 7), e posteriormente aplicado para dimensionamento das demais configurações. Os relatos desse processo, portanto, serão feitos com base na modelagem do Modelo 3 (Edifício Comercial de lajes maciças com vãos de 5x5m). O resumo dos modelos estudados está contido na tabela 10.

Modelo	Laje	
	Vão	Tipo
1	3x3	maciça
2	3x3	nervurada
3	5x5	maciça
4	5x5	nervurada
5	7,5x7,5	maciça
6	7,5x7,5	nervurada

Tabela 10 – Resumo de modelos

O contraventamento da estrutura é constituído integralmente por sistema de pórticos, que apresentam simetria conforme os elementos componentes. Isso ocorre em razão das vigas e pilares estarem separados em grupos que seguem as mesmas dimensões, pois ao tratar os elementos individualmente, a otimização de tornaria exaustiva, inviabilizando o tempo para análise. Durante os testes iniciais, também se verificou que ao tratar a estrutura com conjuntos com muitos elementos, a otimização era prejudicada, pois bastava um componente exigir aumento, que todas as peças eram aumentadas, causando um impacto muito grande no consumo de concreto. Esse método torna o dimensionamento mais próximo ao real, e ao mesmo tempo viável para análise. Os grupos de elementos componentes da estrutura e os pórticos estão representados nas figuras a seguir. É importante salientar que os edifícios de vãos diferentes contêm número de grupos diferentes a fim de satisfazer o objetivo de obter o menor volume de concreto total na estrutura sem aumentar demasiadamente a complexidade do processo de otimização.

Os grupos de pilares estão representados pelas letras e os pórticos pelas cores.

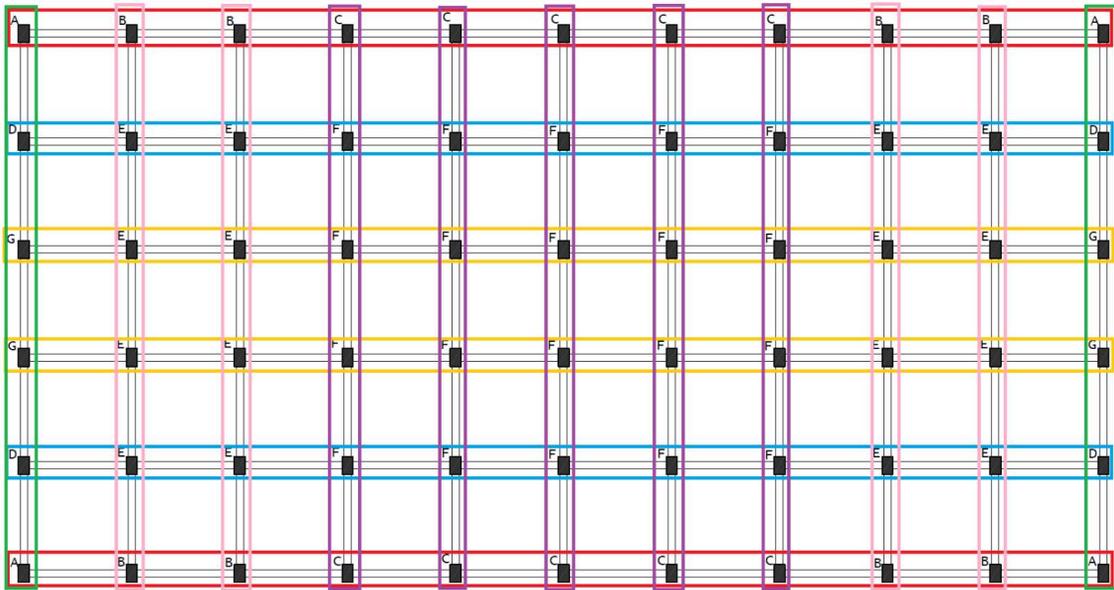


Figura 6 – Planta de representação de pórticos– Modelos 1 e 2

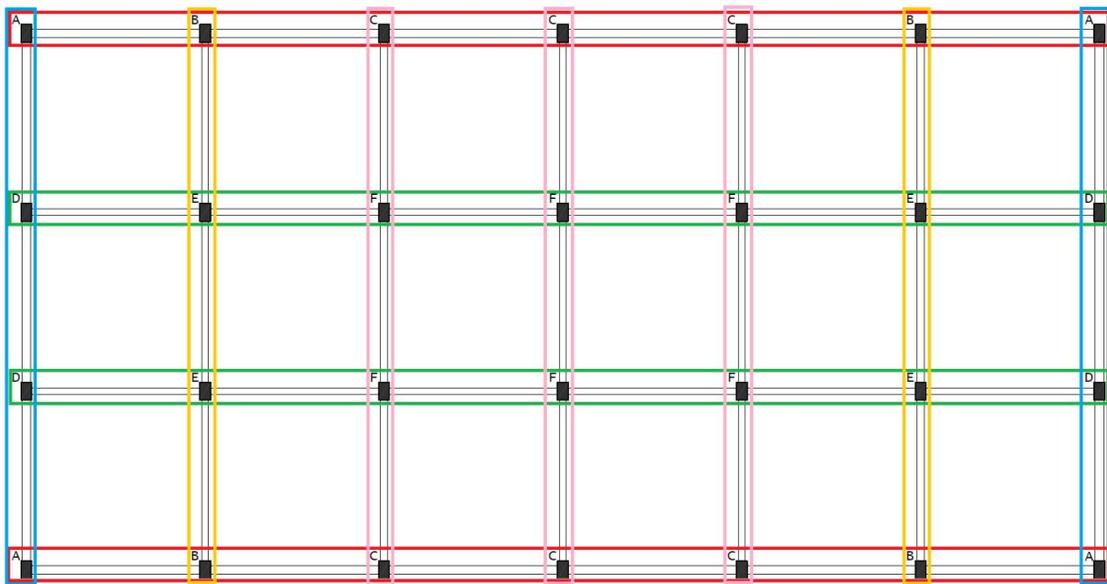


Figura 7 – Planta de representação de pórticos– Modelos 3 e 4

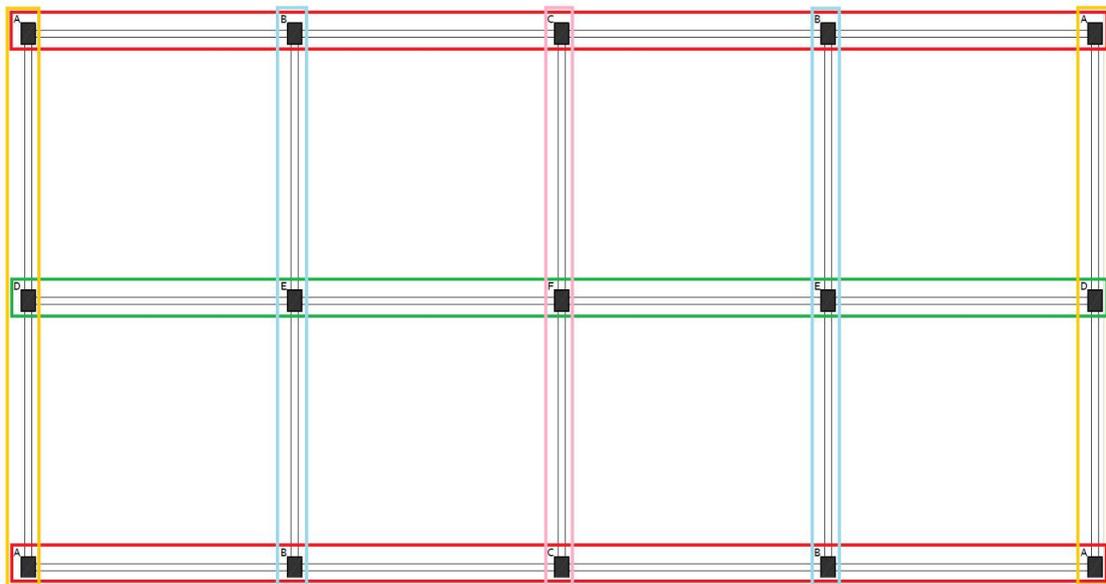


Figura 8 – Planta de representação de pórticos– Modelos 5 e 6

A definição que regeu a criação dos modelos, além do tamanho do pavimento, foi a altura dos edifícios, todos tendo a altura de 60m, sendo 20 pavimentos de 3m de pé direito (Figura 9). A escolha dos 20 pavimentos é justificada pela intenção de maximizar os efeitos de redução de cargas decorrentes dos sistemas de lajes nas vigas e pilares, que fica mais visível à medida que se aumenta o número de pavimentos. Usualmente para edifícios com essa altura é utilizado algum núcleo rígido para resistir aos esforços horizontais, mas se optou por deixar o contraventamento sendo resistido exclusivamente aos pórticos, o que influencia diretamente nos efeitos globais de estabilidade.

Corte esquemático

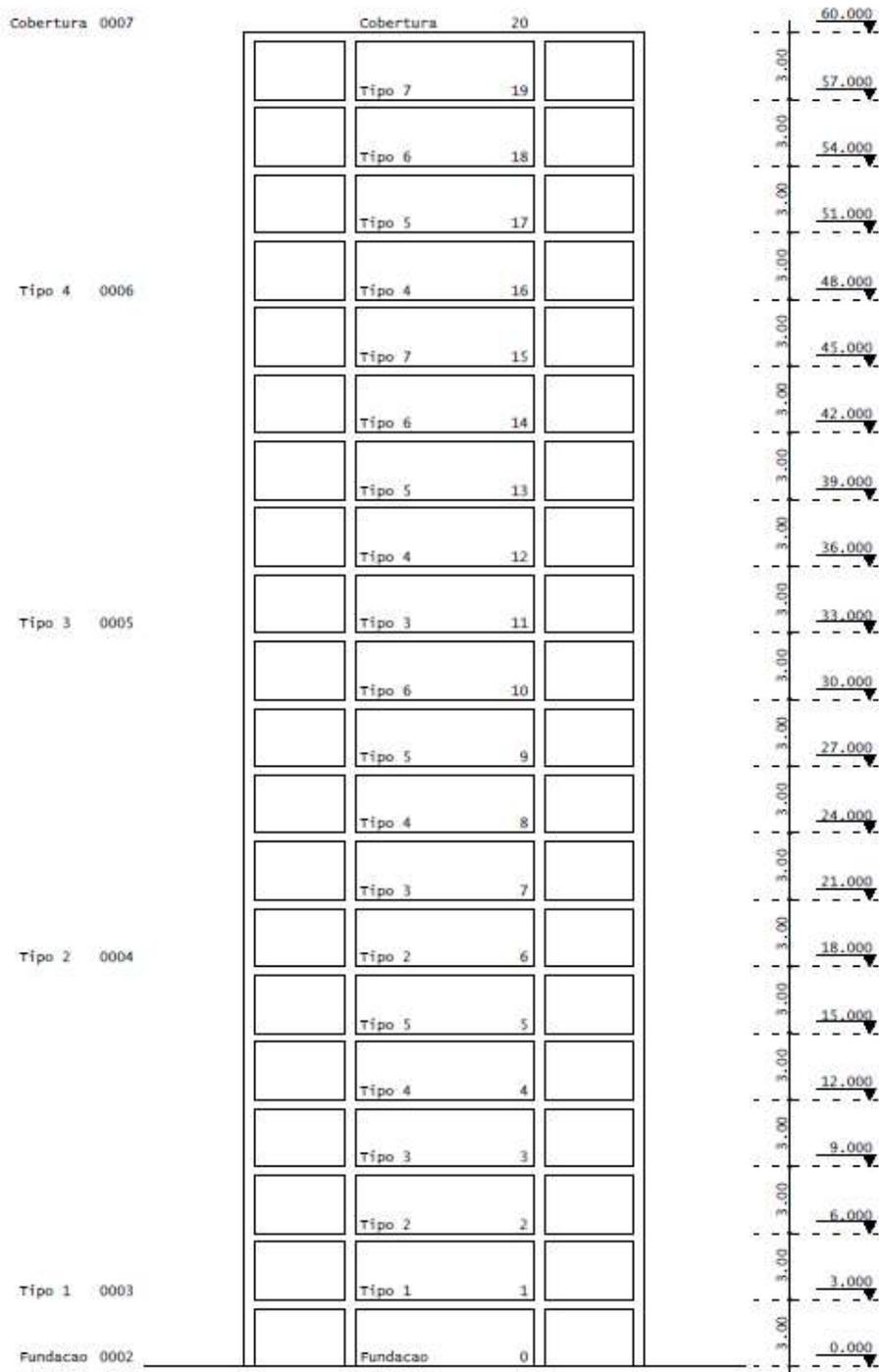


Figura 9 – Corte esquemático

5.2 Parâmetros de projeto

Apesar dos modelos utilizados representarem uma estrutura idealizada, em termos de cargas e metodologia de análise e dimensionamento, buscou-se a proximidade com situações reais. As cargas de lajes levaram em conta a carga acidental de ocupação e, também uma carga permanente de revestimento. O mesmo ocorreu nas vigas, pois foi considerada uma carga de parede ao longo de todas as vigas, considerando, além da alvenaria de fechamento, também estimativas de reboco e revestimento.

A classe de agressividade ambiental do projeto deve ser escolhida conforme as ações físicas e químicas atuam nas estruturas de concreto, conforme a tabela 6.1 da NBR6118:2014. A considerada nesse projeto foi a classe II – Moderada – Urbana. A partir disso então obtêm-se os cobrimentos mínimos adotados para os elementos estruturais conforme a tabela 7.2 da NBR 6118:2014, apresentados na tabela 11.

Elemento	Cobrimento (mm)
Lajes	25
Vigas	30
Pilares	30

Tabela 11 – Cobrimentos mínimos de armadura.

As cargas consideradas incluem cargas permanentes, acidentais e cargas de vento. Para as cargas permanentes admitiu-se que em todos os pavimentos tipo há contrapiso de 5cm de espessura, revestimento de porcelanato com 2cm de espessura e forro de gesso acartonado. A edificação será projetada para uso comercial, mais adequada à geometria regular da estrutura idealizada empregada. Para as paredes foi considerado o uso de blocos cerâmicos com revestimento de 2cm, sobre todas as vigas. A última laje, pertencente a cobertura, foi dimensionada com a carga acidental pertinente, conforme NBR6120:2019 e para as cargas permanentes foi considerada impermeabilização com manta asfáltica e proteção mecânica de 15cm. As informações estão resumidas na tabela abaixo:

Carregamentos (kN/m²)			
Definidos a partir da NBR6120:2019			
		Comercial	
Acidental	Pavimentos tipo	Salas de uso geral	2,5
	Cobertura	Acesso somente para manutenção	1
Permanente	Contrapiso	De concreto simples e=5cm	,1,2
	Revestimento	Porcelanato 2cm	0,46
	Forro	Forro de gesso acartonado	0,25
	Cobertura	Imperm. com manta asfáltica e proteção mecânica e=15cm	2,7
Total Lajes	Tipo	Acidental	2,5
		Permanente	1,91
	Cobertura	Acidental	1
		Permanente	2,7
Alvenaria	Externa	Bloco cerâmico vazado 19cm c/ 2 cm revestimento	6,21
	Interna	Bloco cerâmico vazado 14cm c/ 2 cm revestimento	5,13

Tabela 12 – Carregamentos considerados.

As cargas de vento foram calculadas para um edifício localizado na cidade de Porto Alegre, em zona urbanizada, com obstáculos numerosos e pouco espaçados. Portanto, a velocidade básica adotada foi de 45m/s conforme o mapa de isopletas do Brasil, encontrado na NBR6123:1988.

Para o cálculo da força de arrasto, foram determinados os fatores S1, S2 e S3. Conforme o item 5.2 da norma, o fator topográfico S1 pode ser considerado com valor 1,0 em correspondente a terrenos planos ou fracamente acidentados.

Para o fator S2, responsável por analisar a rugosidade do terreno, dimensões e altura da edificação, utilizou-se a tabela 2 da NBR6123:1988. Para obter-se o valor correto, a categoria da edificação foi considerada IV, pela zona de inserção da edificação, e para a classe considerou-se C, pois a altura do edifício é 60m. Assim tem-se todos os valores para encontrar o resultado de S2. A expressão do fator S2 considerando a categoria e classe da edificação é.

$$S_2 = 0,84 Fr (z/10)^{0,135}$$

Já o fator S3, que é fator estatístico, leva em consideração o uso da edificação e é foi adotado como 1,0, pois como citado, a edificação é de uso comercial.

Obtidos todos os fatores necessários, foram encontrados os coeficientes de arrasto para o vento nas direções X e Y alinhadas com o eixo maior e o eixo menor em planta da edificação. Para cada direção do vento, foram considerados os 2 sentidos, resultando na análise do vento incidente em 0°, 90°, 180° e 270°, e as excentricidades de +/- 15% da largura da fachada

decorrentes do efeito de vizinhança e atuação oblíqua do vento em cada fachada, além do caso centrado, resultando em 12 casos de carga a serem analisados. Os 12 casos estão apresentados abaixo, fornecido pelo memorial de cálculo fornecida pelo TQS onde há 3 casos para cada ângulo por causa das incidências centradas e excêntricas da Força de Arrasto:

Caso	Ângulo (graus)	Coef. arrasto	Área (m ²)	Pressão (tf/m ²)
5	90.0	1.08	1815.0	0.119
6	270.0	1.08	1815.0	0.119
7	0.0	0.89	934.5	0.098
8	180.0	0.89	934.5	0.098
9	0.0	0.89	954.0	0.098
10	0.0	0.89	954.0	0.098
11	270.0	1.08	1815.0	0.119
12	270.0	1.08	1815.0	0.119
13	90.0	1.08	1815.0	0.119
14	90.0	1.08	1815.0	0.119
15	180.0	0.89	954.0	0.098
16	180.0	0.89	954.0	0.098

Tabela 13 – Valores das pressões.

Dadas as cargas de projeto consideradas no cálculo, para o modelo estrutural global o programa TQS considera as combinações descritas na tabela 15.

Tipo	Descrição	Combinações
ELU	Verificações de estado limite último - Vigas e lajes, pilares e fundações	25
FOGO	Verificações em situação de incêndio	2
ELS	Verificações de estado limite de serviço	14
COMBFLU	Cálculo de fluência (método geral)	2

Tabela 14 – Números de combinações de ações avaliadas pelo TQS.

Estado limite	Combinação	Descrição
Último	Permanentes e acidentais	$1,4*(PP+PERM+ACID)$
	Acidentais combinadas	$1,4*(PP+PERM+0,8*ACID+VENT)$
		$1,4*(PP+PERM+ACID+0,6*VENT)$
de Serviço	Combinações frequentes	$PP+PERM+0,7*ACID$
		$PP+PERM+0,6*ACID+0,3*VENT$
		$PP+PERM+0,6*ACID$

Tabela 15 – Combinações de ações avaliadas pelo TQS.

Sendo:

PERM – Carga permanente

ACID - Carga acidental vertical

PP - Peso próprio

VENT – Carga de vento nos 12 casos considerados

As combinações apresentadas nas tabelas 14 e 15 são combinações padrão realizadas pelo TQS e já foram descritas também em outras pesquisas. A partir da verificação dos coeficientes que ponderam as cargas na NBR6118:2014, constatou-se que os valores utilizados pelo TQS se referem a “bibliotecas, arquivos, oficinas e garagem”. Entende-se que o objetivo do uso desses coeficientes se justifica pela intenção de obter as combinações mais críticas, levando o dimensionamento a favor da segurança.

Cada edifício contém 4 pavimentos tipo, de 5 pavimentos cada. Tal decisão foi tomada com a finalidade de minimizar as seções transversais dos pilares e vigas o máximo possível, tornando-as mais independentes entre si, para resultados mais próximos a realidade e proporcionar a obtenção de uma estrutura efetivamente otimizada. A cautela de não tornar cada pavimento único, envolveu a viabilidade de tempo de otimização e modelagem de cada edifício.

Em todos os modelos foi definida uma largura inicial de 20cm para todas as vigas, com a altura em múltiplos de 5cm. Para que o pé direito da edificação, bem como inserção de portas e janelas se tornasse mais próximo da realidade, foi determinado que a altura máxima das vigas seria de 85cm, a partir desse valor então a mudança de seção seria definida pela determinação da largura do elemento, também em múltiplos de 5cm. A premissa para a definição da altura limite da viga partiu do pressuposto que a altura mínima das portas seria de 2,1m e que é necessário 5cm para o emboço. As janelas, nesse caso, também ficariam com a parte de cima alinhada com as portas. Com altura máxima determinada, supõe-se que a viga servirá de verga para as portas e janelas.

Para a definição da seção transversal dos pilares, também foi definida uma menor dimensão fixa de 25cm. Conforme determina a norma, pilares com relação entre dimensões $a/b > 5$, devem ser considerados pilares-parede, por isso tornou-se como parâmetro a premissa de que quando atingida essa relação limite, a dimensão fixada anteriormente poderia aumentar 5cm a cada vez que atingida a relação limite. A orientação dos pilares também não foi imposta para que além dos carregamentos, os limites de deslocamento horizontal da estrutura pudessem ser atingidos e respeitados mais facilmente, a fim de respeitar a norma para conforto em ELS.

5.3 Otimização das seções transversais

Com a configuração geral do edifício, as cargas (cargas acidentais e permanentes sobre as lajes e cargas de alvenaria sobre as vigas), cobrimentos, classe de agressividade e demais parâmetros de projeto definidos, bem como os critérios de definição das dimensões das vigas e pilares, foi realizado o processo de dimensionamento da estrutura no software de projeto empregado, buscando a obtenção de seções transversais com as menores dimensões que atendessem aos critérios de ELU e ELS da NBR6118:2014, obedecendo a taxa de armadura máxima permitida por norma de 4% e garantindo o comportamento esperado da estrutura, a fim de reduzir ao máximo o volume de concreto utilizado. Na prática, isso foi balizado, entre outras coisas, pelo uso de seções transversais tais que garantissem a ausência de mensagens de erro do software TQS na análise de cada modelo. Conforme o modelo foi sendo criado, entendeu-se que algumas dessas mensagens de erro eram somente advertências, e não indicativos de violação de prescrições da NBR6118:2014, portanto em situações em que o modelo identificou armadura dupla em vigas, mudança de seção de pilares e largura de apoio dos vãos insuficiente, eles foram desconsiderados. Quanto a este último aviso citado, é importante salientar que ele pode ser corrigido com a edição das armaduras das vigas, mas respeitada a limitação de utilizar fielmente os resultados e quantitativos oriundos do dimensionamento automático do TQS sem nenhuma interferência no detalhamento, optou-se por desconsiderar.

Assim, a comparação de custos é feita entre estruturas otimizadas em relação ao volume de concreto, e conseqüentemente, empregando taxas de armadura mais elevadas. Tal otimização não necessariamente conduz ao menor custo da estrutura, pois este é dependente dos preços relativos entre o concreto, aço, fôrmas e mão-de-obra, mas oferece um padrão de comparação entre as diversas soluções de mais fácil obtenção.

Com os erros e avisos apresentados, bem como relatório estrutural e memorial de cálculo, foram feitas as alterações necessárias nos elementos estruturais. Esse processo foi feito repetidamente até que não houvesse mais erros e avisos e que a estrutura fosse classificada como de nós móveis com limitação para o coeficiente gama Z menor ou igual a 1,3. Ainda, foram verificados os diagramas de esforços, as cargas nos apoios, os deslocamentos e alguns detalhamentos a fim de localizar possíveis incoerências no software e verificar o comportamento da estrutura e o deslocamento horizontal máximo no topo do edifício.

Iniciando a caracterização do edifício, foi definido, conforme especificado no software TQS, que o modelo de análise é um modelo de vigas e pilares, equivalente ao modelo IV. Além disso, a estrutura se comporta como um corpo único, sem juntas ou torres separadas.

Cumprindo todas as limitações e exigências já citadas, no modelo escolhido para os testes, determinou-se primeiramente a altura mínima da laje, em situação somente de carregamentos verticais em um único pavimento, para que as deformações e deslocamentos dos pilares não influenciassem no resultado da flecha dos pavimentos com o carregamento total da estrutura. Os critérios para o dimensionamento da laje estão presentes na NBR6118:2014 e delimitaram esse dimensionamento a flecha vertical produzida pela laje e dimensão de seção suficientemente grande para comportar as armaduras e satisfazer os cobrimentos.

Posteriormente o mesmo pavimento foi replicado 20 vezes, separados em grupos de 5 pavimentos, caracterizando os 4 pavimentos tipo do edifício. Os elementos do edifício então tiveram suas seções superdimensionadas para conferir o correto processamento do edifício sem erros ou advertências, e então terem suas seções otimizadas, para diminuir o consumo de concreto, parâmetro que rege a otimização dos modelos comparativos. Ao longo do desenvolvimento do trabalho, constatou-se que era mais fácil fazer a otimização das seções superdimensionadas em direção às seções ótimas que de seções subdimensionadas em direção às seções que geram uma estrutura que atende a totalidade dos requisitos de ELU e LES da NBR6118:2014.

Embora sem arquitetura definida, os pavimentos foram separados em 4 grupos para que as seções dos elementos pudessem variar nos pavimentos, uma solução de compromisso entre a economia decorrente de particularizar a seção transversal de cada tramo para as solicitações atuantes e a facilidade de execução decorrente da padronização das seções transversais ao longo de diversos pavimentos. Logo, cada grupo de vigas e pilares foi dimensionado para as envoltórias de solicitações dos cinco pavimentos que compõem cada grupo.

Em cada grupo de elementos foram avaliadas as solicitações decorrentes das cargas verticais e horizontais na estrutura. A diminuição das seções das vigas iniciando na cobertura

e seguindo para os pavimentos inferiores, foi o segundo passo na otimização da estrutura, realizada após a otimização da espessura das lajes feita num modelo equivalente de apenas um pavimento.

Uma vez obtidas as menores seções para esses elementos, conferido no menor peso próprio possível para os todos elementos apoiados nos pilares, foi feita a otimização dos elementos verticais.

Os pilares, do mesmo jeito que as vigas, foram dimensionados do último para o primeiro pavimento, uma vez que esse critério é ainda mais importante nessa etapa do dimensionamento para que o carregamento proveniente dos pavimentos superiores tenha a menor resultante acumulada possível na altura no solo em cada nível.

Nessa etapa do dimensionamento dos pilares, o foco foi achar a seção mínima necessária para resistir aos carregamentos verticais. Nesta etapa, o aviso mais frequente, foi de excesso de armaduras no traspasse, que ocorre entre o primeiro e último pavimentos de cada configuração tipo. Isso ocorre pelo fato, decorrente das armaduras do pavimento tipo inferior estarem dimensionadas para uma seção maior do que o seguinte superior. O erro foi corrigido com o aumento da seção do pilar.

A próxima etapa do processo de otimização foi então inserir no modelo as cargas de vento conforme a NBR6123:1988. Essas cargas demandaram uma nova otimização dos elementos para as solicitações decorrentes.

Encerrada a otimização com foco nas solicitações de cada elemento, foi iniciado a fase seguinte, de otimização global da estrutura em função da instabilidade, efeitos de segunda ordem e deslocamento horizontal máximo. Na análise dos parâmetros de estabilidade, deu-se prioridade para o coeficiente Gama-z, que limita a análise de estruturas de nós móveis com a majoração dos esforços horizontal até um valor limite de 1,3. Em todos os modelos, ao final da otimização das seções dos pilares para as solicitações atuantes, o parâmetro Gama-z (chamado de FAVt no TQS), em pelo menos uma das direções, esteve acima do valor limite. Quando verificado o deslocamento no topo do edifício, o maior valor de Gama-z era em geral detectado na direção ortogonal ao maior valor de deslocamento horizontal. Por isso, embora fosse prioridade nessa etapa adaptar a estrutura aos efeitos de 2ª ordem, foi concomitante a análise dos deslocamentos horizontais conforme os elementos foram sendo modificados.

Para a verificação dos deslocamentos horizontais no topo da edificação o software de projeto utilizado informa dois valores para uma mesma direção do vento. Tal informação se apresentou como os deslocamentos pelos efeitos dos ventos centrados e excêntricos numa mesma fachada do edifício, e entendeu-se que os valores indicavam os deslocamentos

referentes à translação (pela simetria da estrutura, o centro geométrico do pavimento coincide com o centro elástico da estrutura, de forma que o vento centrado na fachada tem reta suporte passando pelo centro elástico e não provoca torção do edifício) e à rotação. Portanto, o critério a ser utilizado para alteração dos elementos do projeto, com o objetivo de solucionar esse problema, foi enrijecer os elementos e os pórticos mais afastados do centro elástico do edifício e reduzir os efeitos de rotação causados pelo vento excêntrico. A primeira alteração normalmente empregada foi a rotação de alguns pilares, por estar definido no escopo da pesquisa que os pilares podem ter a maior dimensão de sua seção transversal orientada tanto na direção X quanto Y, de forma tentar atender simultaneamente os critérios de gama Z menor ou igual a 1,3 e deslocamento horizontal máximo menor ou igual a 3,53cm (1/1700 da altura total da edificação). A seguir, quando necessário, aumentou-se as seções dos pilares mais distantes do centro geométrico (pilares de perímetro) e as vigas componentes desses pórticos.

Com o edifício totalmente dimensionado para todas as condições e critérios estabelecidos em norma, pôde-se obter os detalhamentos das estruturas e relatório de consumo de materiais referentes ao edifício.

Conforme a análise sobre o processo de otimização adotado, entendeu-se que para os demais modelos, a etapa de dimensionamento da estrutura sem considerar as ações do vento é desnecessária. Ressaltando que é somente desnecessária para o resultado do dimensionamento, uma vez que foi possível compreender como a estrutura reage às cargas horizontais causadas pelo vento e os parâmetros e critérios adotados pelo software.

5.4 Orçamentos

Para a elaboração dos orçamentos foi necessário estabelecer um padrão para satisfazer os dois sistemas construtivos das lajes estudadas. Dito isso, definiu-se 3 grupos de itens do orçamento: materiais, escoramento e mão de obra.

Os materiais quantificados foram o volume de concreto, área de formas e quantidade de aço. O TQS fornece os quantitativos de concreto e formas esmiuçados por pavimento e elemento estrutural, o que facilita na aglutinação dos quantitativos, pois várias combinações e comparações são possíveis. O aço é apresentado também por elementos e pavimento, mas também é quantificado por bitola das barras por pavimento. As fôrmas foram o único item do grupo de materiais considerado de forma diferente, pelo fato de haver significantes divergências no modo com que elas estão presentes na obra, se adquiridas (lajes maciças) ou locadas (lajes nervuradas). Para o edifício de lajes maciças, as fôrmas são feitas de madeira

compensada e dimensionadas conforme o projeto de fôrmas do pavimento. Cada conjunto de fôrmas (equivalente ao total de fôrmas para 1 pavimento), tem uma durabilidade estimada de 5 usos, ou seja, para o edifício de 20 pavimentos, serão necessários 4 conjuntos de fôrmas, sendo necessário considerar por pavimento 1/5 do valor por conjunto. Para obter o valor de um único conjunto de fôrmas, fez-se a média das áreas das formas por pavimento, pois entende-se que embora elas possam ser usadas 5 vezes, estariam em uso simultaneamente, para satisfazer os ritmos de obra, pelo menos dois conjuntos de fôrmas. Para as lajes nervuradas, as formas são divididas em 2 tipos: formas de vigas e pilares, e formas de laje. As formas das vigas e dos pilares são iguais às das lajes maciças, calculadas por m² de área, então tiveram seu custo estimado conforme citado anteriormente. Já as fôrmas de laje são cubetas alugadas reutilizáveis, cobradas por dia, então o ritmo de execução dos pavimentos também influencia no custo final desse insumo. Os preços utilizados dos materiais são baseados no orçamento de obras de uma construtora de Porto Alegre – RS.

O maior desafio esteve na quantificação dos escoramentos, visto que o método de especificação e cobrança são diferentes para os dois tipos de lajes. No caso das lajes maciças, o escoramento é cobrado pela área do pavimento a ser escorado e o valor inclui o escoramento remanescente (usualmente denominado nas obras como reescoramento, embora tal termo devesse estar reservado à parcela de escoras que são retiradas para a remoção das fôrmas das lajes e recolocadas sobre faixas de reescoramento, pratica não recomendada que pode provocar solicitações muito altas nas lajes em idades nas quais a resistência das mesmas ainda não está totalmente desenvolvida), independentemente do tempo que leve para a execução da obra. Já as lajes nervuradas possuem um escoramento diferentes para as nervuras e as vigas do pavimento, sendo a cobrança feita por m² de laje e metro linear de viga, respectivamente. Outra diferença importante é o fato do escoramento das lajes nervuradas serem alugadas por tempo, influenciando no valor final o ritmo de execução da obra. Além disso, o escoramento remanescente é cobrado à parte, sendo necessário conforme indicação do fornecedor, que a laje nervurada fique por 14 dias com 100% do escoramento remanescente, depois 7 dias com 50% desse escoramento e os últimos 7 dias (para completar os 28 de cura do concreto) com apenas 25% das escorara inicialmente utilizadas no escoramento remanescente.

Para a avaliação dos custos conforme ritmo, determinou-se, portanto, prazos para execução de cada pavimento e uma variável envolvendo a quantidade de conjuntos de fôrmas de um pavimento disponíveis em obra. Os ritmos de obra (Apêndice B) se referem exclusivamente aos modelos com lajes nervuradas, em que o tempo de permanência dos materiais referentes ao cimbramento e escoramento das lajes na obra, interfere nos custos

globais. O ritmo 1 representa um cenário mais ágil, com equipe maior e preparada para fazer a concretagem de um pavimento a cada 7 dias, usando apenas um conjunto de fôrmas. O ritmo 2 propõe o mesmo intervalo entre concretagens, porém com dois conjuntos de fôrmas simultaneamente em obra, possibilitando que a desforma do pavimento inferior seja feita após a montagem das fôrmas do próximo pavimento. Já o ritmo 3 sugere que a mesma equipe de funcionários, consiga fazer a desmontagem e montagem das formas a cada 14 dias, para a concretagem com esse intervalo, possibilitando o aluguel de apenas um conjunto de fôrmas. E por fim, o ritmo 4 simula uma execução mais lenta, que não precisa de planejamento muito rígido, estimando que as concretagens ocorram a cada 14 dias e que esteja disponível em obra dois conjuntos de fôrmas para que a desmontagem e montagem dos pavimentos possa ocorrerem com mais tempo ou com imprevistos.

A tabela abaixo ilustra o tempo de permanência (aluguel) de cada conjunto de materiais necessários para a execução das lajes nervuradas, a partir da análise dos ritmos detalhados presentes no apêndice B.

Permanência dos conjuntos em obra (semanas)				
Conjuntos	Ritmo 1	Ritmo 2	Ritmo 3	Ritmo 4
Fôrmas 1	20	20	40	40
Fôrmas 2	-	20	-	40
Cimbramento 1	20	20	40	40
Cimbramento 2	-	20	-	40
Escoramento 100%	20	20	40	40
Escoramento 50%	20	20	40	40
Escoramento 25%	20	20	40	40

Tabela 16 – Permanência dos conjuntos em obra

Para a mão de obra, diferentemente do que se esperava ao iniciar a pesquisa, não há necessidade de treinamento específico para a execução dos pavimentos com lajes nervuradas. De acordo com um representante da empresa fornecedora das cubetas, têm sido muito satisfatórios os resultados de equipes habituadas a lidar com outros tipos de sistemas (lajes maciças na sua grande maioria). Pelas circunstâncias pontuadas, a mão de obra de execução dos edifícios foi calculada a partir do volume de concreto da edificação, incluindo montagem e desmontagem de formas, escoramento e reescoramento, bombeamento do concreto e demais tarefas necessárias para a execução.

A tabela de custos utilizados nos orçamentos foi:

Item	Valor Unitário	Unidade
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 12,00	m ² /mês
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 10,00	ml/mês

Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 8,00	m ² /mês
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 7,00	ml/mês
Escoramento e reescoramento de formas laje maciça	R\$ 7,00	m ²
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 15,00	m ²
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 0,20	unid./dia
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto

Tabela 17 – Custos de materiais e mão de obra

6 RESULTADOS

Os resultados de dimensionamento de cada modelo serão apresentados nesse capítulo, bem como os comparativos de custo global e de consumo de materiais. A tabela 18 apresenta um resumo dos modelos em relação aos vãos e lajes utilizados.

Modelo	Laje	
	Vão	Tipo
1	3x3	maciça
2	3x3	nervurada
3	5x5	maciça
4	5x5	nervurada
5	7,5x7,5	maciça
6	7,5x7,5	nervurada

Tabela 18 – Resumo de modelos

6.1 Modelos

6.1.1 Modelo 1

No dimensionamento do modelo 1, de vão entre pilares igual a 3x3 e lajes maciças, obteve-se as seguintes plantas de formas:

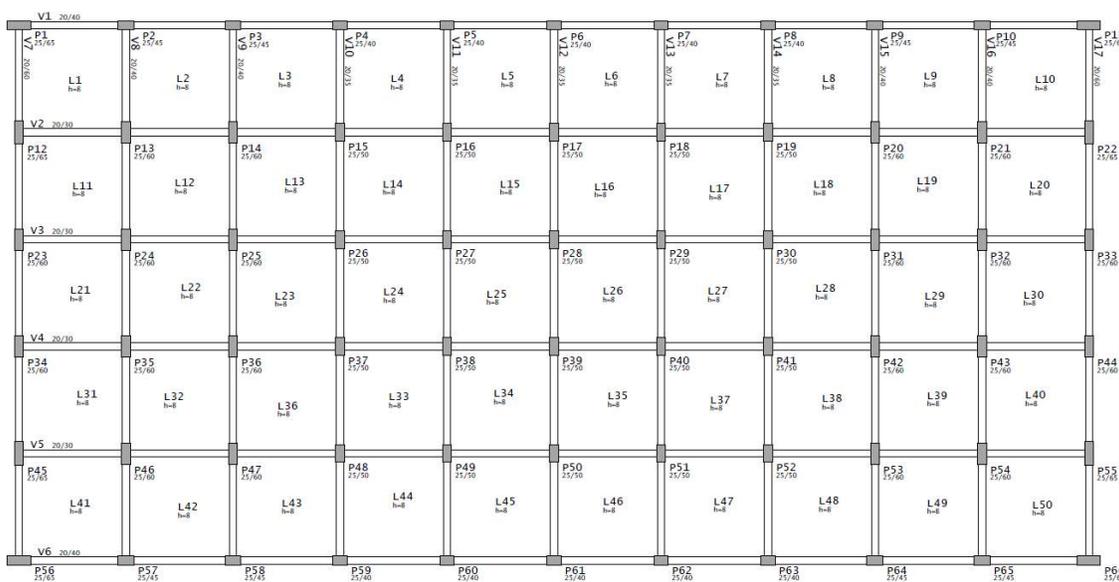


Figura 10 – Planta de formas pavimento Tipo 1

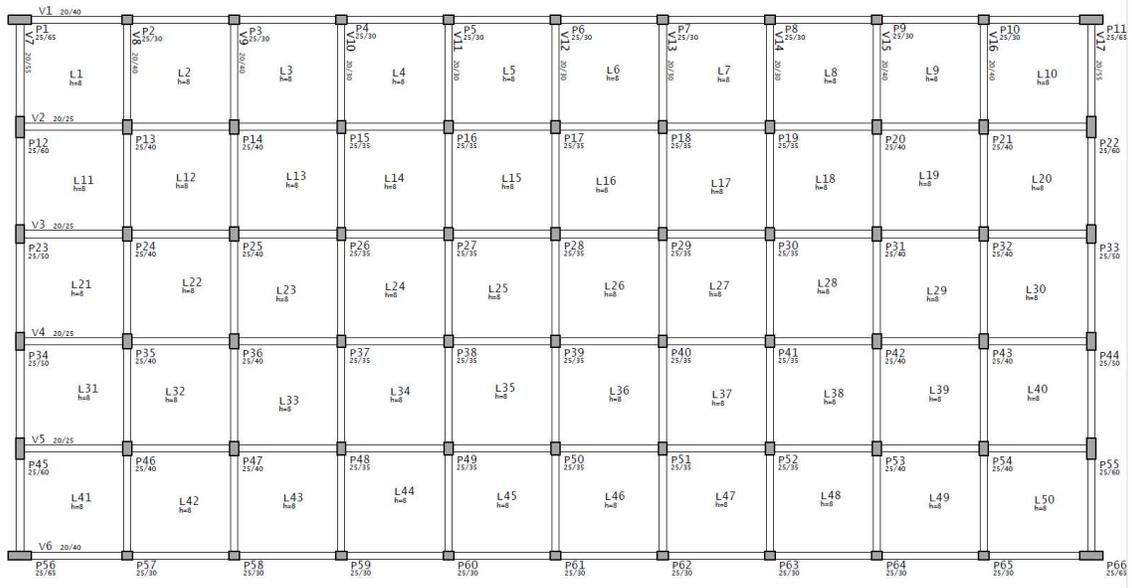


Figura 11 – Planta de formas pavimento Tipo 2

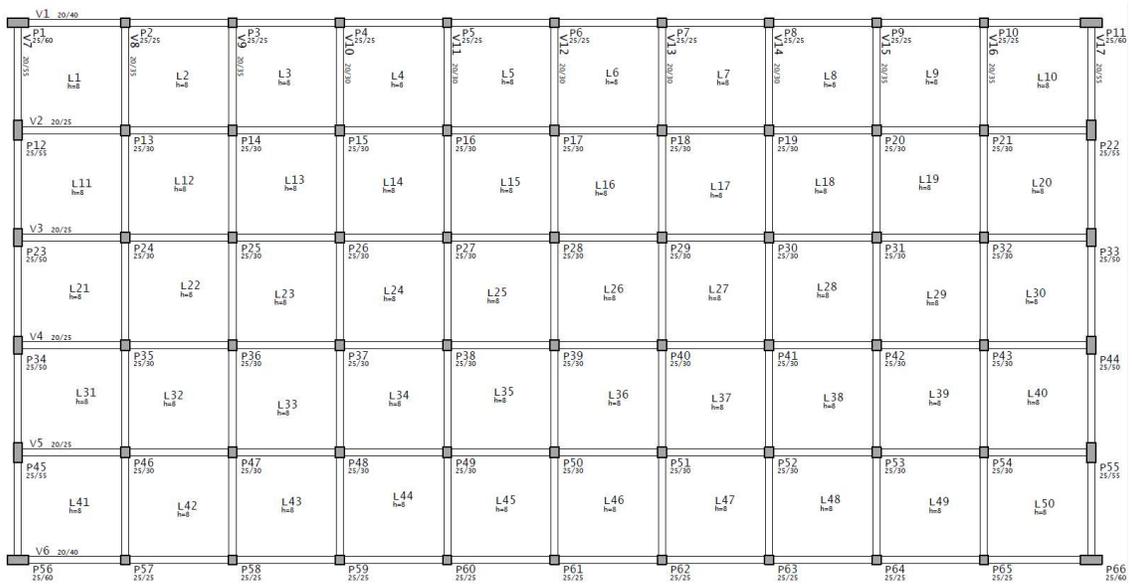


Figura 12 – Planta de formas pavimento Tipo 3

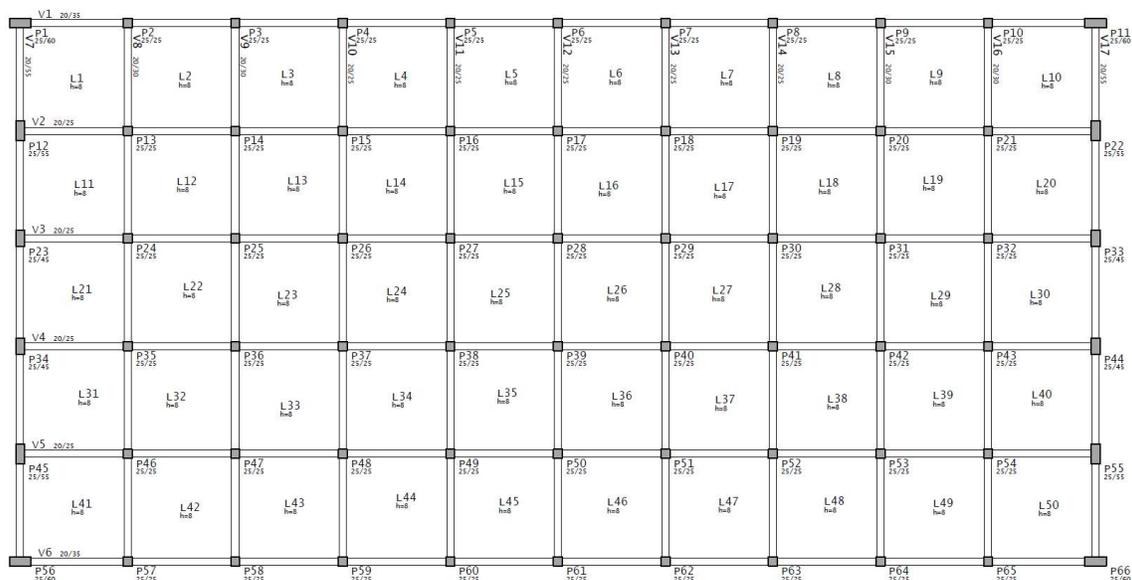


Figura 13 – Planta de formas pavimento Tipo 4

As dimensões finais dos elementos (lajes, vigas e pilares), bem como a separação dos grupos estão apresentados nas tabelas abaixo:

MODELO 1		Dimensões (cm)			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Lajes		8	8	8	8
Grupos de Vigas					
VEX	V1, V6	20x40	20x40	20x40	20x35
VIXC	V2, V5	20x30	20x25	20x25	20x25
VIX	V3, V4	20x30	20x25	20x25	20x25
VEY	V7, V17	20x60	20x35	20x55	20x55
VIYC	V8, V9, V15, V16	20x40	20x40	20x35	20x30
VIY	V10, V11, V12, V13, V14	20x35	20x30	20x30	20x25
Grupos de Pilares					
PC	P1, P11, P56, P66	65x25	65x25	60x25	35x25
PFXC	P2, P3, P9, P57, P58, P64, P64	30x25	30x25	25x25	25x25
PFX	P4, P5, P6, P7, P8, P59, P60, P61, P62, P63	40x25	30x25	25x25	25x25
PFYC	P12, P22, P45, P55	25x65	25x60	25x55	25x55
PFY	P23, P33, P34, P44	25x60	25x50	25x50	25x45
PIC	P13, P14, P20, P21, P24, P25, P31, P32, P35, P36, P42, P43, P46, P47, P53, P54	25x60	25x40	25x30	25x25
PI	P15, P16, P17, P18, P19, P26, P27, P28, P29, P30, P37, P38, P39, P40, P41, P48, P49, P50, P51, P52	25x50	25x35	25x30	25x25

Tabela 19 – Dimensões finais dos grupos de elementos

Sendo:

VEX – Vigas Externas no eixo X

VIXC – Vigas Internas no eixo X próximas aos Cantos

VIX – Vigas Internas no eixo X

VEY – Vigas Externas no eixo Y

VIYC – Vigas Internas no eixo Y próximas aos Cantos

VIY – Vigas Internas no eixo Y

PC – Pilares de Canto

PFXC – Pilares da Fachada do eixo X próximos aos Cantos

PFX – Pilares da Fachada do eixo X

PFYC – Pilares da Fachada do eixo Y próximos aos Cantos

PFY – Pilares da Fachada do eixo Y

PIC – Pilares Internos próximos aos Cantos

PI – Pilares Internos

Os quantitativos detalhados estão apresentados a seguir:

Grupo de Pavimentos	Concreto (m ³)			Fôrmas (m ²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	14,9	18,8	31,3	218,4	207,4	391,8
Tipo 4	59,7	75,3	125,4	873,6	829,4	1567,2
Tipo 3	82,1	102,4	156,7	1152	1118,5	1958,6
Tipo 2	96,8	103,6	156,6	1269	1129,8	1957,8
Tipo 1	130,5	110,1	156,5	1539	1192,1	1955,9
TOTAL	384	410,2	626,5	5052	4477,2	7831,2

Tabela 20 – Quantitativo de concreto e fôrmas

Grupo de Pavimentos	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	889,8	1370,8	2387,2
Tipo 4	3900,4	7381	9611,9
Tipo 3	5896,2	13477,2	1201,9
Tipo 2	12164,5	16765,3	12022,9
Tipo 1	19034,3	17763,3	12047,2
TOTAL	41885,3	56757,6	48088,2

Tabela 21 – Quantitativo de aço

Grupo de Pavimentos	Bitola (mm)							
	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0	25.0
Cobertura	702,6	2333,4	0	1474,6	137,3	0	0	0
Tipo 4	2671,6	9462,7	0	5429,8	2373,6	955,6	0	0
Tipo 3	2917,9	12520,7	0	4323,1	5035,5	4242,5	2352,6	0
Tipo 2	2228,8	13871,1	25,1	2159,8	8254,9	7554,1	5834,1	1024,9
Tipo 1	2064,7	15197,4	0	1750,1	8949,8	12084,2	8798,5	0
TOTAL	10585,6	53385,3	25,1	15137,5	24751,1	24836,4	16985,1	1024,9

Tabela 22 – Quantitativo de aço por bitola

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	65.1	0.14	817.6	1.8	4647.9	10.1	71.4
Tipo 4	260.4	0.14	3270.3	1.8	20893.3	11.4	80.2
Tipo 3	341.2	0.15	4229.0	1.8	31392.3	13.7	92.0
Tipo 2	357.0	0.16	4356.6	1.9	40952.8	17.8	114.7
Tipo 1	397.1	0.17	4687.0	2.0	48844.8	21.3	123.0
TOTAL	1420.7	0.15	17360.4	1.9	146731.0	16.0	103.3

Tabela 23 – Taxas de consumo

Os quantitativos para os grupos de pavimentos Tipo 1 a Tipo 4 refletem o valor total dos 5 pavimentos que compõem cada grupo.

O orçamento referente ao modelo está detalhado no apêndice C.

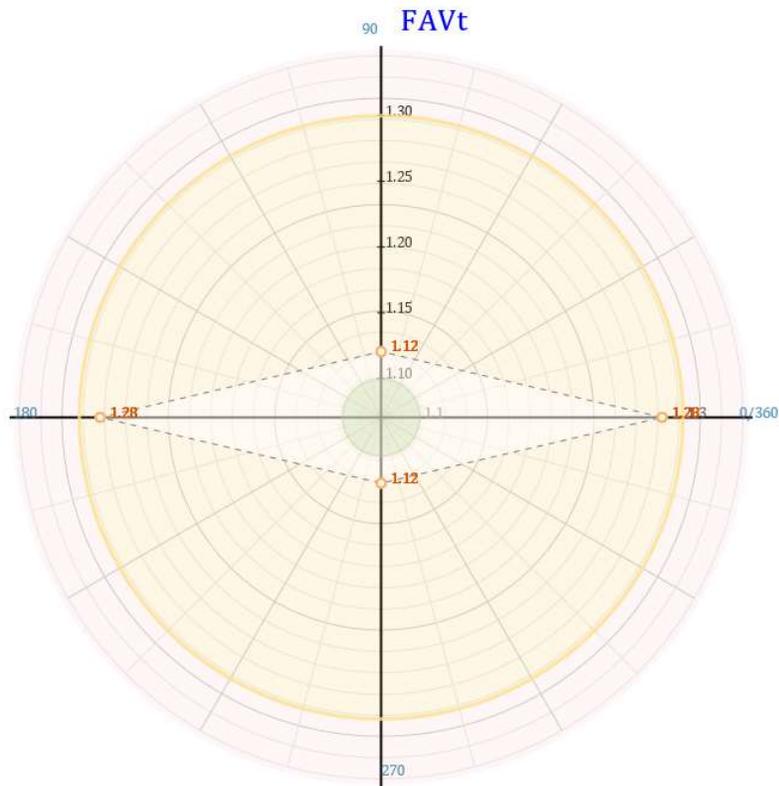


Figura 14 – Coeficiente de estabilidade global

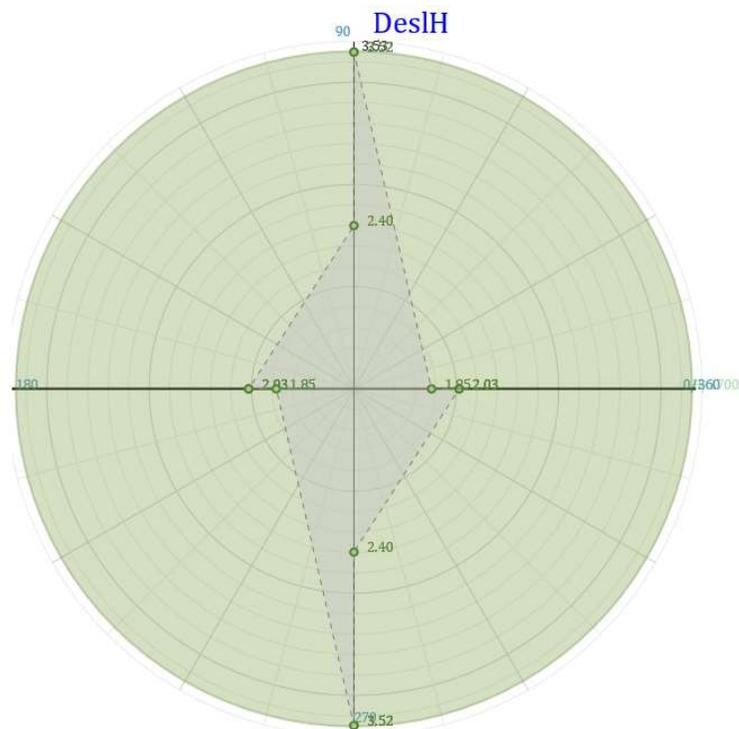


Figura 15 - Deslocamentos horizontais

6.1.2 Modelo 2

No dimensionamento do modelo 2, de vão entre pilares igual a 3x3m e nervuradas, obteve-se as seguintes plantas de formas.

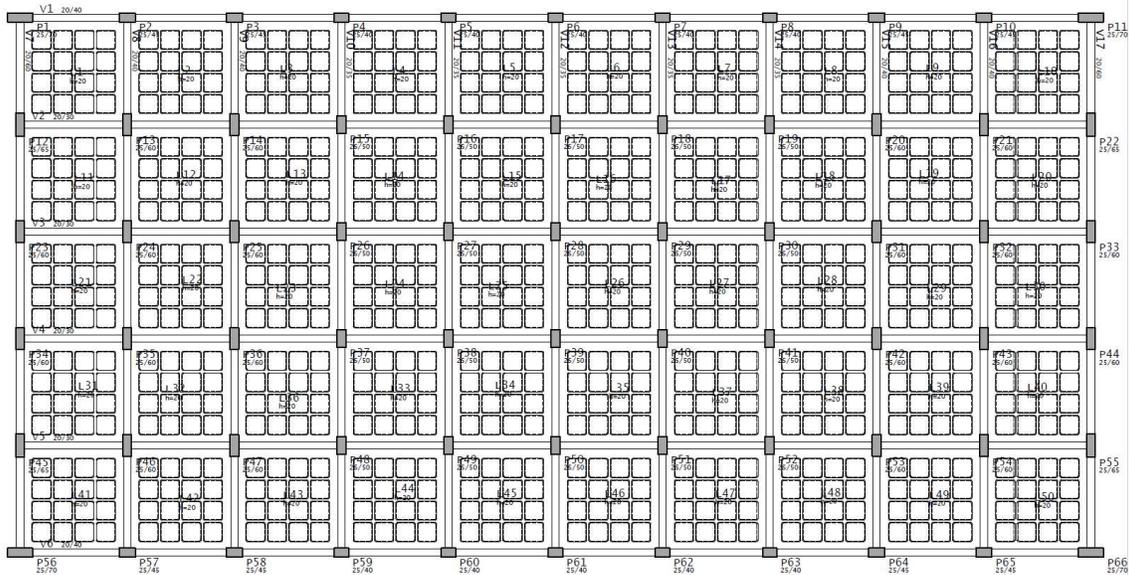


Figura 16 – Planta de formas pavimento Tipo 1

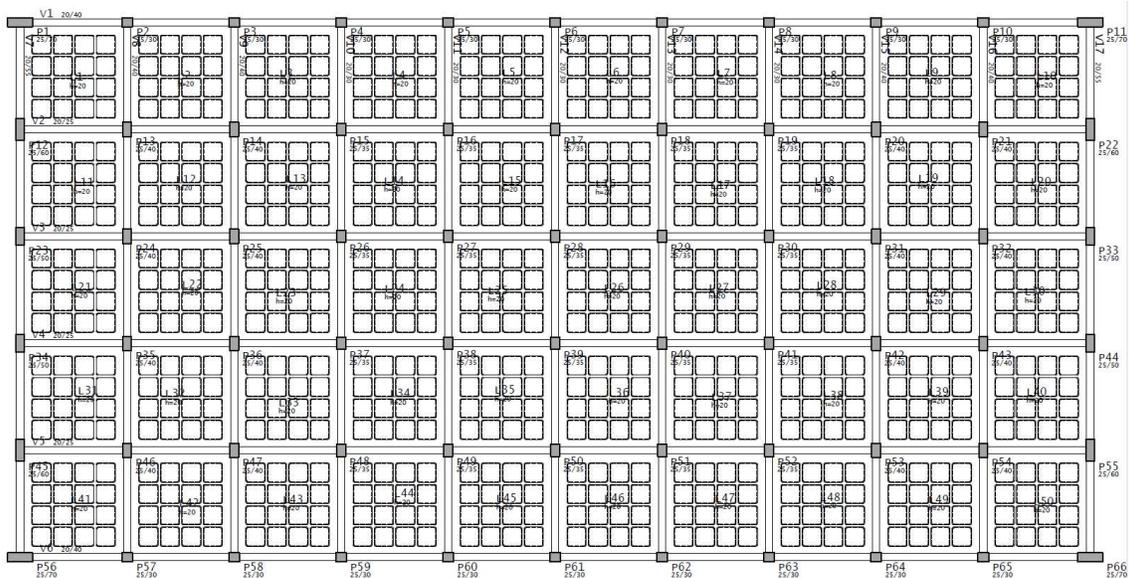


Figura 17 – Planta de formas pavimento Tipo 2

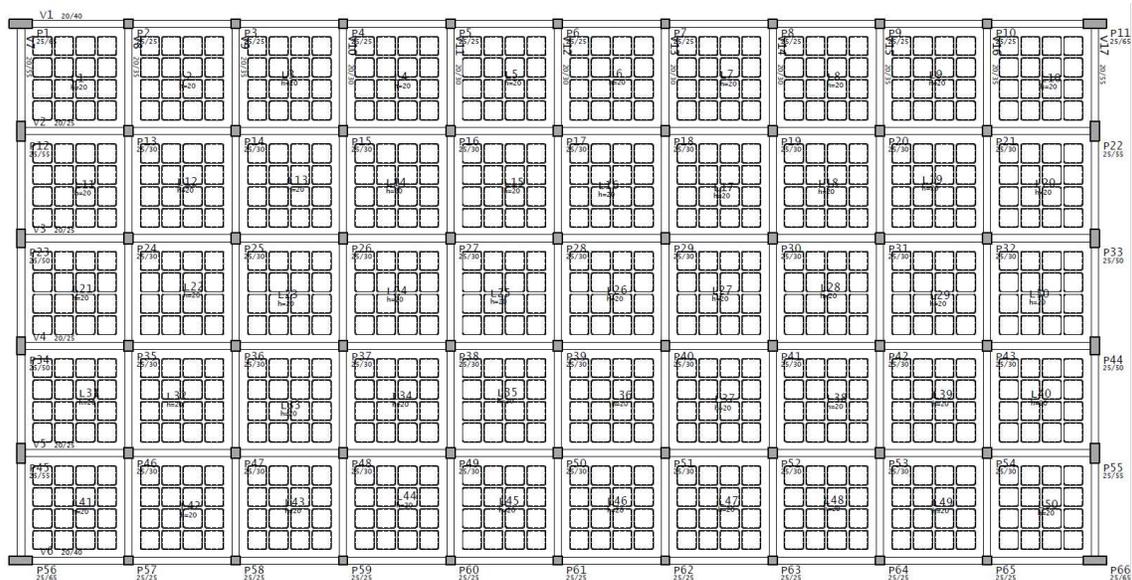


Figura 18 – Planta de formas pavimento Tipo 3

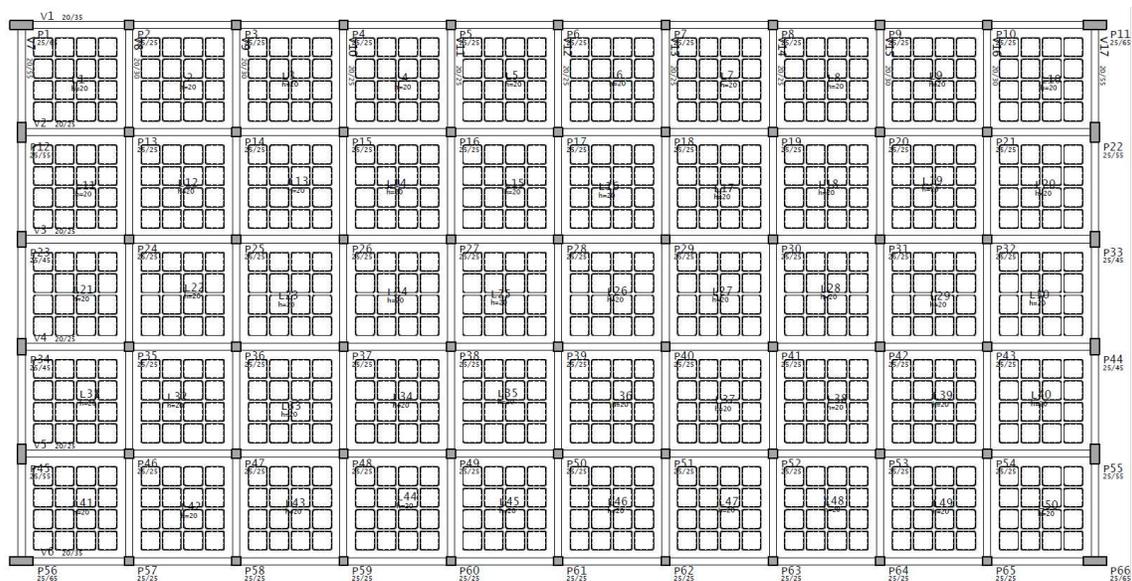


Figura 19 – Planta de formas pavimento Tipo 4

As dimensões finais dos elementos (lajes, vigas e pilares) estão apresentadas nas tabelas abaixo:

MODELO 2		Dimensões (cm)			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Lajes		20	20	20	20
Grupos de Vigas					
VEX	V1, V6	20x40	20x40	20x40	20x35
VIXC	V2, V5	20x30	20x25	20x25	20x25

Lajes maciças e nervuradas: impacto sobre os custos da estrutura de um edifício considerando diferentes ritmos de execução

VIX	V3,V4	20x30	20x25	20x25	20x25
VEY	V7, V17	20x60	20x55	20x55	20x55
VIYC	V8, V9, V15, V16	20x40	20x40	20x35	20x30
VIY	V10, V11, V12, V13, V14	20x35	20x30	20x30	20x25
Grupos de Pilares					
PC	P1, P11, P56, P66	70x25	70x25	65x25	65x25
PFXC	P2, P3, P9, P57, P58, P64, P64	45x25	30x25	25x25	25x25
PFX	P4, P5, P6, P7, P8, P59, P60, P61, P62, P63	40x25	30x25	25x25	25x25
PFYC	P12, P22, P45, P55	25x65	25x60	25x55	25x55
PFY	P23, P33, P34, P44	25x60	25x50	25x50	25x45
PIC	P13, P14, P20, P21, P24, P25, P31, P32, P35, P36, P42, P43, P46, P47, P53, P54	25x60	25x40	25x30	25x25
PI	P15, P16, P17, P18, P19, P26, P27, P28, P29, P30, P37, P38, P39, P40, P41, P48, P49, P50, P51, P52	25x50	25x35	25x30	25x25

Tabela 24 – Dimensões finais dos grupos de elementos

Sendo:

VEX – Vigas Externas no eixo X

VIXC – Vigas Internas no eixo X próximas aos Cantos

VIX – Vigas Internas no eixo X

VEY – Vigas Externas no eixo Y

VIYC – Vigas Internas no eixo Y próximas aos Cantos

VIY – Vigas Internas no eixo Y

PC – Pilares de Canto

PFXC – Pilares da Fachada do eixo X próximos aos Cantos

PFX – Pilares da Fachada do eixo X

PFYC – Pilares da Fachada do eixo Y próximos aos Cantos

PFY – Pilares da Fachada do eixo Y

PIC – Pilares Internos próximos aos Cantos

PI – Pilares Internos

Os quantitativos estão apresentados a seguir:

Grupo de Pavimentos	Concreto (m ³)			Fôrmas (m ²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Cubetas*
Cobertura	15,1	18,8	45,6	219,6	141,6	800
Tipo 4	60,3	75,3	182,2	878,4	566,5	2400

Tipo 3	82,9	102,3	227,7	1158	792	3200
Tipo 2	97,5	103,6	227,6	1275	807,1	3200
Tipo 1	131,2	110,1	227,2	1545	878,6	3200
TOTAL	387	410,1	910,2	5076	3185,8	12800

Tabela 25 – Quantitativo de concreto e fôrmas (*quantidade em unidades)

Grupo de Pavimentos	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	891,8	1270	1732
Tipo 4	3832,1	6899,1	6997,5
Tipo 3	6495,5	12401,3	8759,6
Tipo 2	15594,1	15332,3	8769,2
Tipo 1	24039,8	16961,3	8926,9
TOTAL	50853,2	52863,9	35185,2

Tabela 26 – Quantitativo de aço

Grupo de Pavimentos	Bitola (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	707,3	470	811,3	1767,8	137,3	0	0	0
Tipo 4	2762,3	1910,8	3267,2	7269,7	1857	661,5	0	0
Tipo 3	2859,3	3281,8	3564,4	6595,1	5970,5	4271,1	1114,1	0
Tipo 2	2327,1	4305,8	3595,1	4962,8	7185,4	8169,9	8409,6	739,8
Tipo 1	2152,9	5835	3646,1	4849,8	6664,3	11218,4	14374,7	1186,7
TOTAL	10808,9	15803,4	14884,1	25445,3	21814,6	24320,9	23898,4	1926,5

Tabela 27 – Quantitativo de aço por bitola

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m³)	Taxa (m³/m²)	Consumo (m²)	Taxa (m²/m²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m²)	Taxa (kg/m³)
Cobertura	79,5	0,17	361,2	0,8	3893,8	8,5	49
Tipo 4	317,8	0,17	1444,9	0,8	17728,6	9,6	55,8
Tipo 3	412,9	0,18	1950	0,8	27656,4	12	67
Tipo 2	428,6	0,19	2082,2	0,9	39695,5	17,3	92,6
Tipo 1	468,5	0,2	2423,6	1,1	49927,9	21,7	106,6
TOTAL	1707,3	0,19	8261,8	0,9	138902,2	15,1	81,4

Tabela 28 – Taxas de consumo

Os quantitativos para os grupos de pavimentos Tipo 1 a Tipo 4 refletem o valor total dos 5 pavimentos que compõem cada grupo.

O orçamento referente ao modelo está detalhado no apêndice C.

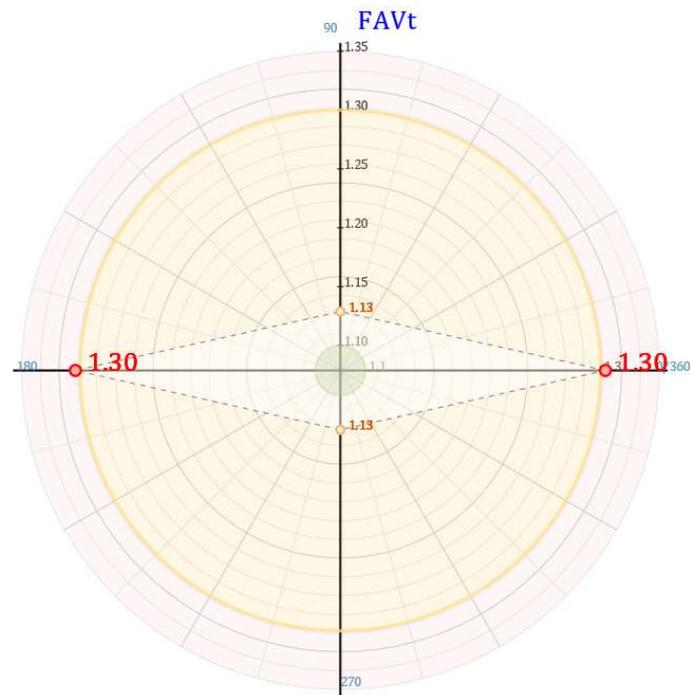


Figura 20 – Coeficiente de estabilidade global

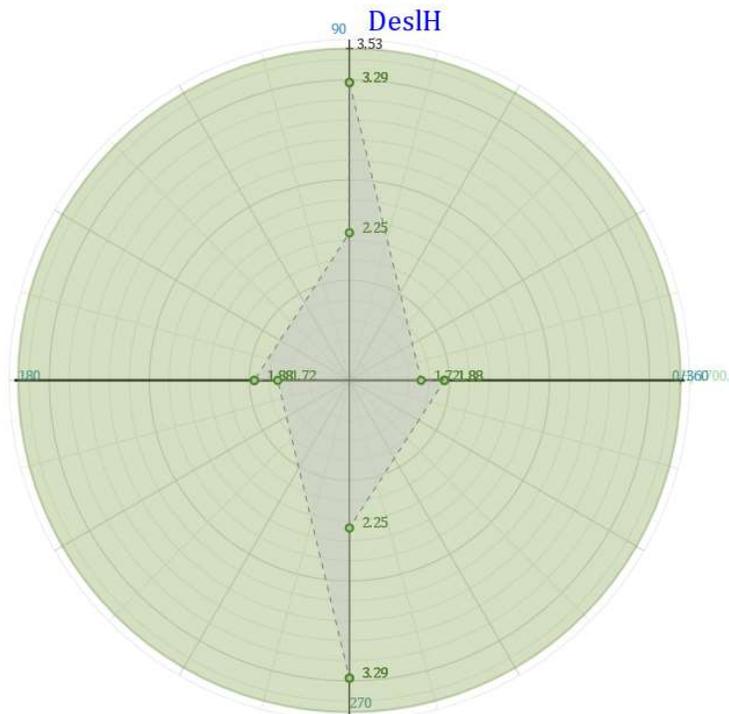


Figura 21 - Deslocamentos horizontais

6.1.3 Modelo 3

No dimensionamento do modelo 3, de vão entre pilares igual a 5x5m e lajes, obteve-se as seguintes plantas de formas.

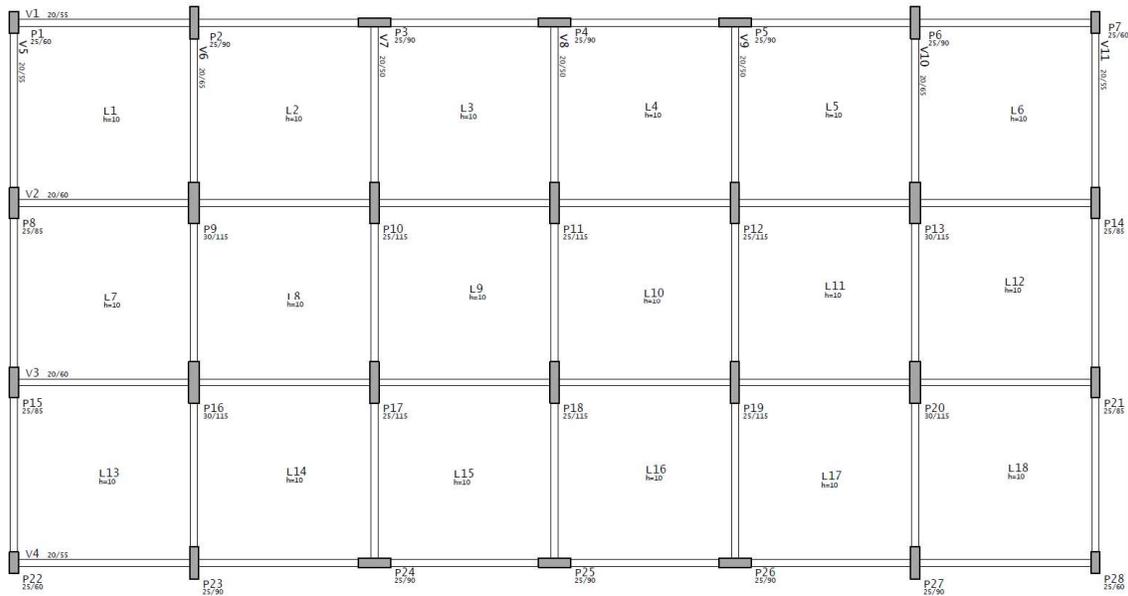


Figura 22 – Planta de formas pavimento Tipo 1

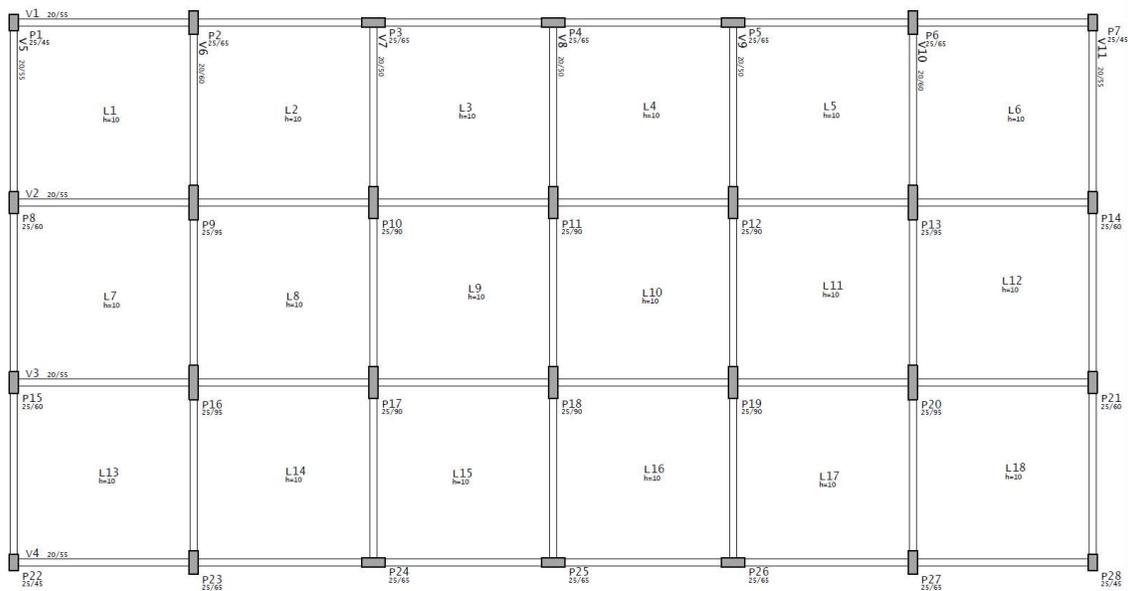


Figura 23 – Planta de formas pavimento Tipo 2

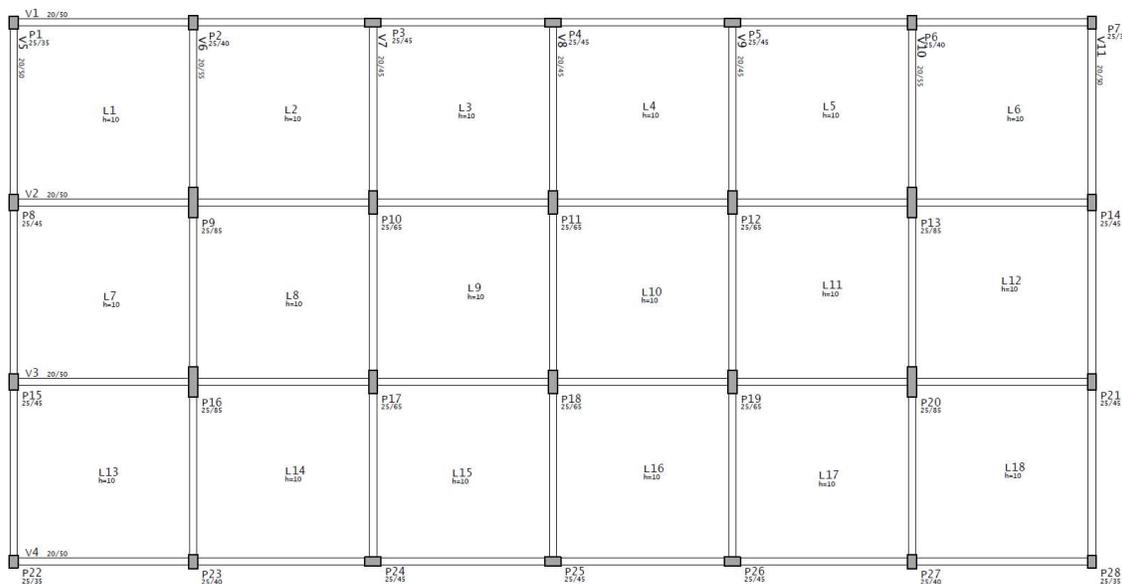


Figura 24 – Planta de formas pavimento Tipo 3

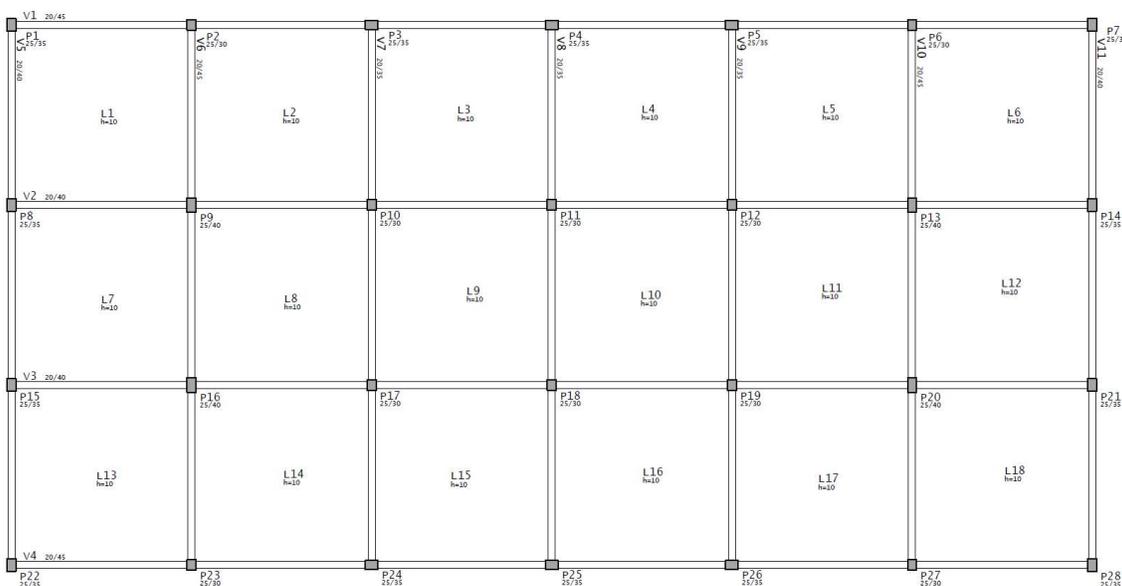


Figura 25 – Planta de formas pavimento Tipo 4

As dimensões finais dos elementos (lajes, vigas e pilares) estão apresentadas nas tabelas abaixo:

MODELO 3	Dimensões (cm)			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Lajes	10	10	10	10
Grupos de Vigas				

VEX	V1, V4	20x55	20x55	20x50	20x45
VIX	V2, V3	20x60	20x55	20x50	20x40
VEY	V5, V11	20x55	20x55	20x50	20x40
VIYC	V6, V10	20x65	20x60	20x55	20x45
VIY	V7, V8, V9	20x50	20x50	20x45	20x35
Grupos de Pilares					
PC	P1, P7, P22, P28	25x60	25x45	25x35	25x35
PFXC	P2, P6, P23, P27	25x90	25x65	25x40	25x30
PFX	P3, P4, P5, P24, P25, P26	90x25	65x25	45x25	35x25
PFY	P8, P14, P15, P21	25x85	25x60	25x45	25x35
PIC	P9, P13, P16, P20	30x115	25x95	25x85	25x40
PI	P10, P11, P12, P17, P18, P19	25x115	25x90	25x65	25x30

Tabela 29 – Dimensões finais dos elementos

Sendo:

VEX – Vigas Externas no eixo X

VIX – Vigas Internas no eixo X

VEY – Vigas Externas no eixo Y

VIYC – Vigas Internas no eixo Y próximas aos Cantos

VIY – Vigas Internas no eixo Y

PC – Pilares de Canto

PFXC – Pilares da Fachada do eixo X próximos aos Cantos

PFX – Pilares da Fachada do eixo X

PFY – Pilares da Fachada do eixo Y

PIC – Pilares Internos próximos aos Cantos

PI – Pilares Internos

Os quantitativos estão apresentados a seguir:

Grupo de Pavimentos	Concreto (m ³)			Fôrmas (m ²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	7	17,4	41,5	97,8	182	414,6
Tipo 4	28,5	69,3	165,8	396	727,4	1658,4
Tipo 3	55,5	102,5	207,2	654	1066,6	2071,8
Tipo 2	74,6	110,4	207,1	807	1145	2071
Tipo 1	102,1	111,2	206,9	1005	1152	2069
TOTAL	267,7	410,7	828,5	2959,8	4272,9	8284,8

Tabela 30 – Quantitativo de concreto e fôrmas

Grupo de Pavimentos	Aço (kg)
---------------------	----------

	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	462,6	1265,5	3031,6
Tipo 4	2837,5	9518,4	13123,5
Tipo 3	5851,3	14697,4	16755,7
Tipo 2	14339,2	18171,7	16654
Tipo 1	23551,4	20045	16612,8
TOTAL	47042	63698	66177,7

Tabela 31 – Quantitativo de aço

Grupo de Pavimentos	Bitola (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	379,8	2601,8	415,6	642,3	481,5	142,7	96,2	0
Tipo 4	1352,7	9279,3	2271,9	3473,5	3014	1957	3761,1	369,9
Tipo 3	1605,5	12572,2	3560,3	3408,4	3658,9	4725,8	7588,4	184,9
Tipo 2	1475,1	12826,5	4896	2199	3092	4091,2	13988,9	6596,3
Tipo 1	1541,8	13084,6	6047,1	2203,3	3252,1	6569,2	14172	13339,4
TOTAL	6354,9	50364,3	17190,9	11926,4	13498,3	17485,8	39606,5	20490,6

Tabela 32 – Quantitativo de aço por bitola

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m³)	Taxa (m³/m²)	Consumo (m²)	Taxa (m²/m²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m²)	Taxa (kg/m³)
Cobertura	65,8	0,14	694,4	1,5	4759,7	10,4	72,4
Tipo 4	263,7	0,14	2781,8	1,5	25479,3	13,9	96,6
Tipo 3	365,1	0,16	3792,4	1,7	37304,4	16,2	102,2
Tipo 2	392,1	0,17	4022,9	1,8	49164,9	21,4	125,4
Tipo 1	420,2	0,18	4225,9	1,8	60209,3	26,2	143,3
TOTAL	1506,9	0,16	15517,5	1,7	176918	19,3	117,4

Tabela 33 – Taxas de consumo

Os quantitativos para os grupos de pavimentos Tipo 1 a Tipo 4 refletem o valor total dos 5 pavimentos que compõem cada grupo.

O orçamento referente ao modelo está detalhado no apêndice C.

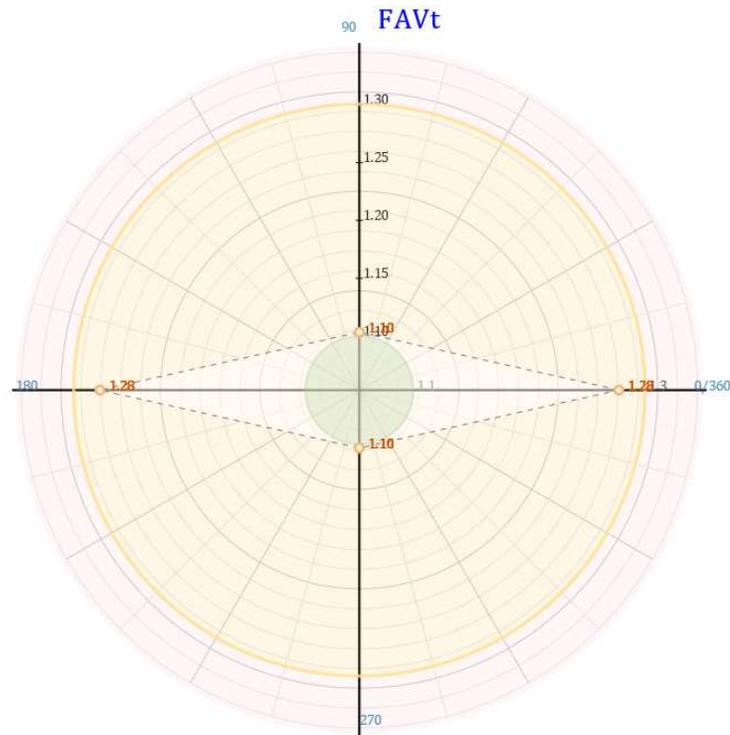


Figura 26 – Coeficiente de estabilidade global

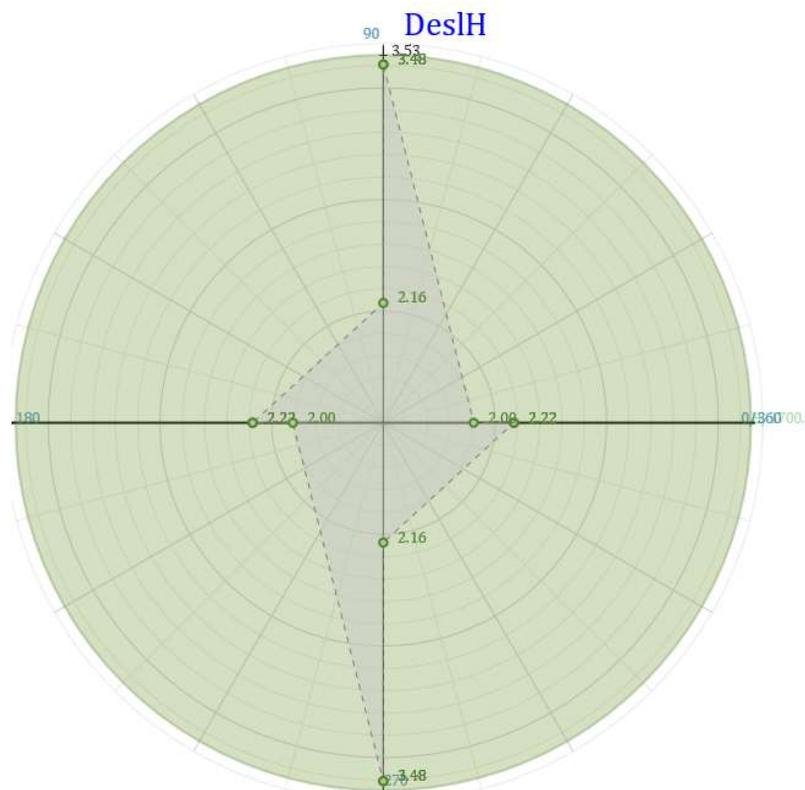


Figura 27 - Deslocamentos horizontais

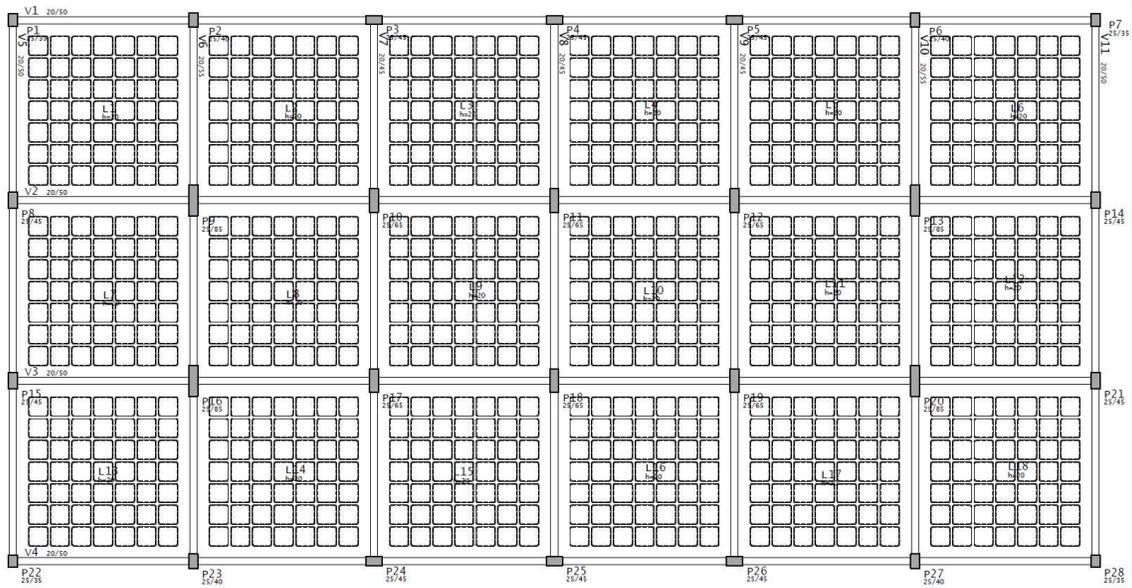


Figura 30 – Planta de formas pavimento Tipo 3

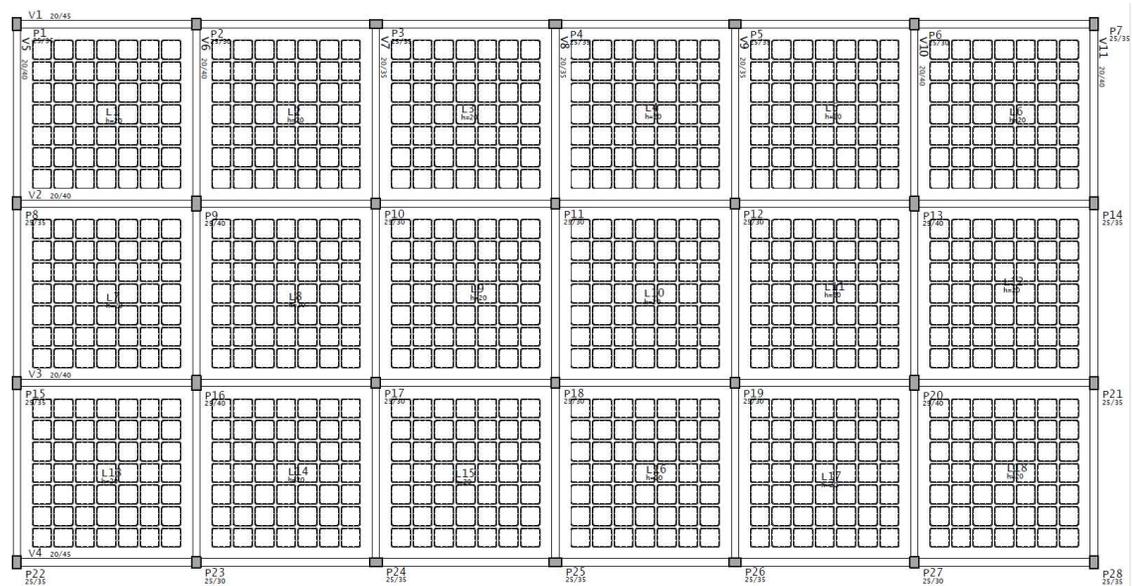


Figura 31 – Planta de formas pavimento Tipo 4

As dimensões finais dos elementos (lajes, vigas e pilares) estão apresentadas nas tabelas abaixo:

MODELO 4		Dimensões (cm)			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Lajes		20	20	20	20
Grupos de Vigas					
VEX	V1, V4	20x60	20x55	20x50	20x45
VIX	V2, V3	20x60	20x55	20x50	20x40
VEY	V5, V11	20x55	20x55	20x50	20x40
VIYC	V6, V10	20x65	20x60	20x55	20x40
VIY	V7, V8, V9	20x50	20x50	20x45	20x35
Grupos de Pilares					
PC	P1, P7, P22, P28	25x60	25x45	25x35	25x35
PFXC	P2, P6, P23, P27	25x90	25x65	25x40	25x30
PFX	P3, P4, P5, P24, P25, P26	90x25	65x25	45x25	35x25
PFY	P8, P14, P15, P21	25x85	25x60	25x45	25x35
PIC	P9, P13, P16, P20	30x115	25x95	25x85	25x40
PI	P10, P11, P12, P17, P18, P19	25x115	25x90	25x65	25x30

Tabela 34 – Dimensões finais dos elementos

Sendo:

VEX – Vigas Externas no eixo X

VIX – Vigas Internas no eixo X

VEY – Vigas Externas no eixo Y

VIYC – Vigas Internas no eixo Y próximas aos Cantos

VIY – Vigas Internas no eixo Y

PC – Pilares de Canto

PFXC – Pilares da Fachada do eixo X próximos aos Cantos

PFX – Pilares da Fachada do eixo X

PFY – Pilares da Fachada do eixo Y

PIC – Pilares Internos próximos aos Cantos

PI – Pilares Internos

Os quantitativos estão apresentados a seguir:

Grupo de Pavimentos	Concreto (m ³)			Fôrmas (m ²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Cubetas*
Cobertura	7	17,1	46,8	97,8	145,3	882
Tipo 4	28,5	68,2	187	396	580,7	2646
Tipo 3	55,5	102,5	233,6	654	901,8	3528
Tipo 2	74,6	110,4	233,4	807	983,5	3528
Tipo 1	102,1	113,9	233	1005	1021,5	3528
TOTAL	267,7	412	933,7	2959,8	3633	14112

Tabela 35 – Quantitativo de concreto e fôrma (*quantidade em unidades)

Grupo de Pavimentos	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	458,7	1096,2	1820,9
Tipo 4	2881,5	9037,3	7848,9
Tipo 3	6030,6	14063,7	9073,6
Tipo 2	15238,8	16461,6	8924,5
Tipo 1	25997,2	18710	8938,9
TOTAL	50606,8	59368,8	36606,8

Tabela 36 – Quantitativo de aço

Grupo de Pavimentos	Bitola (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	426,6	831,8	384,8	820,5	823,4	88,7	0	0
Tipo 4	1461,9	2767,7	1425,4	3429,5	3990	2967,5	3725,7	0
Tipo 3	1920,6	4619,3	2295,3	1679	6246,6	5001,1	7405,9	0
Tipo 2	1714,6	4762,9	3129,4	1178,4	5177,9	7932,9	11828,7	4900,1
Tipo 1	1743,6	4973,3	4419,7	1478,1	6862,3	4051,9	17194	12923,3
TOTAL	7267,3	17955	11654,6	8585,5	23100,2	20042,1	40154,3	17823,4

Tabela 37 – Quantitativo de aço por bitola

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	70,8	0,15	243,1	0,5	3375,8	7,4	47,7
Tipo 4	283,8	0,15	976,7	0,5	19767,8	10,8	69,7
Tipo 3	391,5	0,17	1555,8	0,7	29167,8	12,7	74,5
Tipo 2	418,4	0,18	1790,5	0,8	40624,9	17,7	97,1
Tipo 1	448,9	0,2	2026,5	0,9	53646,2	23,3	119,5
TOTAL	1613,4	0,18	6592,8	0,7	146582,4	16	90,9

Tabela 38 – Taxas de consumo

Os quantitativos para os grupos de pavimentos Tipo 1 a Tipo 4 refletem o valor total dos 5 pavimentos que compõem cada grupo.

O orçamento referente ao modelo está detalhado no apêndice C.

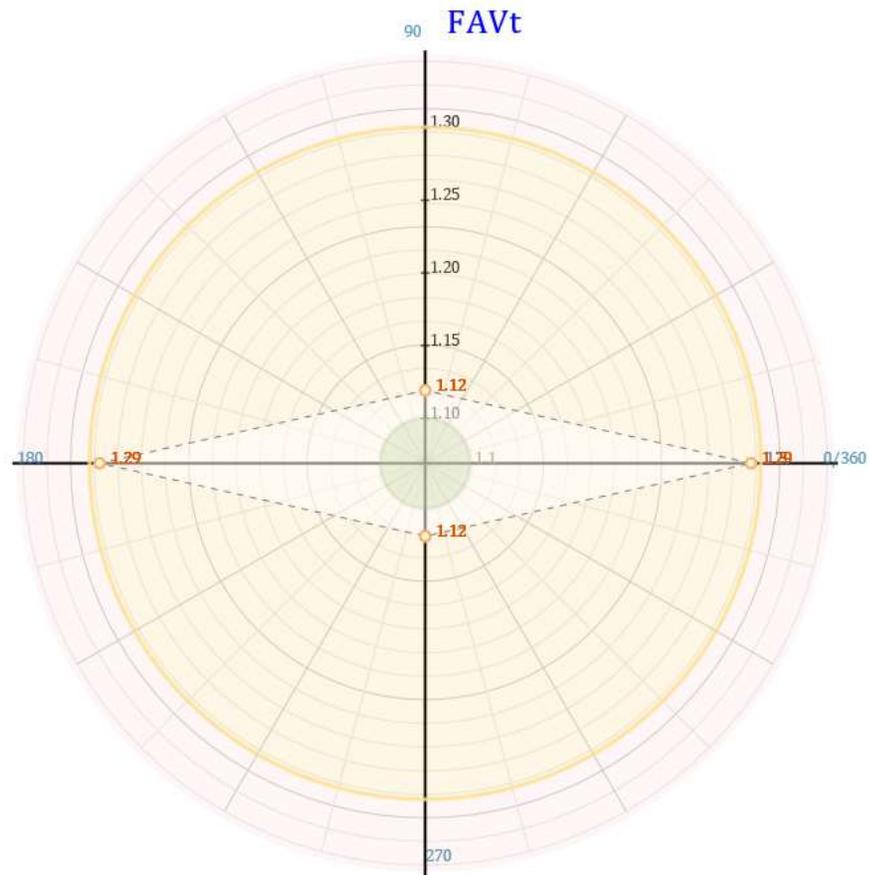


Figura 32 – Coeficiente de estabilidade global

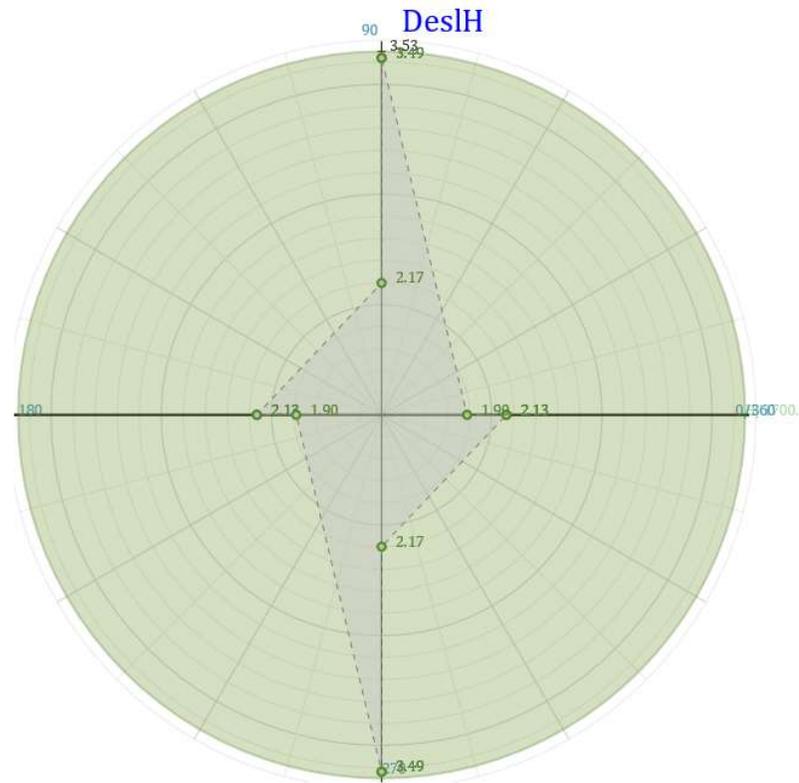
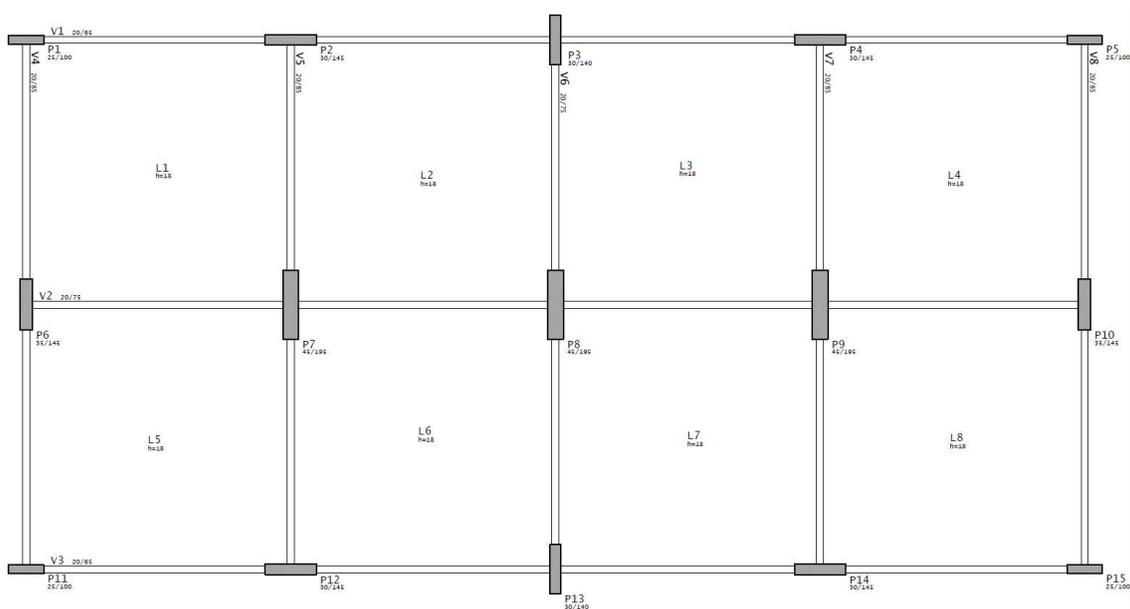


Figura 33 - Deslocamentos horizontais

6.1.5 Modelo 5

No dimensionamento do modelo 5, de vão entre pilares igual a 7,5x7,5m e lajes maciças, obteve-se as seguintes plantas de formas.



Lajes maciças e nervuradas: impacto sobre os custos da estrutura de um edifício considerando diferentes ritmos de execução

Figura 34 – Planta de formas pavimento Tipo 1

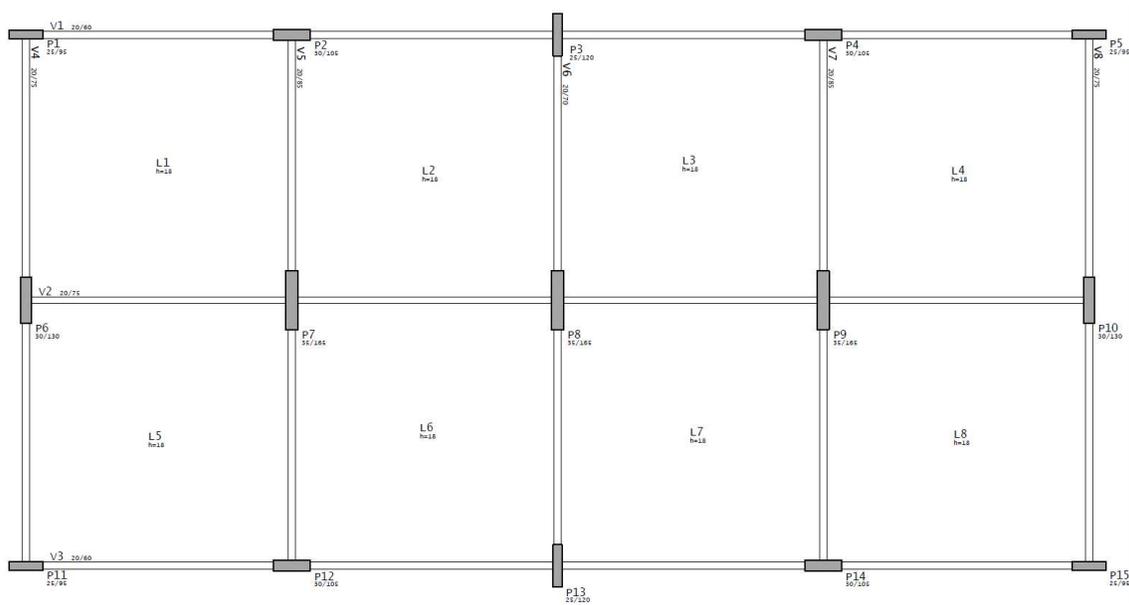


Figura 35 – Planta de formas pavimento Tipo 2

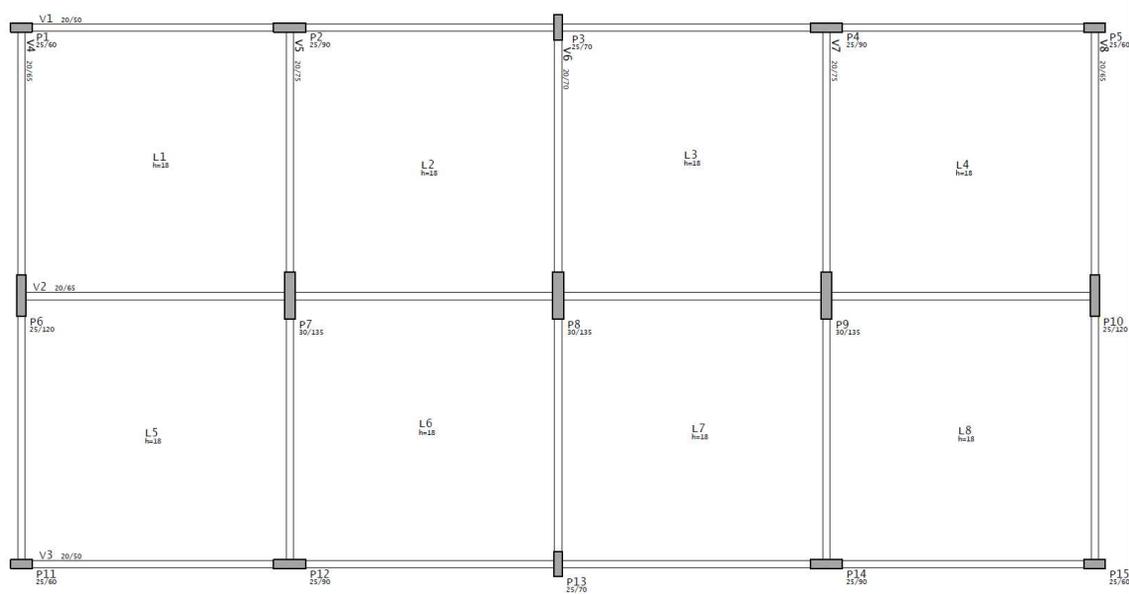


Figura 36 – Planta de formas pavimento Tipo 3

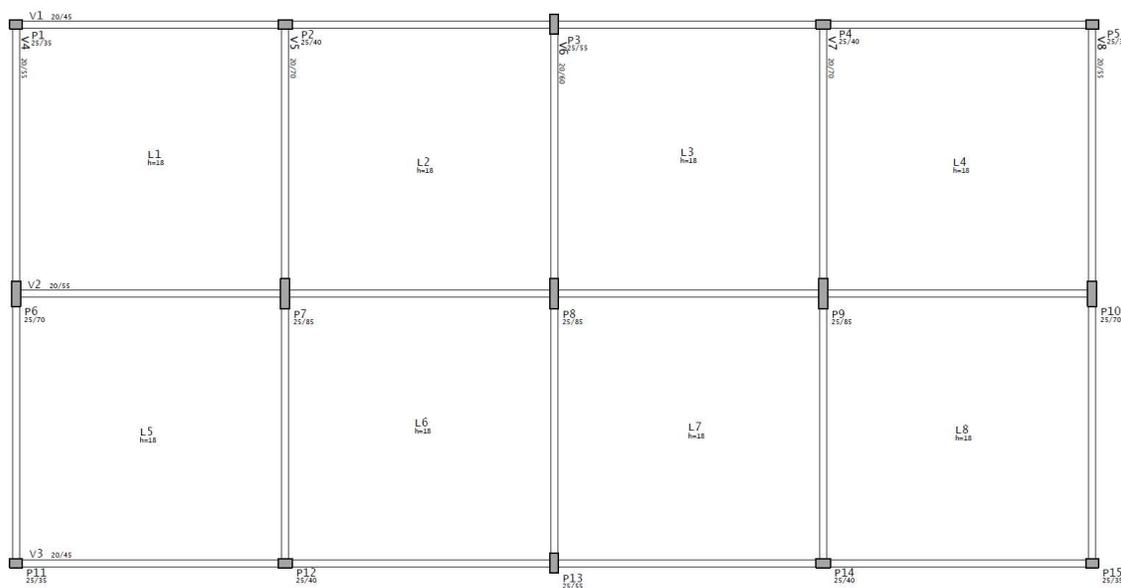


Figura 37 – Planta de formas pavimento Tipo 4

As dimensões finais dos elementos (lajes, vigas e pilares) estão apresentadas nas tabelas abaixo:

MODELO 5		Dimensões (cm)			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Lajes		18	18	18	18
Grupos de Vigas					
VEX	V1, V3	20x65	20x60	20x50	20x45
VIX	V2	20x75	20x75	20x65	20x55
VEY	V4, V8	20x85	20x75	20x65	20x55
VIYC	V5, V7	20x85	20x85	20x75	20x70
VIY	V6	20x75	20x70	20x70	20x60
Grupos de Pilares					
PC	P1, P5, P11, P15	100x25	95x25	60x25	35x25
PFXC	P2, P4, P12, P14	145x30	105x30	90x25	40x25
PFX	P3, P13	30x140	25x120	25x70	25x55
PFY	P6, P10	35x145	30x130	25x120	25x70
PI	P7, P8, P9	45x195	35x165	30x135	25x85

Tabela 39 – Dimensões finais dos elementos

Sendo:

VEX – Vigas Externas no eixo X

VIX – Vigas Internas no eixo X

VEY – Vigas Externas no eixo Y

VIYC – Vigas Internas no eixo Y próximas aos Cantos

VIY – Vigas Internas no eixo Y

PC – Pilares de Canto

PFXC – Pilares da Fachada do eixo X próximos aos Cantos

PFX – Pilares da Fachada do eixo X

PFY – Pilares da Fachada do eixo Y

PI – Pilares Internos

Os quantitativos estão apresentados a seguir:

Grupo de Pavimentos	Concreto (m ³)			Fôrmas (m ²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	6	16,9	76,7	70,8	160	426,2
Tipo 4	24,1	67,8	306,8	283,2	639,9	1704,6
Tipo 3	55	92,9	383,2	532,5	882,1	2129,1
Tipo 2	79,8	104,4	382,8	669	998,4	2126,5
Tipo 1	108,4	107,8	382	786	1033,3	2122,1
TOTAL	273,4	389,7	1531,5	2341,5	3713,8	8508,4

Tabela 40 – Quantitativo de aço e fôrmas

Grupo de Pavimentos	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	516	2431,2	4408,4
Tipo 4	3536,3	13879,5	18254,6
Tipo 3	7992,8	22080,9	23021,5
Tipo 2	14025,3	24333,4	23125,5
Tipo 1	22174,8	26200,4	23725,6
TOTAL	48245,2	88925,4	92535,6

Tabela 41 – Quantitativo de aço

Grupo de Pavimentos	Bitola (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	293,6	2160,5	250,6	2458,2	354,4	992	386,7	459,7
Tipo 4	971	4250,2	6232,5	9913,7	1232,4	2899,6	4403,7	5767,3
Tipo 3	1091	6502,8	9280,1	11208,9	3162,9	1898,7	8313,7	11637,1
Tipo 2	1133,1	7126,5	9441,4	11314,4	3064,6	4628,1	6404,1	18372,1
Tipo 1	1153,1	7311,1	11514,7	11212,6	2778,2	4961,7	11176,1	21993,2
TOTAL	4641,7	27351,1	36719,2	46107,7	10592,5	15380,2	30684,2	58229,3

Tabela 42 – Quantitativo de aço por bitola

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	99,7	0,22	656,9	1,4	7355,6	16	73,8
Tipo 4	398,8	0,22	2627,7	1,4	35670,4	19,4	89,5
Tipo 3	531,1	0,23	3543,7	1,5	53095,2	23,1	100
Tipo 2	567	0,25	3793,9	1,6	61484,2	26,7	108,4

Tipo 1	598,1	0,26	3941,4	1,7	72100,7	31,3	120,5
TOTAL	2194,6	0,24	14563,6	1,6	229706	25	104,7

Tabela 43 – Taxas de consumo

Os quantitativos para os grupos de pavimentos Tipo 1 a Tipo 4 refletem o valor total dos 5 pavimentos que compõem cada grupo.

O orçamento referente ao modelo está detalhado no apêndice C.

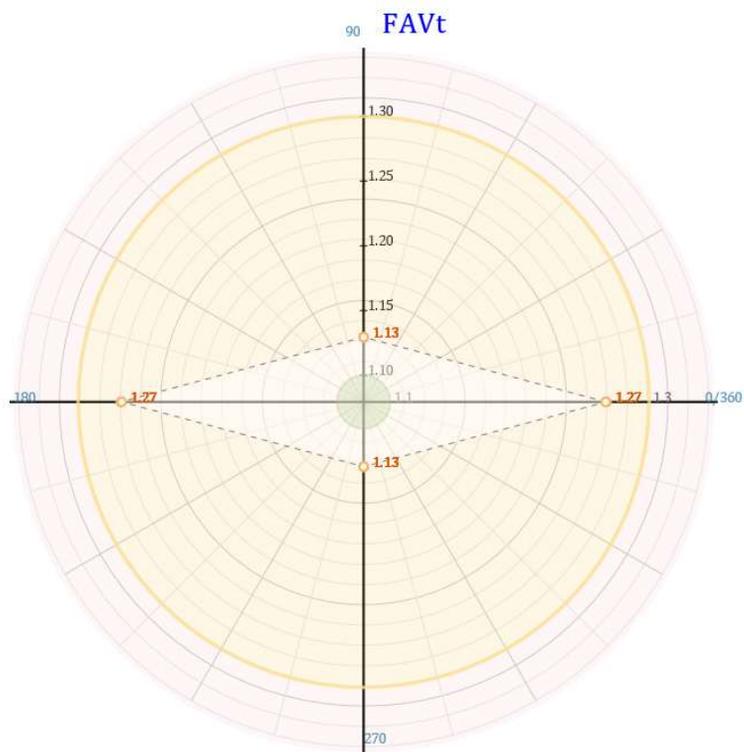


Figura 38 – Coeficiente de estabilidade global

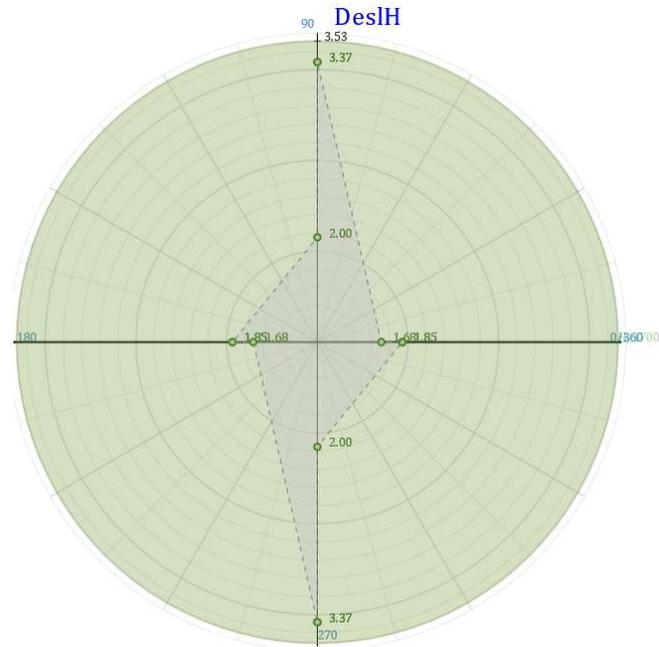


Figura 39 - Deslocamentos horizontais

6.1.6 Modelo 6

No dimensionamento do modelo 6, de vão entre pilares igual a 7,5x7,5m e lajes nervuradas, obteve-se as seguintes plantas de formas.

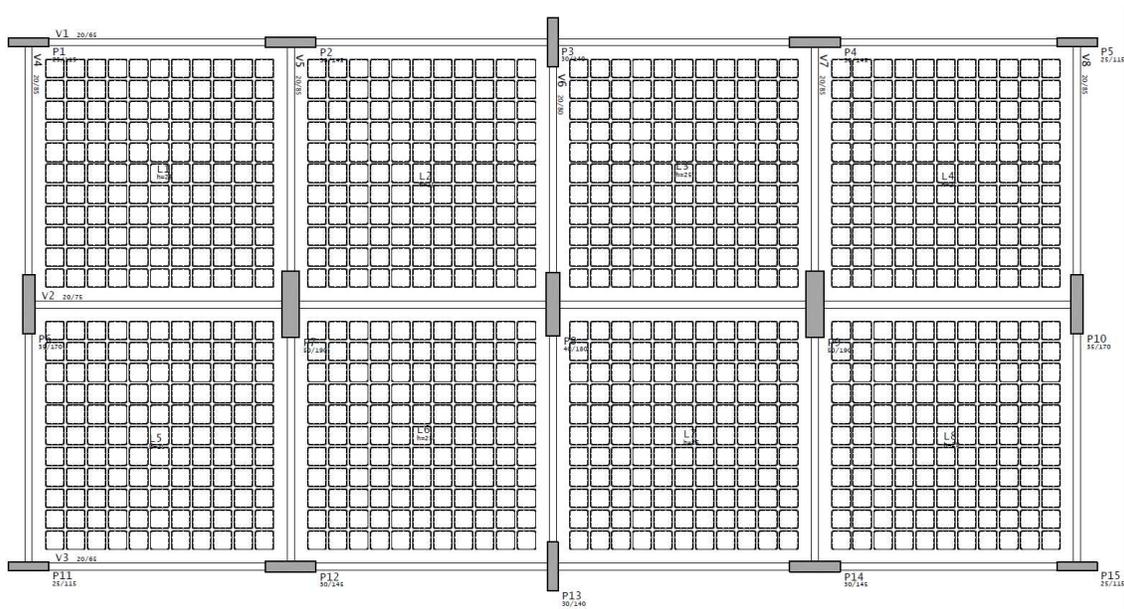


Figura 40 – Planta de formas pavimento Tipo 1

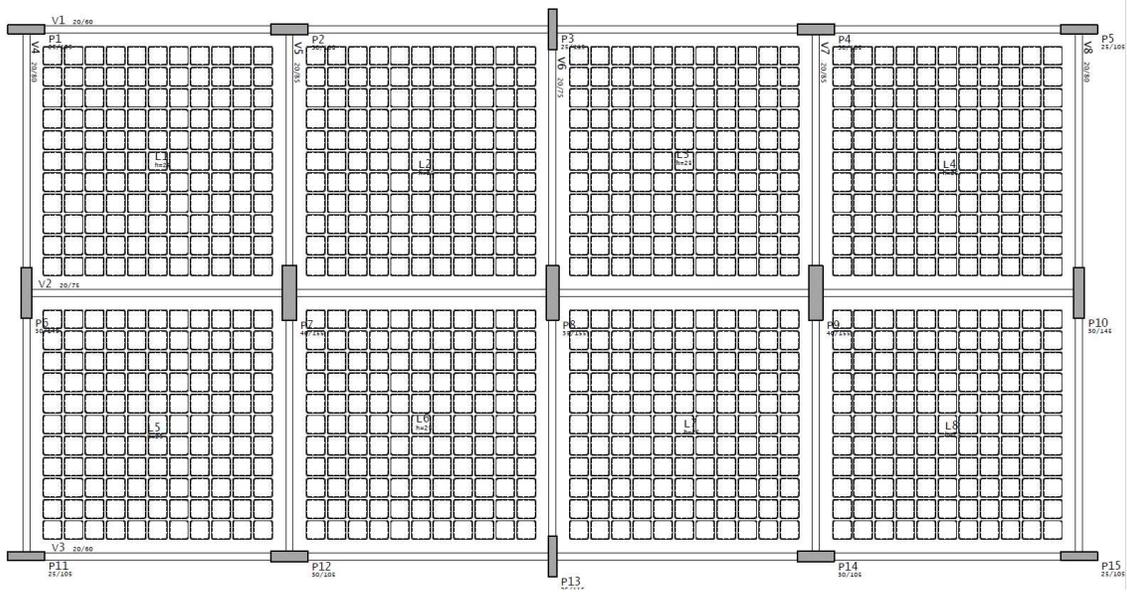


Figura 41 – Planta de formas pavimento Tipo 2

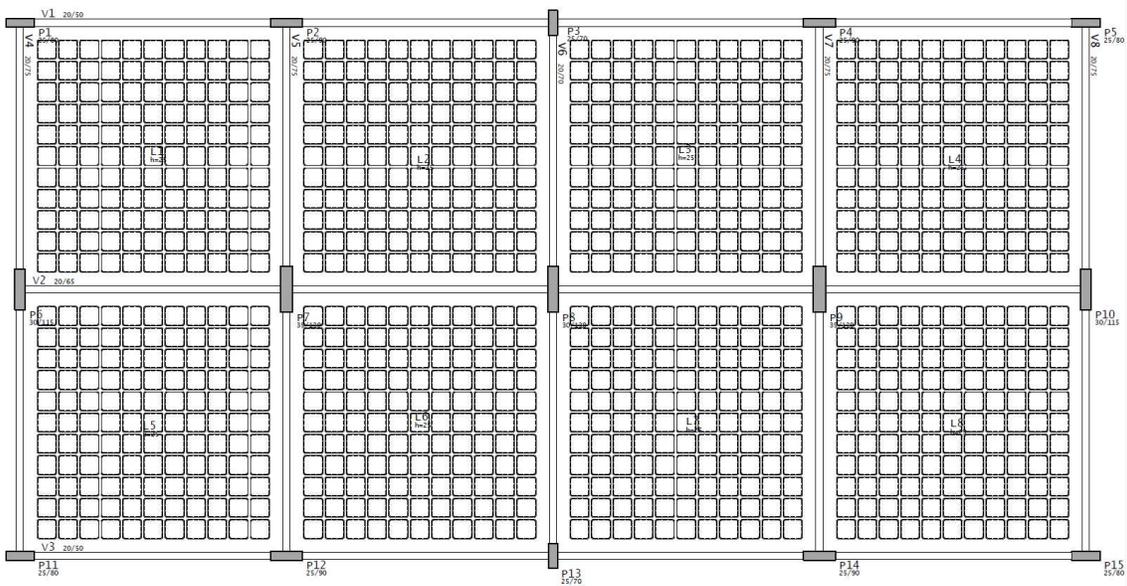


Figura 42 – Planta de formas pavimento Tipo 3

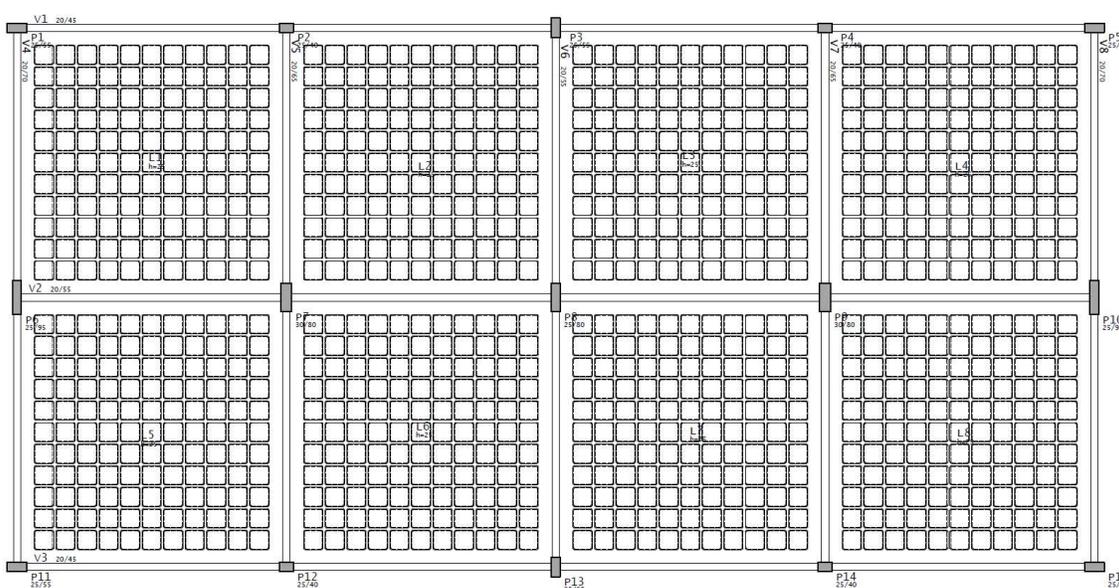


Figura 43 – Planta de formas pavimento Tipo 4

As dimensões finais dos elementos (lajes, vigas e pilares) estão apresentadas nas tabelas abaixo:

MODELO 6		Dimensões (cm)			
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
Lajes		18	18	18	18
Grupos de Vigas					
VEX	V1, V3	20x65	20x60	20x50	20x45
VIX	V2	20x75	20x75	20x65	20x55
VEY	V4, V8	20x85	20x80	20x75	20x70
VIYC	V5, V7	20x85	20x85	20x75	20x65
VIY	V6	20x80	20x75	20x70	20x55
Grupos de Pilares					
PC	P1, P5, P11, P15	115x25	105x25	80x25	55x25
PFXC	P2, P4, P12, P14	145x30	105x30	90x25	40x25
PFX	P3, P13	10x140	25x115	25x70	25x55
PFY	P6, P10	35x170	30x145	30x115	25x90
PIC	P7, P9	50x190	40x155	35x130	30x80
PI	P8	40x180	35x155	30x130	25x80

Tabela 44 – Dimensões finais dos elementos

Sendo:

VEX – Vigas Externas no eixo X

VIX – Vigas Internas no eixo X

VEY – Vigas Externas no eixo Y

VIYC – Vigas Internas no eixo Y próximas aos Cantos

VIY – Vigas Internas no eixo Y

PC – Pilares de Canto

PFXC – Pilares da Fachada do eixo X próximos aos Cantos

PFX – Pilares da Fachada do eixo X

PFY – Pilares da Fachada do eixo Y

PI – Pilares Internos

Os quantitativos estão apresentados a seguir:

Grupo de Pavimentos	Concreto (m ³)			Fôrmas (m ²)		
	Pilares	Vigas	Lajes	Pilares	Vigas	Cubetas*
Cobertura	7,1	17,3	59,2	78,3	147,5	968
Tipo 4	28,6	69,1	236,9	313,2	589,9	2904
Tipo 3	60,6	95,1	295,6	555	828,3	3872
Tipo 2	83,1	105,9	295	681	938,2	3872
Tipo 1	113,1	107,6	293,9	813	958,4	3872
TOTAL	292,5	395	1180,7	2440,5	3462,2	15488

Tabela 45 - Quantitativo de concreto e fôrmas. (*quantidade em unidades)

Grupo de Pavimentos	Aço (kg)		
	Pilares	Vigas	Lajes
Cobertura	533,4	2016,3	2093,8
Tipo 4	2758,3	11273,1	9261
Tipo 3	5857,5	18359,5	10782,2
Tipo 2	11097,7	21930,2	10372,4
Tipo 1	17773,1	22609	10558,7
TOTAL	38019,9	76188,1	43068,1

Tabela 46 – Quantitativo de aço

Grupo de Pavimentos	Bitola (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	248,5	513	623,6	795,1	729	992,2	480,9	261,2
Tipo 4	1000	2659,5	3020,8	1878,5	2808,4	5345,7	4121,3	2458,2
Tipo 3	1233,2	2330,8	5004	3446,6	4164,1	6342,4	5679	6799,1
Tipo 2	905	2622,5	5874,8	3786	3246,7	7709,9	7785,6	11469,7
Tipo 1	898,9	3430,6	6958,6	3452,5	2905,5	8902,8	8885,7	15506,1
TOTAL	4285,6	11556,5	21481,8	13358,8	13853,7	29293	26952,4	36494,3

Tabela 47 – Quantitativo de aço por bitola

Pavimento	Concreto		Fôrmas		Aço		
	Consumo (m ³)	Taxa (m ³ /m ²)	Consumo (m ²)	Taxa (m ² /m ²)	Consumo (kg)	Taxa (kg/m ²)	Taxa (kg/m ³)
Cobertura	83,6	0,18	225,8	0,5	4643,4	10,1	55,5
Tipo 4	334,6	0,18	903,1	0,5	23292,3	12,7	69,6
Tipo 3	451,3	0,2	1383,3	0,6	34999,2	15,2	77,5

Lajes maciças e nervuradas: impacto sobre os custos da estrutura de um edifício considerando diferentes ritmos de execução

Tipo 2	483,9	0,21	1619,2	0,7	43400,3	18,9	89,7
Tipo 1	514,6	0,22	1771,4	0,8	50940,9	22,1	99
TOTAL	1868,1	0,2	5902,8	0,6	157276,1	17,1	84,2

Tabela 48 – Taxas de consumo

Os quantitativos para os grupos de pavimentos Tipo 1 a Tipo 4 refletem o valor total dos 5 pavimentos que compõem cada grupo.

O orçamento referente ao modelo está detalhado no apêndice C.

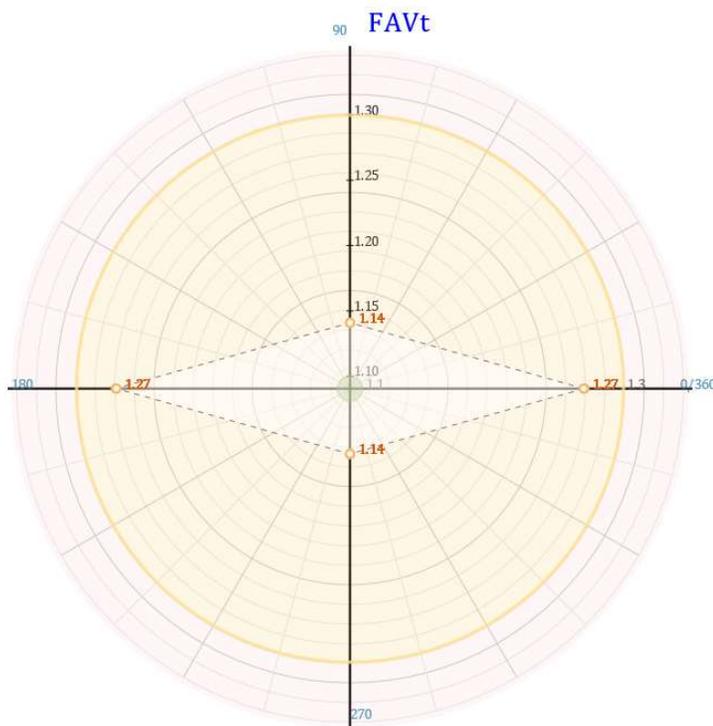


Figura 44 – Coeficiente de estabilidade global

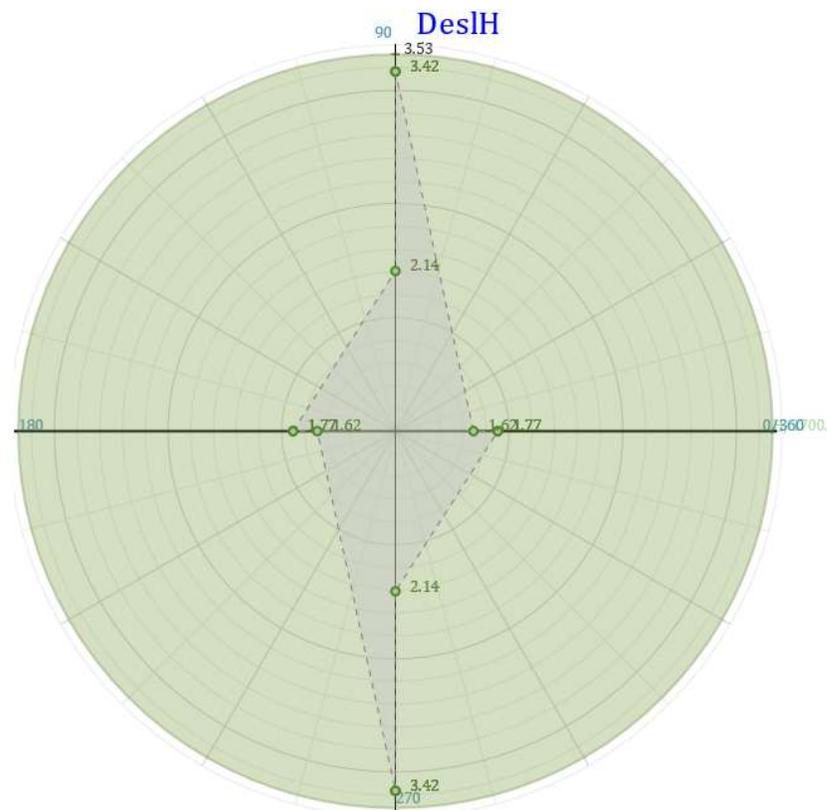


Figura 45 - Deslocamentos horizontais

6.2 Comparativos

6.2.1 Entre estruturas de mesmos vãos

6.2.1.1 Malha 3x3m

A seguir estão comparados os modelos com a configuração de lajes de vão 3x3m.

Malha 3x3m					
	Lajes maciças	Lajes nervuradas			
		Ritmo 1	Ritmo 2	Ritmo 3	Ritmo 4
MAT	R\$ 1.676.515,53	R\$ 1.745.415,03	R\$ 1.798.907,22	R\$ 1.891.011,90	R\$ 1.971.680,65
M.O	R\$ 852.420,00	R\$ 1.024.380,00	R\$ 1.024.380,00	R\$ 1.024.380,00	R\$ 1.024.380,00
TOTAL	R\$ 2.528.935,53	R\$ 2.769.795,03	R\$ 2.823.287,22	R\$ 2.915.391,90	R\$ 2.996.060,65
DIF %	100%	110%	112%	115%	118%

Tabela 49 – Comparativo entre modelos

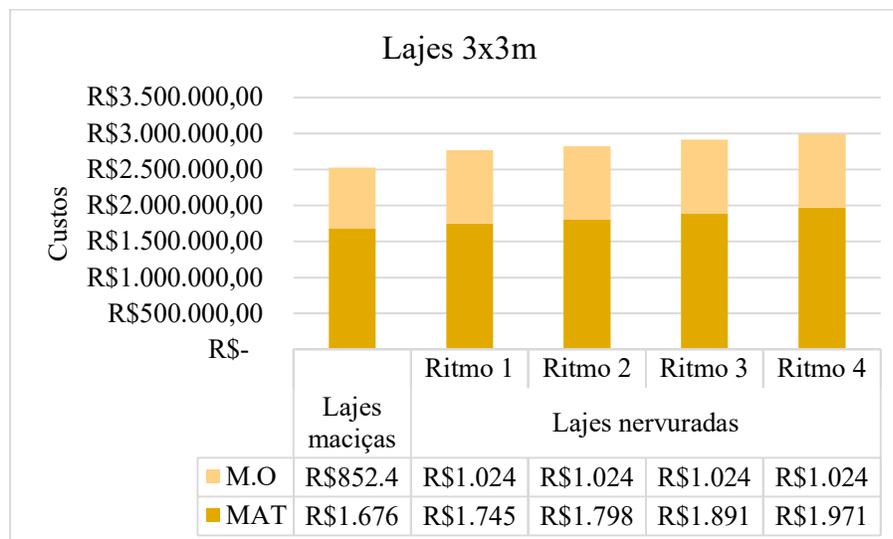


Figura 46 – Custos x Ritmo

Conforme é visto no gráfico, para essa configuração, os sistemas de lajes maciças se mostra mais econômico do que qualquer ritmo de obra analisado com o uso de lajes nervuradas.

6.2.1.2 Malha 5x5m

Malha 5x5m					
	Lajes maciças	Lajes nervuradas			
		Ritmo 1	Ritmo 2	Ritmo 3	Ritmo 4
MAT	R\$ 1.897.050,69	R\$ 1.724.881,92	R\$ 1.791.724,11	R\$ 1.883.828,80	R\$ 1.964.497,55
M.O	R\$ 904.140,00	R\$ 968.040,00	R\$ 968.040,00	R\$ 968.040,00	R\$ 968.040,00
TOTAL	R\$ 2.801.190,69	R\$ 2.692.921,92	R\$ 2.759.764,11	R\$ 2.851.868,80	R\$ 2.932.537,55
DIF %	104%	100%	102%	106%	109%

Tabela 50 – Custos x Ritmo

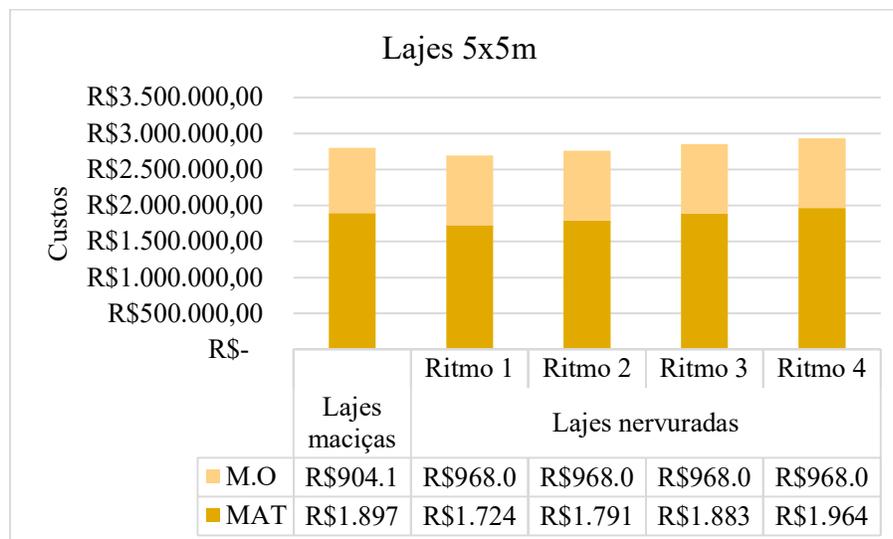


Figura 47 – Custos x Ritmo

Para a disposição de pilares e vigas com uma malha de 5x5m, o uso de lajes nervuradas é vantajoso para os 2 ritmos mais intensos de execução, ritmos 2 e 3. Para os ritmos mais lentos de execução, 3 e 4, com intervalos de 2 semanas entre concretagens dos pavimentos, e emprego de lajes nervuradas acarreta um custo maior que o relativo ao uso de lajes maciças.

É importante notar que o custo de mão de obra associado às lajes nervuradas é maior que o correspondente para lajes maciças, o que, numa conjuntura de economia aquecida, pleno emprego e valorização da mão de obra, a opção por lajes nervuradas mesmo nos ritmos mais intensos de execução pode não se tornar economicamente vantajosa.

6.2.1.3 Malha 7,5x7,5m

Malha 7,5x7,5m					
	Lajes maciças	Lajes nervuradas			
		Ritmo 1	Ritmo 2	Ritmo 3	Ritmo 4
MAT	R\$ 2.503.193,99	R\$ 1.881.749,86	R\$ 1.955.267,05	R\$ 2.047.371,74	R\$ 2.128.040,49
M.O	R\$ 1.316.760,00	R\$ 1.120.920,00	R\$ 1.120.920,00	R\$ 1.120.920,00	R\$ 1.120.920,00
TOTAL	R\$ 3.819.953,99	R\$ 3.002.669,86	R\$ 3.076.187,05	R\$ 3.168.291,74	R\$ 3.248.960,49
DIF %	127%	100%	102%	106%	108%

Tabela 51 – Custos x Ritmo

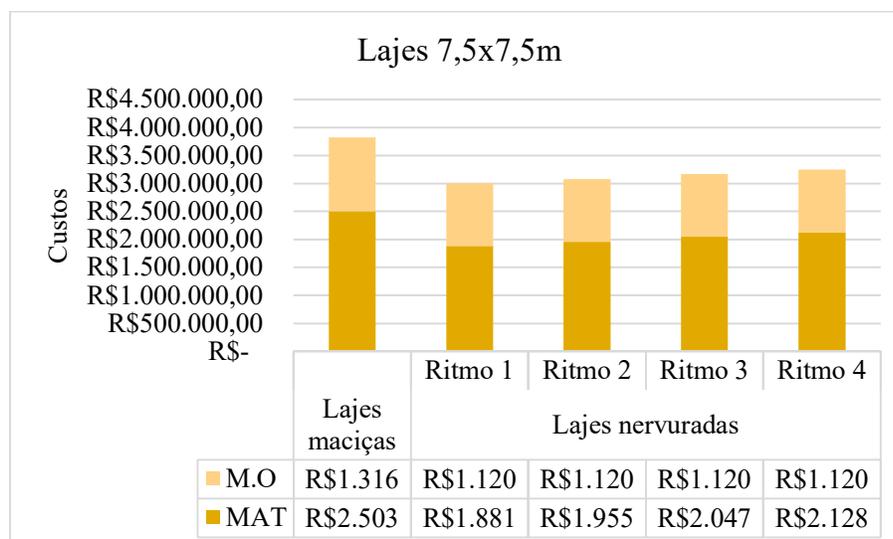


Figura 48 – Custos x Ritmo

Nesta configuração, o uso de laje nervurada, mesmo com os ritmos mais lentos de execução, é economicamente vantajoso em comparação ao emprego de lajes maciças.

6.2.2 Entre edifícios de mesmos sistemas de lajes

6.2.2.1 Maciças

	MACIÇAS		
	3x3	5x5	7,5x7,5
MAT	R\$ 1.676.515,53	R\$ 1.897.050,69	R\$ 2.503.193,99
M.O	R\$ 852.420,00	R\$ 904.140,00	R\$ 1.316.760,00
TOTAL	R\$ 2.528.935,53	R\$ 2.801.190,69	R\$ 3.819.953,99
DIF %	100%	111%	151%

Tabela 52 – Custos x Ritmo

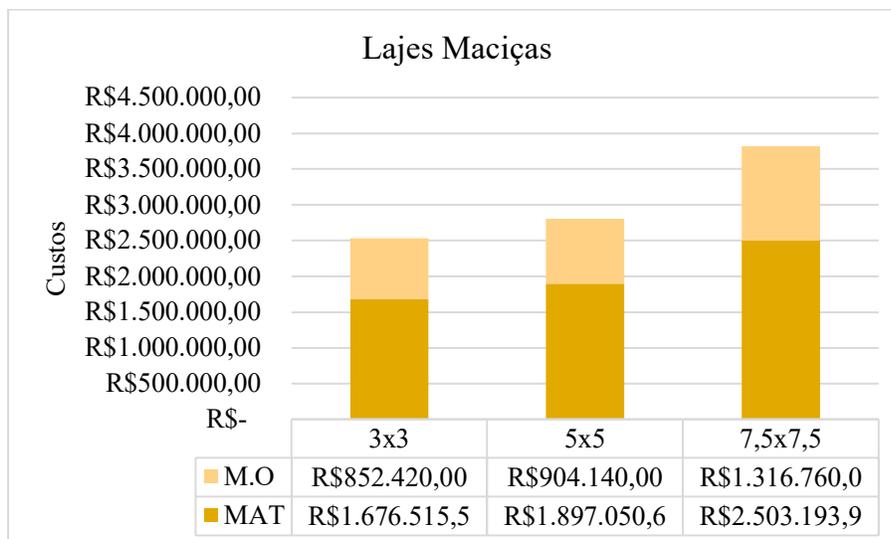


Figura 49 – Custos x Ritmo

O emprego de lajes maciças é economicamente mais vantajoso para vãos menores da malha de vigas e pilares, de tal forma que, quanto maior o vão vencido pelas laje, maiores os custos relativos à estrutura de concreto. A malha de 3x3m apresentou os menores custos frente às demais configurações analisadas.

6.2.2.2 Nervuradas

NERVURADAS			
RITMO 1			
	3x3	5x5	7,5x7,5
MAT	R\$ 1.745.415,03	R\$ 1.724.881,92	R\$ 1.881.749,86
M.O	R\$ 1.024.380,00	R\$ 968.040,00	R\$ 1.120.920,00
TOTAL	R\$ 2.769.795,03	R\$ 2.692.921,92	R\$ 3.002.669,86
DIF %	103%	100%	112%
RITMO 2			
	3x3	5x5	7,5x7,5
MAT	R\$ 1.798.907,22	R\$ 1.791.724,11	R\$ 1.955.267,05
M.O	R\$ 1.024.380,00	R\$ 968.040,00	R\$ 1.120.920,00
TOTAL	R\$ 2.823.287,22	R\$ 2.759.764,11	R\$ 3.076.187,05
DIF %	102%	100%	111%
RITMO 3			
	3x3	5x5	7,5x7,5
MAT	R\$ 1.891.011,90	R\$ 1.883.828,80	R\$ 2.047.371,74
M.O	R\$ 1.024.380,00	R\$ 968.040,00	R\$ 1.120.920,00
TOTAL	R\$ 2.915.391,90	R\$ 2.851.868,80	R\$ 3.168.291,74
DIF %	102%	100%	111%

RITMO 4			
	3x3	5x5	7,5x7,5
MAT	R\$ 1.971.680,65	R\$ 1.964.497,55	R\$ 2.128.040,49
M.O	R\$ 1.024.380,00	R\$ 968.040,00	R\$ 1.120.920,00
TOTAL	R\$ 2.996.060,65	R\$ 2.932.537,55	R\$ 3.248.960,49
DIF %	102%	100%	111%

Tabela 53 – Custos x Ritmo

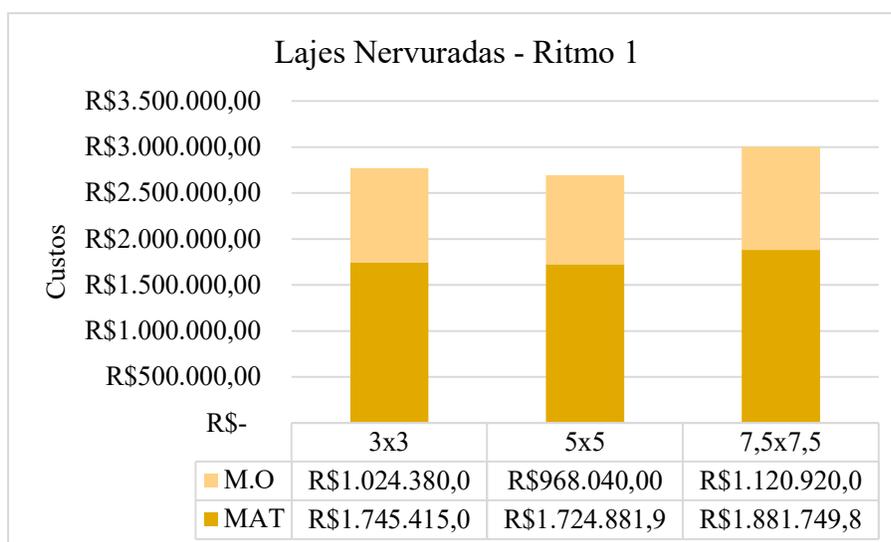


Figura 50 – Custos x Ritmo 1

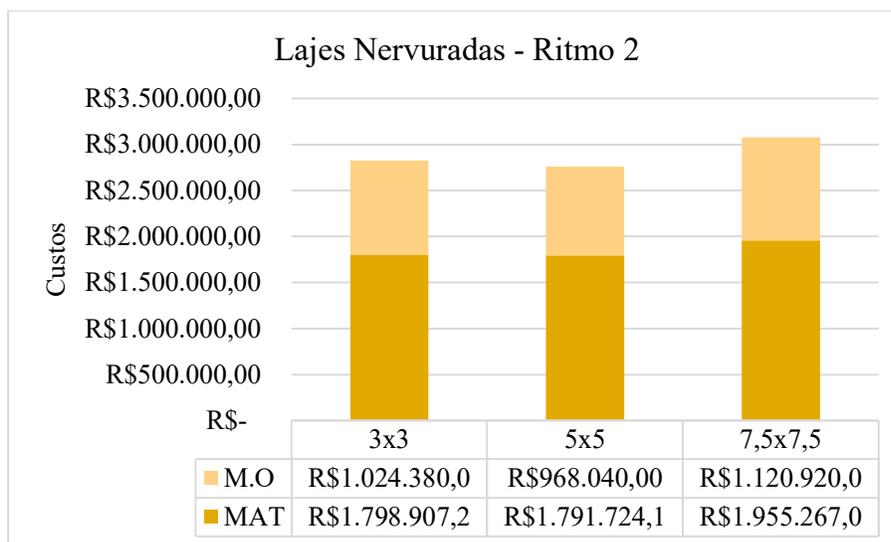


Figura 51 – Custos x Ritmo 2

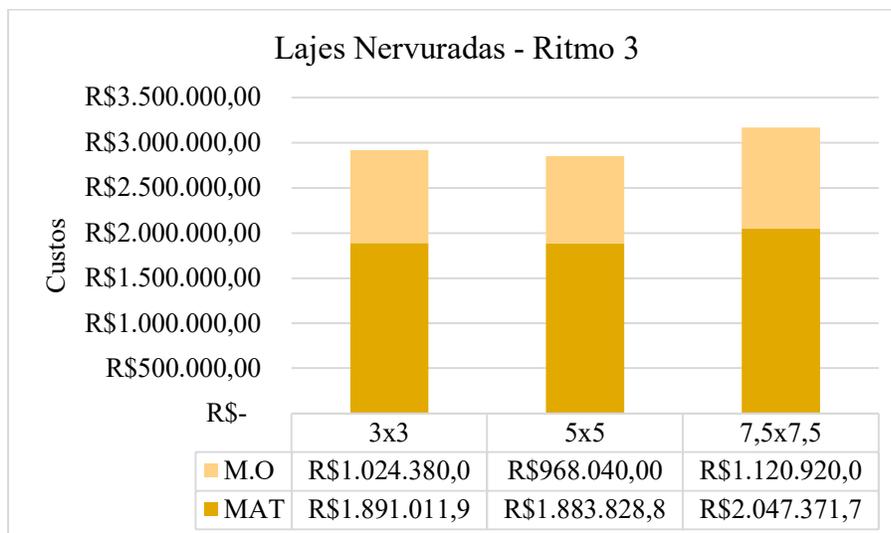


Figura 52 – Custos x Ritmo 3

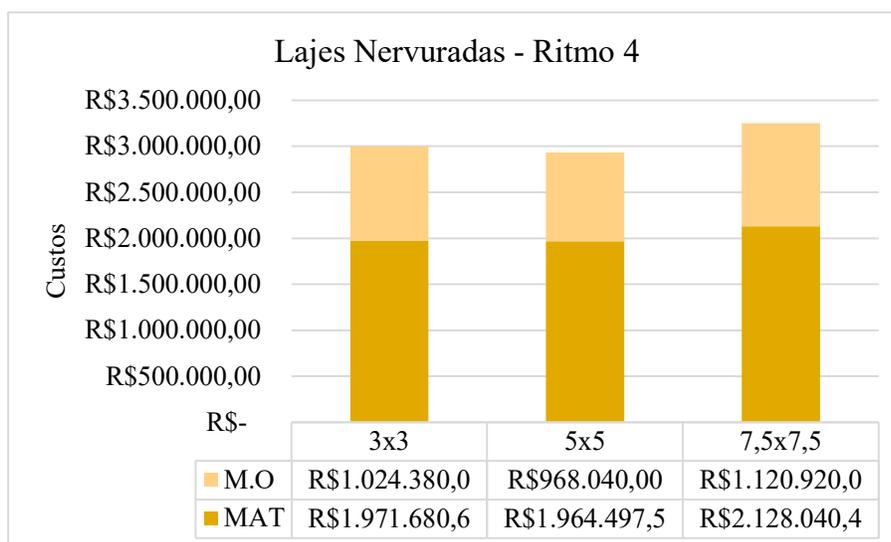


Figura 53 – Custos x Ritmo 4

Com o emprego de lajes nervuradas, a malha de 5x5m apresentou os menores custos relativos à estrutura para cada um dos ritmos de execução analisados, com as malhas de 3x3m e 7,5x7,5m apresentando custos mais elevados num mesmo ritmo de execução.

O ritmo de execução da estrutura exerce forte influência sobre os custos, em função da locação do sistema de fôrmas, cimbramento e escoramento e do número de componentes locados simultaneamente. Por exemplo, a estrutura com malha 7,5 x 7,5m executada no ritmo mais intenso analisado tem custo equivalente à estrutura com malha 3x3m executada no ritmo mais lento. Da mesma forma, uma estrutura com lajes de 3x3m, mas executada com um ritmo intenso de execução e com um único conjunto de fôrmas é equivalente em custos à mesma estrutura com lajes de 5x5m executada com 2 conjuntos de fôrmas.

6.2.3 Entre todas as soluções propostas

6.2.3.1 Reações totais

A tabela a seguir representa a reação na base de cada pilar para cada modelo estudado. A partir dela é possível caracterizar ainda mais os modelos e ao mesmo tempo analisar os esforços a serem resistidos pelas fundações.

3x3				5x5				7,5x7,5			
Maciça		Nervurada		Maciça		Nervurada		Maciça		Nervurada	
Pilar	Fz	Pilar	Fz	Pilar	Fz	Pilar	Fz	Pilar	Fz	Pilar	Fz
P1	188.6	P1	192.9	P1	222.5	P1	221.5	P1	370.0	P1	380.3
P2	159.6	P2	162.9	P2	407.3	P2	408.7	P2	718.4	P2	668.4
P3	158.1	P3	163.3	P3	302.5	P3	307.6	P3	744.2	P3	710.7
P4	145.0	P4	150.3	P4	295.1	P4	303.0	P4	718.4	P4	668.4
P5	142.5	P5	148.1	P5	302.5	P5	307.6	P5	370.0	P5	380.4
P6	140.5	P6	146.2	P6	407.3	P6	408.7	P6	775.9	P6	745.5
P7	142.5	P7	148.2	P7	222.5	P7	221.5	P7	1644.0	P7	1448.3
P8	145.0	P8	150.3	P8	291.9	P8	299.4	P8	1342.9	P8	1212.7
P9	158.1	P9	163.3	P9	573.2	P9	595.0	P9	1644.0	P9	1448.4
P10	159.6	P10	162.9	P10	531.8	P10	549.1	P10	775.9	P10	745.5
P11	188.6	P11	192.9	P11	538.8	P11	558.1	P11	370.0	P11	380.2
P12	187.4	P12	190.0	P12	531.8	P12	549.1	P12	718.4	P12	667.8
P13	218.9	P13	238.8	P13	573.2	P13	595.1	P13	744.2	P13	693.6
P14	209.6	P14	226.6	P14	291.9	P14	299.4	P14	718.4	P14	667.8
P15	197.6	P15	216.0	P15	291.9	P15	299.3	P15	370.0	P15	380.2
P16	197.4	P16	215.9	P16	573.2	P16	595.0				
P17	196.9	P17	215.3	P17	531.8	P17	549.0				
P18	197.4	P18	215.9	P18	538.8	P18	558.0				
P19	197.6	P19	216.0	P19	531.8	P19	549.0				
P20	209.6	P20	226.6	P20	573.2	P20	595.0				
P21	218.9	P21	238.8	P21	291.9	P21	299.3				
P22	187.4	P22	190.0	P22	222.5	P22	221.2				
P23	145.4	P23	150.3	P23	407.3	P23	407.7				
P24	193.4	P24	211.7	P24	302.5	P24	306.7				
P25	190.6	P25	205.8	P25	295.1	P25	302.0				
P26	183.8	P26	199.0	P26	302.5	P26	306.7				
P27	185.1	P27	200.4	P27	407.3	P27	407.7				
P28	184.9	P28	200.2	P28	222.5	P28	221.2				
P29	185.1	P29	200.4								
P30	183.8	P30	199.0								
P31	190.6	P31	205.8								
P32	193.4	P32	211.6								

P33	145.4	P33	150.3
P34	145.4	P34	150.3
P35	193.4	P35	211.7
P36	190.6	P36	205.8
P37	183.8	P37	198.9
P38	185.1	P38	200.4
P39	184.9	P39	200.2
P40	185.1	P40	200.4
P41	183.8	P41	198.9
P42	190.6	P42	205.8
P43	193.4	P43	211.7
P44	145.4	P44	150.3
P45	187.4	P45	189.9
P46	218.9	P46	238.7
P47	209.6	P47	226.5
P48	197.6	P48	215.9
P49	197.4	P49	215.7
P50	196.9	P50	215.2
P51	197.4	P51	215.7
P52	197.6	P52	215.9
P53	209.6	P53	226.5
P54	218.9	P54	238.7
P55	187.4	P55	189.9
P56	188.6	P56	192.4
P57	159.6	P57	161.8
P58	158.1	P58	162.2
P59	145.0	P59	149.3
P60	142.5	P60	147.0
P61	140.5	P61	145.1
P62	142.5	P62	147.0
P63	145.0	P63	149.3
P64	158.1	P64	162.2
P65	159.6	P65	161.7
P66	188.6	P66	192.4

Tabela 54: Comparativo de reações

6.2.3.2 Custos

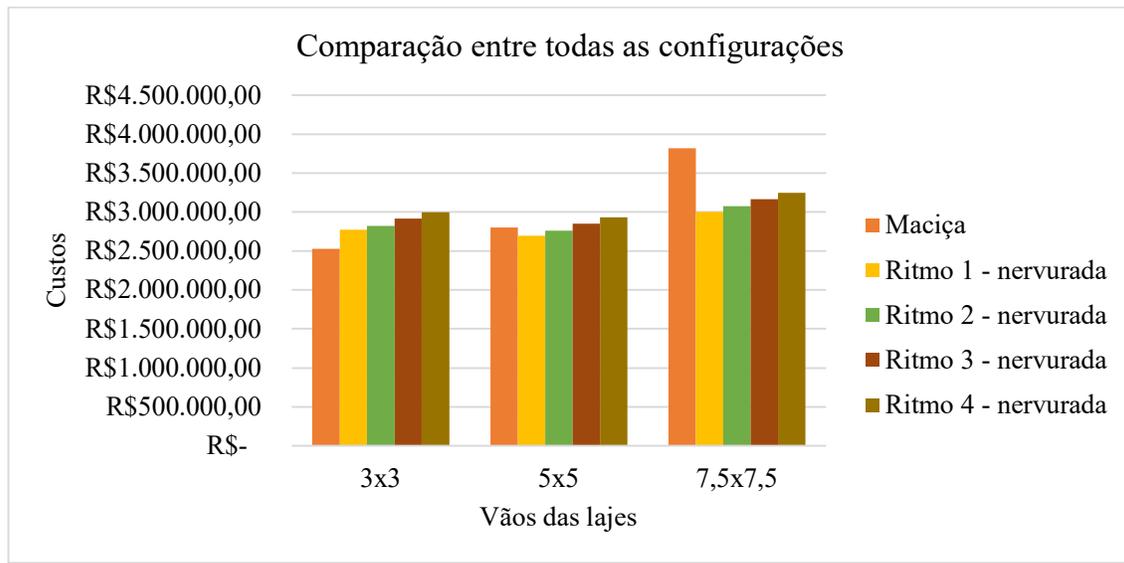


Figura 54 – Custos x Ritmo

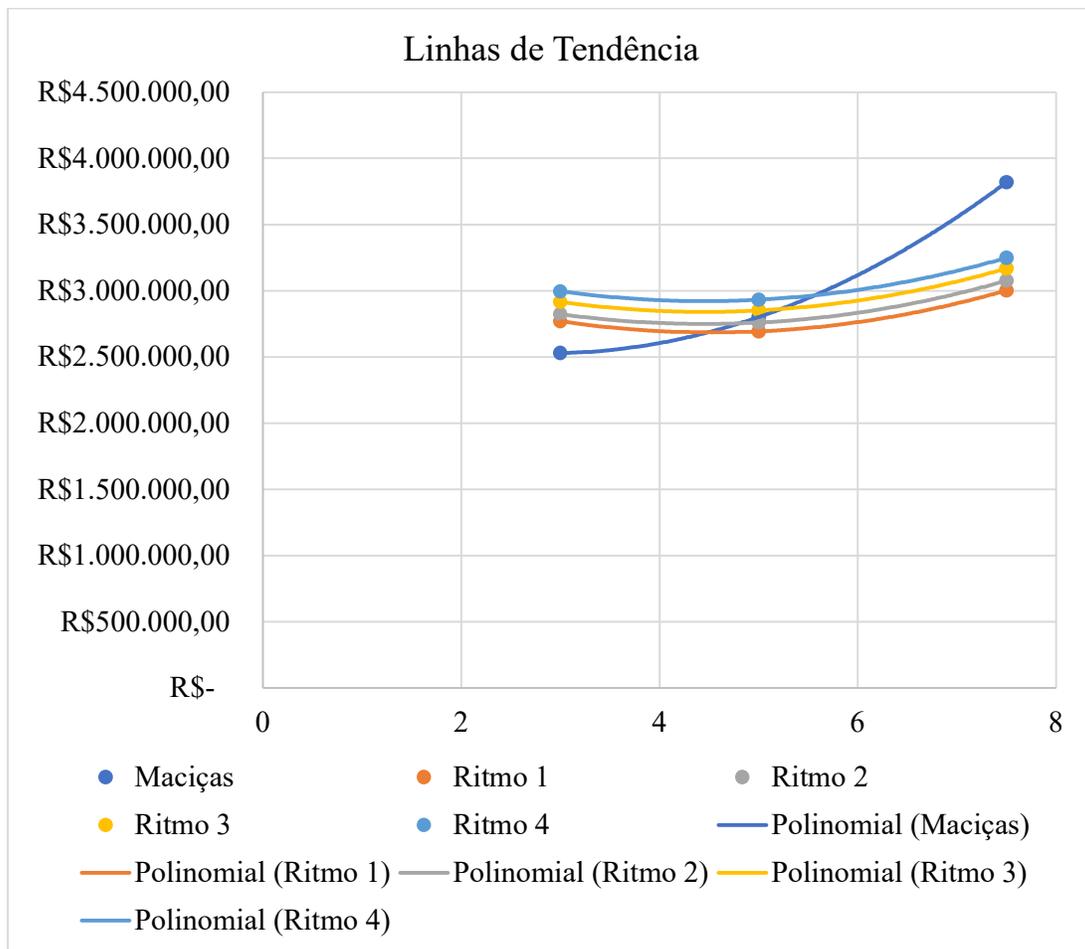


Figura 55 – Linhas de tendência

A partir dos resultados obtidos em cada modelo para os 3 vãos, se pode estimar o vão ótimo de cada sistema estrutural. No caso das lajes maciças, entre o intervalo de vãos estudados, o melhor vão para esse sistema estrutural é o de 3m. Já quando analisadas as lajes nervuradas, o vão ótimo ficou próximo dos 4,5m para todos os ritmos.

Havendo total liberdade na definição do projeto arquitetônico (escolha da malha de pilares e vigas e tamanho das lajes) e no sistema construtivo (tipo das lajes), a configuração com menor custo estimado da estrutura é a que utiliza uma malha 3x3m com o emprego de lajes maciças.

Havendo a necessidade de vãos maiores para um melhor aproveitamento do espaço interno da edificação, as soluções com lajes nervuradas se tornam progressivamente mais atrativas, em especial quando o ritmo de execução da estrutura é mais intenso. O ponto de transição é nas vizinhanças da malha de 5x5m, onde, dependendo do ritmo, o uso da laje nervurada pode ser mais econômico em relação ao da laje maciça. Para vãos maiores, independentemente do ritmo de execução da estrutura, dentre os analisados, as soluções com lajes nervuradas são sempre mais econômicas que com o emprego de lajes maciças.

7 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo analisar os cenários em que o uso de lajes nervuradas se torna mais vantajoso economicamente em comparação ao uso de lajes maciças. Sabendo que o sistema de fôrmas para execução das lajes nervuradas é locado e tem custo alterado conforme o tempo de permanência em obra, além dos custos de materiais e mão de obra, também foi levado em consideração o ritmo de execução dos pavimentos, para determinar se esse critério impacta nos custos globais.

O estudo comparativo considerou edifícios de 20 pavimentos, com variação de 3 configurações de lajes. Todos os edifícios possuem mesma área construída e mesmos carregamentos considerados.

É possível perceber que ao comparar o sistema de lajes maciças, o cenário é bem definido, apontando para a menor dimensão de laje como configuração mais econômica. Esse resultado já era esperado, pois estudos anteriores também indicaram essa tendência de que quanto menores os vãos das lajes maciças, melhor para o dimensionamento, que reduz o consumo de concreto na seção das lajes.

Em relação às lajes nervuradas, em todos os ritmos avaliados os edifícios com vãos de 5x5m se mostraram mais econômicos. Embora esse resultado apresente uma leve divergência em relação aos estudos realizados e utilizados como base, a justificativa para tal pode ser atribuída às robustas seções dos elementos necessárias para suportar as cargas verticais e efeitos de vento, que influencia diretamente no custo de mão de obra, já que o mesmo é calculado a partir do volume de concreto da estrutura.

Como esperado, as estruturas com sistema de lajes nervuradas, e ritmo mais acelerado (ritmo 1) são mais vantajosas, e indicadas para equipes mais estruturadas e com agilidade de execução. Conclui-se, portanto, a escolha mais econômica como sendo de lajes nervuradas com vãos 5x5 e ritmo acelerado para esse porte de empresa.

Tendo em vista a liberdade de escolha de vãos entre os pilares, concluiu-se que o modelo mais econômico é o edifício de lajes maciças com vãos 3x3m.

Já quando os vãos entre pilares não podem ser alterados, as configurações ótimas para cada espaçamento se tornam passíveis de diferentes análises.

Para vãos de 3x3m, o modelo mais econômico é o modelo de lajes maciças. Para os vãos de 5x5m, os modelos de lajes nervuradas com ritmo 1 e 2, ou seja, com execução de um pavimento por semana, são os mais econômicos, inclusive em relação ao modelo de lajes maciças, que fica com valor menor apenas que os modelos com ritmos mais lentos. E nos casos de vãos 7,5x7,5m, até mesmo o mais lento dos ritmos de execução é mais vantajoso do que projetar a estrutura com lajes maciças.

Para edificações nas quais o tamanho ou estrutura da equipe, bem como prazos de execução não estão definidas na etapa de projeto, é possível destacar que as lajes maciças com vãos de 7,5x7,5m são muito mais onerosas do que o mais lento dos ritmos com uso de lajes nervuradas em qualquer vão estudado.

Cabe ao engenheiro estrutural propor um sistema construtivo dentro de uma arquitetura pré-definida, mas as informações obtidas nesse estudo podem servir de fonte para arquitetos projetarem o layout da edificação utilizando o sistema mais adequado e otimizar o projeto como um todo.

É importante salientar que os resultados obtidos são especificamente para as edificações com parâmetros semelhantes aos empregados no presente estudo. Entende-se que vários dos fatores estabelecidos podem influenciar em resultados diferentes. A configuração retangular das plantas garante lajes de dimensões regulares, parâmetro que beneficia o uso de lajes nervuradas, pois em casos e formas irregulares as lajes maciças tendem a ser mais vantajosas. Na mesma linha de raciocínio, a presença de elementos de contraventamento e núcleos rígidos pode ser critério chave na otimização das seções, atuando a favor de menores dimensões para os elementos.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se o mesmo estudo comparativo para outras configurações de edifícios. Os parâmetros de variação podem ser as dimensões das lajes, bem como a variação nos carregamentos. Seria pertinente também avaliar estruturas com núcleo de circulação vertical ou outra estrutura de contraventamento. Abrangendo também os impactos que as cargas horizontais do vento causam nas estruturas, pode-se fazer um estudo sobre edifícios com plantas irregulares, mais próximas da realidade arquitetônica do mercado. Tais sugestões e avaliações dos diferentes cenários possibilita apontar com mais clareza quais as condições mais vantajosas para a escolha entre lajes maciças e nervuradas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ARAÚJO, J. M. de. Curso de concreto armado. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014b.v.3.

ATEX BRASIL. Lagoa Santa, [2021]. Disponível em: <<https://www.atex.com.br/pt/>>. Acesso em: 03 de maio de 2021.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado. Notas de aula da disciplina de Estruturas de concreto I na Universidade Estadual Paulista. Disponível em:<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 03 de maio de 2021.

BERNARDO, J. N. D. Análise da influência da resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) no dimensionamento estrutural de um edifício residencial em concreto armado. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC – como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil, 2011.

BESSA, V. M. R. D. Estruturas de Concreto Armado I. Notas de aula, ENG0111, UFRGS, 2017.

DANIEL, E. C. Estudo de alternativas para a estrutura sem transição de um edifício comercial em concreto armado utilizando como condicionante de projeto a malha de pilares para vagas de estacionamento. 2020. 78 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

GRAFF, S. Análise comparativa de sistemas estruturais compostos por vigas e lajes maciças ou nervuradas em edifícios. 2015. 124 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

KIMURA, A. E. Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. 1. ed. São Paulo: Pini, 2007.

MATIAS, F. Avaliação da influência da resistência à compressão do concreto no custo do sistema estrutural de um edifício de cinco pavimentos. 2019. 95 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994. 573p.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto-Microestrutura, Propriedades e Materiais. 1ª Ed. Português, IBRACON, São Paulo, 2008.

SILVA, L.P. Estudo comparativo entre lajes nervuradas e maciças em função dos vãos entre apoios. 2010. 99 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

APÊNDICE A – LISTA DE COMBINAÇÕES DO TQS

ELU1/PERMACID/PP+PERM+ACID
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT1
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT2
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT3
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT4
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT5
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT6
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT7
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT8
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT9
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT10
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT11
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+ACID+0.6VENT12
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT1
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT2
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT3
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT4
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT5
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT6
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT7
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT8
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT9
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT10
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT11
 ELU1/ACIDCOMB/PP+PERM+0.8ACID+VENT12
 FOGO/PERMVAR/PP+PERM+0.6ACID
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.7ACID
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT1
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT2
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT3
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT4
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT5
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT6
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT7
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT8
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT9
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT10
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT11
 ELS/CFREQ/PP+PERM+0.6ACID+0.3VENT12
 ELS/CQPERM/PP+PERM+0.6ACID
 COMBFLU/COMBFLU/PP+PERM+0.6ACID
 ELU1/PERMACID/PP_V+PERM_V+ACID_V
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT1
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT2
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT3
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT4
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT5
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT6
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT7
 ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT8

ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT9
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT10
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT11
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+ACID_V+0.6VENT12
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT1
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT2
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT3
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT4
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT5
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT6
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT7
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT8
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT9
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT10
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT11
ELU1/ACIDCOMB/PP_V+PERM_V+0.8ACID_V+VENT12
FOGO/PERMVAR/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.7ACID_V
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT1
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT2
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT3
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT4
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT5
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT6
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT7
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT8
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT9
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT10
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT11
ELS/CFREQ/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V+0.3VENT12
ELS/CQPERM/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V
COMBFLU/COMBFLU/PP_V+PERM_V+0.6ACID_V

APÊNDICE B – RITMOS DE OBRA CONSIDERADOS

RITMO 1	
SEMANA	TAREFAS
1	montagem formas 1 PAV
	concretagem 1 PAV
2	montagem formas 2 PAV
	concretagem 2 PAV
	desmontagem formas 1 PAV
	reescoramento 100% 1 PAV
3	montagem formas 3 PAV
	concretagem 3 PAV
	desmontagem formas 2 PAV
	reescoramento 100% 2 PAV
	reescoramento 50% 1 PAV
4	montagem formas 4 PAV
	concretagem 4 PAV
	desmontagem formas 3 PAV
	reescoramento 100% 3 PAV
	reescoramento 50% 2 PAV
	reescoramento 25% 1 PAV
5	montagem formas 5 PAV
	concretagem 5 PAV
	desmontagem formas 4 PAV
	reescoramento 100% 4 PAV
	reescoramento 50% 3 PAV
	reescoramento 25% 2 PAV
6	montagem formas 6 PAV
	concretagem 6 PAV
	desmontagem formas 5 PAV
	reescoramento 100% 5 PAV
	reescoramento 50% 4 PAV
	reescoramento 25% 3 PAV
7	montagem formas 7 PAV
	concretagem 7 PAV
	desmontagem formas 6 PAV
	reescoramento 100% 6 PAV
	reescoramento 50% 5 PAV
	reescoramento 25% 4 PAV
8	montagem formas 8 PAV
	concretagem 8 PAV
	desmontagem formas 7 PAV
	reescoramento 100% 7 PAV
	reescoramento 50% 6 PAV
	reescoramento 25% 5 PAV

9	montagem formas	9	PAV
	concretagem	9	PAV
	desmontagem formas	8	PAV
	reescoramento 100%	8	PAV
	reescoramento 50%	7	PAV
	reescoramento 25%	6	PAV
10	montagem formas	10	PAV
	concretagem	10	PAV
	desmontagem formas	9	PAV
	reescoramento 100%	9	PAV
	reescoramento 50%	8	PAV
	reescoramento 25%	7	PAV
11	montagem formas	11	PAV
	concretagem	11	PAV
	desmontagem formas	10	PAV
	reescoramento 100%	10	PAV
	reescoramento 50%	9	PAV
	reescoramento 25%	8	PAV
12	montagem formas	12	PAV
	concretagem	12	PAV
	desmontagem formas	11	PAV
	reescoramento 100%	11	PAV
	reescoramento 50%	10	PAV
	reescoramento 25%	9	PAV
13	montagem formas	13	PAV
	concretagem	13	PAV
	desmontagem formas	12	PAV
	reescoramento 100%	12	PAV
	reescoramento 50%	11	PAV
	reescoramento 25%	10	PAV
14	montagem formas	14	PAV
	concretagem	14	PAV
	desmontagem formas	13	PAV
	reescoramento 100%	13	PAV
	reescoramento 50%	12	PAV
	reescoramento 25%	11	PAV
15	montagem formas	15	PAV
	concretagem	15	PAV
	desmontagem formas	14	PAV
	reescoramento 100%	14	PAV
	reescoramento 50%	13	PAV

	reescoramento 25% 12 PAV
16	montagem formas 16 PAV
	concretagem 16 PAV
	desmontagem formas 15 PAV
	reescoramento 100% 15 PAV
	reescoramento 50% 14 PAV
	reescoramento 25% 13 PAV
17	montagem formas 17 PAV
	concretagem 17 PAV
	desmontagem formas 16 PAV
	reescoramento 100% 16 PAV
	reescoramento 50% 15 PAV
	reescoramento 25% 14 PAV
18	montagem formas 18 PAV
	concretagem 18 PAV
	desmontagem formas 17 PAV
	reescoramento 100% 17 PAV
	reescoramento 50% 16 PAV
	reescoramento 25% 15 PAV
19	montagem formas 19 PAV
	concretagem 19 PAV
	desmontagem formas 18 PAV
	reescoramento 100% 18 PAV
	reescoramento 50% 17 PAV
	reescoramento 25% 16 PAV
20	montagem formas 20 PAV
	concretagem 20 PAV
	desmontagem formas 19 PAV
	reescoramento 100% 19 PAV
	reescoramento 50% 18 PAV
	reescoramento 25% 17 PAV
21	desmontagem formas 20 PAV
	reescoramento 100% 20 PAV
	reescoramento 50% 19 PAV
	reescoramento 25% 18 PAV
22	reescoramento 50% 20 PAV
	reescoramento 25% 19 PAV
23	reescoramento 25% 20 PAV

RITMO 2		
SEMANA	TAREFAS	
1	montagem escoramento	1 PAV
	montagem formas	1 PAV
	concretagem	1 PAV
2	montagem escoramento	2 PAV
	montagem formas	2 PAV
	concretagem	2 PAV
3	montagem escoramento	3 PAV
	montagem formas	3 PAV
	concretagem	3 PAV
	escoramento 50%	1 PAV
4	montagem escoramento	4 PAV
	montagem formas	4 PAV
	concretagem	4 PAV
	escoramento 50%	2 PAV
	escoramento 25%	1 PAV
5	montagem escoramento	5 PAV
	montagem formas	5 PAV
	concretagem	5 PAV
	escoramento 50%	3 PAV
	escoramento 25%	2 PAV
6	montagem escoramento	6 PAV
	montagem formas	6 PAV
	concretagem	6 PAV
	escoramento 50%	4 PAV
	escoramento 25%	3 PAV
7	montagem escoramento	7 PAV
	montagem formas	7 PAV
	concretagem	7 PAV
	escoramento 50%	5 PAV
	escoramento 25%	4 PAV
8	montagem escoramento	8 PAV
	montagem formas	8 PAV
	concretagem	8 PAV
	escoramento 50%	6 PAV
	escoramento 25%	5 PAV
9	montagem escoramento	9 PAV
	montagem formas	9 PAV
	concretagem	9 PAV
	escoramento 50%	7 PAV
	escoramento 25%	6 PAV
10	montagem escoramento	10 PAV

	montagem formas	10	PAV
	concretagem	10	PAV
	escoramento 50%	8	PAV
	escoramento 25%	7	PAV
11	montagem escoramento	11	PAV
	montagem formas	11	PAV
	concretagem	11	PAV
	escoramento 50%	9	PAV
	escoramento 25%	8	PAV
12	montagem escoramento	12	PAV
	montagem formas	12	PAV
	concretagem	12	PAV
	escoramento 50%	10	PAV
	escoramento 25%	9	PAV
13	montagem escoramento	13	PAV
	montagem formas	13	PAV
	concretagem	13	PAV
	escoramento 50%	11	PAV
	escoramento 25%	10	PAV
14	montagem escoramento	14	PAV
	montagem formas	14	PAV
	concretagem	14	PAV
	escoramento 50%	12	PAV
	escoramento 25%	11	PAV
15	montagem escoramento	15	PAV
	montagem formas	15	PAV
	concretagem	15	PAV
	escoramento 50%	13	PAV
	escoramento 25%	12	PAV
16	montagem escoramento	16	PAV
	montagem formas	16	PAV
	concretagem	16	PAV
	escoramento 50%	14	PAV
	escoramento 25%	13	PAV
17	montagem escoramento	17	PAV
	montagem formas	17	PAV
	concretagem	17	PAV
	escoramento 50%	15	PAV
	escoramento 25%	14	PAV
18	montagem escoramento	18	PAV
	montagem formas	18	PAV

	concretagem	18 PAV
	escoramento 50%	16 PAV
	escoramento 25%	15 PAV
19	montagem escoramento	19 PAV
	montagem formas	19 PAV
	concretagem	19 PAV
	escoramento 50%	17 PAV
	escoramento 25%	16 PAV
20	montagem escoramento	20 PAV
	montagem formas	20 PAV
	concretagem	20 PAV
	escoramento 50%	18 PAV
	escoramento 25%	17 PAV
21	escoramento 50%	19 PAV
	escoramento 25%	18 PAV
22	escoramento 50%	20 PAV
	escoramento 25%	19 PAV
23	escoramento 25%	20 PAV

RITMO 3	
SEMANA	TAREFAS
0	montagem escoramento 1 PAV
	montagem formas 1 PAV
1	concretagem 1 PAV
2	desmontagem escoramento 1 PAV
	escoramento 100% 1 PAV
	montagem escoramento 2 PAV
	montagem formas 2 PAV
3	concretagem 2 PAV
	escoramento 50% 1 PAV
4	desmontagem escoramento 2 PAV
	escoramento 100% 2 PAV
	escoramento 25% 1 PAV
	montagem escoramento 3 PAV
	montagem formas 3 PAV
5	concretagem 3 PAV
	escoramento 50% 2 PAV
6	desmontagem escoramento 3 PAV
	escoramento 100% 3 PAV
	escoramento 25% 2 PAV
	montagem escoramento 4 PAV
	montagem formas 4 PAV

7	concretagem	4	PAV
	escoramento 50%	3	PAV
8	desmontagem escoramento	4	PAV
	escoramento 100%	4	PAV
	escoramento 25%	3	PAV
	montagem escoramento	5	PAV
	montagem formas	5	PAV
9	concretagem	5	PAV
	escoramento 50%	4	PAV
10	desmontagem escoramento	5	PAV
	escoramento 100%	5	PAV
	escoramento 25%	4	PAV
	montagem escoramento	6	PAV
	montagem formas	6	PAV
11	concretagem	6	PAV
	escoramento 50%	5	PAV
12	desmontagem escoramento	6	PAV
	escoramento 100%	6	PAV
	escoramento 25%	5	PAV
	montagem escoramento	7	PAV
	montagem formas	7	PAV
13	concretagem	7	PAV
	escoramento 50%	6	PAV
14	desmontagem escoramento	7	PAV
	escoramento 100%	7	PAV
	escoramento 25%	6	PAV
	montagem escoramento	8	PAV
	montagem formas	8	PAV
15	concretagem	8	PAV
	escoramento 50%	7	PAV
16	desmontagem escoramento	8	PAV
	escoramento 100%	8	PAV
	escoramento 25%	7	PAV
	montagem escoramento	9	PAV
	montagem formas	9	PAV
17	concretagem	9	PAV
	escoramento 50%	8	PAV
18	desmontagem escoramento	9	PAV
	escoramento 100%	9	PAV
	escoramento 25%	8	PAV
	montagem escoramento	10	PAV

	montagem formas	10	PAV
19	concretagem	10	PAV
	escoramento 50%	9	PAV
20	desmontagem escoramento	10	PAV
	escoramento 100%	10	PAV
	escoramento 25%	9	PAV
	montagem escoramento	11	PAV
	montagem formas	11	PAV
21	concretagem	11	PAV
	escoramento 50%	10	PAV
22	desmontagem escoramento	11	PAV
	escoramento 100%	11	PAV
	escoramento 25%	10	PAV
	montagem escoramento	12	PAV
	montagem formas	12	PAV
23	concretagem	12	PAV
	escoramento 50%	11	PAV
24	desmontagem escoramento	12	PAV
	escoramento 100%	12	PAV
	escoramento 25%	11	PAV
	montagem escoramento	13	PAV
	montagem formas	13	PAV
25	concretagem	13	PAV
	escoramento 50%	12	PAV
26	desmontagem escoramento	13	PAV
	escoramento 100%	13	PAV
	escoramento 25%	12	PAV
	montagem escoramento	14	PAV
	montagem formas	14	PAV
27	concretagem	14	PAV
	escoramento 50%	13	PAV
28	desmontagem escoramento	14	PAV
	escoramento 100%	14	PAV
	escoramento 25%	13	PAV
	montagem escoramento	15	PAV
	montagem formas	15	PAV
29	concretagem	15	PAV
	escoramento 50%	14	PAV
30	desmontagem escoramento	15	PAV
	escoramento 100%	15	PAV
	escoramento 25%	14	PAV

	montagem escoramento 16 PAV montagem formas 16 PAV
31	concretagem 16 PAV escoramento 50% 15 PAV
32	desmontagem escoramento 16 PAV escoramento 100% 16 PAV escoramento 25% 15 PAV montagem escoramento 17 PAV montagem formas 17 PAV
33	concretagem 17 PAV escoramento 50% 16 PAV
34	desmontagem escoramento 17 PAV escoramento 100% 17 PAV escoramento 25% 16 PAV montagem escoramento 18 PAV montagem formas 18 PAV
35	concretagem 18 PAV escoramento 50% 17 PAV
36	desmontagem escoramento 18 PAV escoramento 100% 18 PAV escoramento 25% 17 PAV montagem escoramento 19 PAV montagem formas 19 PAV
37	concretagem 19 PAV escoramento 50% 18 PAV
38	desmontagem escoramento 19 PAV escoramento 100% 19 PAV escoramento 25% 18 PAV montagem escoramento 20 PAV montagem formas 20 PAV
39	concretagem 20 PAV escoramento 50% 19 PAV
40	desmontagem escoramento 20 PAV escoramento 100% 20 PAV escoramento 25% 19 PAV
41	escoramento 50% 20 PAV
42	escoramento 25% 20 PAV

RITMO 4	
SEMANA	TAREFAS
0	montagem escoramento 1 1 PAV
	montagem formas 1 1 PAV
1	concretagem 1 PAV
2	montagem escoramento 2 2 PAV
	montagem formas 2 2 PAV
3	desmontagem escoramento 1 1 PAV
	desmontagem formas 1 1 PAV
	reescoramento 50% 1 PAV
	concretagem 2 PAV
4	montagem escoramento 1 3 PAV
	montagem formas 1 3 PAV
	escoramento 25% 1 PAV
5	desmontagem escoramento 2 2 PAV
	desmontagem formas 2 2 PAV
	reescoramento 50% 2 PAV
	concretagem 3 PAV
6	montagem escoramento 2 4 PAV
	montagem formas 2 4 PAV
	escoramento 25% 2 PAV
7	desmontagem escoramento 1 3 PAV
	desmontagem formas 1 3 PAV
	reescoramento 50% 3 PAV
	concretagem 4 PAV
8	montagem escoramento 1 5 PAV
	montagem formas 1 5 PAV
	escoramento 25% 3 PAV
9	desmontagem escoramento 2 4 PAV
	desmontagem formas 2 4 PAV
	reescoramento 50% 4 PAV
	concretagem 5 PAV
10	montagem escoramento 2 6 PAV
	montagem formas 2 6 PAV
	escoramento 25% 4 PAV
11	desmontagem escoramento 1 5 PAV
	desmontagem formas 1 5 PAV
	reescoramento 50% 5 PAV
	concretagem 6 PAV
12	montagem escoramento 1 7 PAV
	montagem formas 1 7 PAV
	escoramento 25% 5 PAV
13	desmontagem escoramento 2 6 PAV

	desmontagem formas 2	6	PAV
	reescoramento 50%	6	PAV
	concretagem	7	PAV
14	montagem escoramento 2	8	PAV
	montagem formas 2	8	PAV
	escoramento 25%	6	PAV
15	desmontagem escoramento 1	7	PAV
	desmontagem formas 1	7	PAV
	reescoramento 50%	7	PAV
	concretagem	8	PAV
16	montagem escoramento 1	9	PAV
	montagem formas 1	9	PAV
	escoramento 25%	7	PAV
17	desmontagem escoramento 2	8	PAV
	desmontagem formas 2	8	PAV
	reescoramento 50%	8	PAV
	concretagem	9	PAV
18	montagem escoramento 2	10	PAV
	montagem formas 2	10	PAV
	escoramento 25%	8	PAV
19	desmontagem escoramento 1	9	PAV
	desmontagem formas 1	9	PAV
	reescoramento 50%	9	PAV
	concretagem	10	PAV
20	montagem escoramento 1	11	PAV
	montagem formas 1	11	PAV
	escoramento 25%	9	PAV
21	desmontagem escoramento 2	10	PAV
	desmontagem formas 2	10	PAV
	reescoramento 50%	10	PAV
	concretagem	11	PAV
22	montagem escoramento 2	12	PAV
	montagem formas 2	12	PAV
	escoramento 25%	10	PAV
23	desmontagem escoramento 1	11	PAV
	desmontagem formas 1	11	PAV
	reescoramento 50%	11	PAV
	concretagem	12	PAV
24	montagem escoramento 1	13	PAV
	montagem formas 1	13	PAV
	escoramento 25%	11	PAV

25	desmontagem escoramento 2 12 PAV
	desmontagem formas 2 12 PAV
	reescoramento 50% 12 PAV
	concretagem 13 PAV
26	montagem escoramento 2 14 PAV
	montagem formas 2 14 PAV
	escoramento 25% 12 PAV
27	desmontagem escoramento 1 13 PAV
	desmontagem formas 1 13 PAV
	reescoramento 50% 13 PAV
	concretagem 14 PAV
28	montagem escoramento 1 15 PAV
	montagem formas 1 15 PAV
	escoramento 25% 13 PAV
29	desmontagem escoramento 2 14 PAV
	desmontagem formas 2 14 PAV
	reescoramento 50% 14 PAV
	concretagem 15 PAV
30	montagem escoramento 2 16 PAV
	montagem formas 2 16 PAV
	escoramento 25% 14 PAV
31	desmontagem escoramento 1 15 PAV
	desmontagem formas 1 15 PAV
	reescoramento 50% 15 PAV
	concretagem 16 PAV
32	montagem escoramento 1 17 PAV
	montagem formas 1 17 PAV
	escoramento 25% 15 PAV
33	desmontagem escoramento 2 16 PAV
	desmontagem formas 2 16 PAV
	reescoramento 50% 16 PAV
	concretagem 17 PAV
34	montagem escoramento 2 18 PAV
	montagem formas 2 18 PAV
	escoramento 25% 16 PAV
35	desmontagem escoramento 1 17 PAV
	desmontagem formas 1 17 PAV
	reescoramento 50% 17 PAV
	concretagem 18 PAV
36	montagem escoramento 1 19 PAV
	montagem formas 1 19 PAV

	escoramento 25% 17 PAV
37	desmontagem escoramento 2 18 PAV
	desmontagem formas 2 18 PAV
	reescoramento 50% 18 PAV
	concretagem 19 PAV
38	montagem escoramento 2 20 PAV
	montagem formas 2 20 PAV
	escoramento 25% 18 PAV
39	desmontagem escoramento 1 19 PAV
	desmontagem formas 1 19 PAV
	reescoramento 50% 19 PAV
	concretagem 20 PAV
40	escoramento 25% 19 PAV
41	desmontagem escoramento 2 20 PAV
	desmontagem formas 2 20 PAV
	reescoramento 50% 20 PAV
42	escoramento 25% 20 PAV

APÊNDICE C – CUSTOS POR EDIFÍCIO

3X3

Item	Valor Unitário	Unidade	Quantidade	Total	Total/Pavimento
Escoramento e reescoramento de formas laje maciça	R\$ 7,00	m ²	9000	R\$ 63.000,00	R\$ 3.150,00
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 15,00	m ²	3472,08	R\$ 52.081,20	R\$ 2.604,06
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³	1420,7	R\$ 525.659,00	R\$ 26.282,95
Aço φ5mm	R\$ 7,72	kg	10585,6	R\$ 81.720,83	R\$ 4.086,04
Aço φ6,3mm	R\$ 7,38	kg	53385,3	R\$ 393.983,51	R\$ 19.699,18
Aço φ8mm	R\$ 7,38	kg	25,1	R\$ 185,24	R\$ 9,26
Aço φ10mm	R\$ 7,07	kg	15137,5	R\$ 107.022,13	R\$ 5.351,11
Aço φ12,5mm	R\$ 6,79	kg	24751,1	R\$ 168.059,97	R\$ 8.403,00
Aço φ16mm	R\$ 6,79	kg	24836,4	R\$ 168.639,16	R\$ 8.431,96
Aço φ20mm	R\$ 6,45	kg	16985,1	R\$ 109.553,90	R\$ 5.477,69
Aço φ25mm	R\$ 6,45	kg	1024,9	R\$ 6.610,61	R\$ 330,53
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto	1420,7	R\$ 852.420,00	R\$ 42.621,00
			TOTAL	R\$ 2.528.935,53	R\$ 126.446,78

RITMO 1

Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	20	1	450	R\$ 1.350,00	R\$ 27.000,00

Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/sem ana	20	1	345	R\$ 862,50	R\$ 17.250,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /sem ana	20	1,75	450	R\$ 1.575,00	R\$ 31.500,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/sem ana	20	1,75	345	R\$ 1.056,56	R\$ 21.131,25
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			413,09	R\$ 1.239,27	R\$ 24.785,40
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./se mana	20	1	800	R\$ 1.120,00	R\$ 22.400,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			85,365	R\$ 31.585,05	R\$ 631.701,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			540,445	R\$ 4.172,24	R\$ 83.444,71
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			790,17	R\$ 5.831,45	R\$ 116.629,09
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			744,205	R\$ 5.492,23	R\$ 109.844,66
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			1272,265	R\$ 8.994,91	R\$ 179.898,27
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1090,73	R\$ 7.406,06	R\$ 148.121,13
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1216,045	R\$ 8.256,95	R\$ 165.138,91
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1194,92	R\$ 7.707,23	R\$ 154.144,68
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			96,325	R\$ 621,30	R\$ 12.425,93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			85,365	R\$ 51.219,00	R\$ 1.024.380,00
TOTAL						R\$ 138.489,75	R\$ 2.769.795,03

RITMO 2							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	20	2	450	R\$ 2.700,00	R\$ 54.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	20	2	345	R\$ 1.725,00	R\$ 34.500,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	20	0,75	787,5	R\$ 1.181,25	R\$ 23.625,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	20	0,75	603,75	R\$ 792,42	R\$ 15.848,44
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			413,09	R\$ 1.239,27	R\$ 24.785,40
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	20	2	800	R\$ 2.240,00	R\$ 44.800,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			85,365	R\$ 31.585,05	R\$ 631.701,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			540,445	R\$ 4.172,24	R\$ 83.444,71
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			790,17	R\$ 5.831,45	R\$ 116.629,09
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			744,205	R\$ 5.492,23	R\$ 109.844,66
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			1272,265	R\$ 8.994,91	R\$ 179.898,27
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1090,73	R\$ 7.406,06	R\$ 148.121,13
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1216,045	R\$ 8.256,95	R\$ 165.138,91
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1194,92	R\$ 7.707,23	R\$ 154.144,68

Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			96,325	R\$ 621,30	R\$ 12.425,93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			85,365	R\$ 51.219,00	R\$ 1.024.380,00
TOTAL						R\$ 141.164,36	R\$ 2.823.287,22

RITMO 3

Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	40	1	450	R\$ 2.700,00	R\$ 54.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	40	1	345	R\$ 1.725,00	R\$ 34.500,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	40	1,25	787,5	R\$ 3.937,50	R\$ 78.750,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	40	1,25	603,75	R\$ 2.641,41	R\$ 52.828,13
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			413,09	R\$ 1.239,27	R\$ 24.785,40
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	40	1	800	R\$ 2.240,00	R\$ 44.800,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			85,365	R\$ 31.585,05	R\$ 631.701,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			540,445	R\$ 4.172,24	R\$ 83.444,71
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			790,17	R\$ 5.831,45	R\$ 116.629,09
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			744,205	R\$ 5.492,23	R\$ 109.844,66
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			1272,265	R\$ 8.994,91	R\$ 179.898,27

Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1090,73	R\$ 7.406,06	R\$ 148.121,13
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1216,045	R\$ 8.256,95	R\$ 165.138,91
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1194,92	R\$ 7.707,23	R\$ 154.144,68
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			96,325	R\$ 621,30	R\$ 12.425,93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			85,365	R\$ 51.219,00	R\$ 1.024.380,00
TOTAL						R\$ 145.769,60	R\$ 2.915.391,90

RITMO 4

Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	40	2	450	R\$ 5.400,00	R\$ 108.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	40	2	345	R\$ 3.450,00	R\$ 69.000,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	40	0,75	787,5	R\$ 2.362,50	R\$ 47.250,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	40	0,75	603,75	R\$ 1.584,84	R\$ 31.696,88
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			413,09	R\$ 1.239,27	R\$ 24.785,40
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	40	2	800	R\$ 4.480,00	R\$ 89.600,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			85,365	R\$ 31.585,05	R\$ 631.701,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			540,445	R\$ 4.172,24	R\$ 83.444,71

Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			790,17	R\$ 5.831,45	R\$ 116.629, 09
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			744,205	R\$ 5.492,23	R\$ 109.844, 66
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			1272,265	R\$ 8.994,91	R\$ 179.898, 27
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1090,73	R\$ 7.406,06	R\$ 148.121, 13
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1216,045	R\$ 8.256,95	R\$ 165.138, 91
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1194,92	R\$ 7.707,23	R\$ 154.144, 68
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			96,325	R\$ 621,30	R\$ 12.425,9 3
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concret o			85,365	R\$ 51.219,0 0	R\$ 1.024.38 0,00
TOTAL						R\$ 149.803, 03	R\$ 2.996.06 0,65

5X5

Item	Valor Unitário	Unidade	Quantidade	Total	Total/Pavimento
Escoramento e reescoramento de formas laje maciça	R\$ 7,00	m ²	9000	R\$ 63.000,00	R\$ 3.150,00
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 15,00	m ²	3103,5	R\$ 46.552,50	R\$ 2.327,63
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³	1506,9	R\$ 557.553,00	R\$ 27.877,65
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg	6354,9	R\$ 49.059,83	R\$ 2.452,99
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg	50364,3	R\$ 371.688,53	R\$ 18.584,43
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg	17190,9	R\$ 126.868,84	R\$ 6.343,44
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg	11926,4	R\$ 84.319,65	R\$ 4.215,98
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg	13498,3	R\$ 91.653,46	R\$ 4.582,67

Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg	17485, 8	R\$ 118.728,58	R\$ 5.936,43
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg	39606, 5	R\$ 255.461,93	R\$ 12.773,10
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg	20490, 6	R\$ 132.164,37	R\$ 6.608,22
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concr eto	1506,9	R\$ 904.140,00	R\$ 45.207,00
			TOTAL	R\$ 2.801.190,6 9	R\$ 140.059,53

RITMO 1							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	20	1	450	R\$ 1.350,00	R\$ 27.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	20	1	225	R\$ 562,50	R\$ 11.250,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	20	1,75	450	R\$ 1.575,00	R\$ 31.500,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	20	1,75	225	R\$ 689,06	R\$ 13.781,25
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			329,64	R\$ 988,92	R\$ 19.778,40
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	20	1	800	R\$ 1.120,00	R\$ 22.400,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			80,67	R\$ 29.847,90	R\$ 596.958,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			363,365	R\$ 2.805,18	R\$ 56.103,56
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			897,75	R\$ 6.625,40	R\$ 132.507,90
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			582,73	R\$ 4.300,55	R\$ 86.010,95
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			429,275	R\$ 3.034,97	R\$ 60.699,49

Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1155,0 1	R\$ 7.842,5 2	R\$ 156.850, 36
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1002,1 05	R\$ 6.804,2 9	R\$ 136.085, 86
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			2007,7 15	R\$ 12.949, 76	R\$ 258.995, 24
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			891,17	R\$ 5.748,0 5	R\$ 114.960, 93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concret o			80,67	R\$ 48.402, 00	R\$ 968.040, 00
TOTAL						R\$ 134.64 6,10	R\$ 2.692.92 1,92

RITMO 2							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	20	2	450	R\$ 2.700,0 0	R\$ 54.000,0 0
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	20	2	345	R\$ 1.725,0 0	R\$ 34.500,0 0
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	20	0,75	787,5	R\$ 1.181,2 5	R\$ 23.625,0 0
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	20	0,75	603,75	R\$ 792,42	R\$ 15.848,4 4
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			329,64	R\$ 988,92	R\$ 19.778,4 0
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	20	2	800	R\$ 2.240,0 0	R\$ 44.800,0 0
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			80,67	R\$ 29.847, 90	R\$ 596.958, 00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			363,36 5	R\$ 2.805,1 8	R\$ 56.103,5 6

Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			897,75	R\$ 6.625,4 0	R\$ 132.507, 90
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			582,73	R\$ 4.300,5 5	R\$ 86.010,9 5
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			429,27 5	R\$ 3.034,9 7	R\$ 60.699,4 9
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1155,0 1	R\$ 7.842,5 2	R\$ 156.850, 36
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1002,1 05	R\$ 6.804,2 9	R\$ 136.085, 86
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			2007,7 15	R\$ 12.949, 76	R\$ 258.995, 24
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			891,17	R\$ 5.748,0 5	R\$ 114.960, 93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concret o			80,67	R\$ 48.402, 00	R\$ 968.040, 00
TOTAL						R\$ 137.98 8,21	R\$ 2.759.76 4,11

RITMO 3							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	40	1	450	R\$ 2.700,0 0	R\$ 54.000,0 0
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	40	1	345	R\$ 1.725,0 0	R\$ 34.500,0 0
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	40	1,25	787,5	R\$ 3.937,5 0	R\$ 78.750,0 0
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	40	1,25	603,75	R\$ 2.641,4 1	R\$ 52.828,1 3
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			329,64	R\$ 988,92	R\$ 19.778,4 0

Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	40	1	800	R\$ 2.240,00	R\$ 44.800,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			80,67	R\$ 29.847,90	R\$ 596.958,00
Aço φ5mm	R\$ 7,72	kg			363,365	R\$ 2.805,18	R\$ 56.103,56
Aço φ6,3mm	R\$ 7,38	kg			897,75	R\$ 6.625,40	R\$ 132.507,90
Aço φ8mm	R\$ 7,38	kg			582,73	R\$ 4.300,55	R\$ 86.010,95
Aço φ10mm	R\$ 7,07	kg			429,275	R\$ 3.034,97	R\$ 60.699,49
Aço φ12,5mm	R\$ 6,79	kg			1155,01	R\$ 7.842,52	R\$ 156.850,36
Aço φ16mm	R\$ 6,79	kg			1002,105	R\$ 6.804,29	R\$ 136.085,86
Aço φ20mm	R\$ 6,45	kg			2007,715	R\$ 12.949,76	R\$ 258.995,24
Aço φ25mm	R\$ 6,45	kg			891,17	R\$ 5.748,05	R\$ 114.960,93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			80,67	R\$ 48.402,00	R\$ 968.040,00
TOTAL						R\$ 142.593,44	R\$ 2.851.868,80

RITMO 4							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	40	2	450	R\$ 5.400,00	R\$ 108.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	40	2	345	R\$ 3.450,00	R\$ 69.000,00

Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	40	0,75	787,5	R\$ 2.362,50	R\$ 47.250,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	40	0,75	603,75	R\$ 1.584,84	R\$ 31.696,88
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			329,64	R\$ 988,92	R\$ 19.778,40
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	40	2	800	R\$ 4.480,00	R\$ 89.600,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			80,67	R\$ 29.847,90	R\$ 596.958,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			363,365	R\$ 2.805,18	R\$ 56.103,56
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			897,75	R\$ 6.625,40	R\$ 132.507,90
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			582,73	R\$ 4.300,55	R\$ 86.010,95
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			429,275	R\$ 3.034,97	R\$ 60.699,49
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			1155,01	R\$ 7.842,52	R\$ 156.850,36
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1002,105	R\$ 6.804,29	R\$ 136.085,86
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			2007,715	R\$ 12.949,76	R\$ 258.995,24
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			891,17	R\$ 5.748,05	R\$ 114.960,93
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			80,67	R\$ 48.402,00	R\$ 968.040,00
					TOTAL	R\$ 146.626,88	R\$ 2.932.537,55

7,5X7,5

Item	Valor Unitário	Unidade	Quantidade	Total	Total/Pavimento	
Escoramento e reescoramento de formas laje maciça	R\$ 7,00	m ²	9000	R\$ 63.000,00	R\$ 3.150,00	
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 15,00	m ²	2912,74	R\$ 43.691,10	R\$ 2.184,56	
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³	2194,6	R\$ 812.002,00	R\$ 40.600,10	
Aço φ5mm	R\$ 7,72	kg	4641,7	R\$ 35.833,92	R\$ 1.791,70	
Aço φ6,3mm	R\$ 7,38	kg	27351,1	R\$ 201.851,12	R\$ 10.092,56	
Aço φ8mm	R\$ 7,38	kg	36719,2	R\$ 270.987,70	R\$ 13.549,38	
Aço φ10mm	R\$ 7,07	kg	46107,7	R\$ 325.981,44	R\$ 16.299,07	
Aço φ12,5mm	R\$ 6,79	kg	10592,5	R\$ 71.923,08	R\$ 3.596,15	
Aço φ16mm	R\$ 6,79	kg	15380,2	R\$ 104.431,56	R\$ 5.221,58	
Aço φ20mm	R\$ 6,45	kg	30684,2	R\$ 197.913,09	R\$ 9.895,65	
Aço φ25mm	R\$ 6,45	kg	58229,3	R\$ 375.578,99	R\$ 18.778,95	
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto	2194,6	R\$ 1.316.760,00	R\$ 65.838,00	
				TOTAL	R\$ 3.819.953,99	R\$ 190.997,70

RITMO 1

Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	20	1	450	R\$ 1.350,00	R\$ 27.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	20	1	165	R\$ 412,50	R\$ 8.250,00

Lajes maciças e nervuradas: impacto sobre os custos da estrutura de um edifício considerando diferentes ritmos de execução

Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	20	1,75	450	R\$ 1.575,00	R\$ 31.500,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	20	1,75	165	R\$ 505,31	R\$ 10.106,25
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			295,135	R\$ 885,41	R\$ 17.708,10
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	20	1	800	R\$ 1.120,00	R\$ 22.400,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			93,41	R\$ 34.561,70	R\$ 691.234,00
Aço φ5mm	R\$ 7,72	kg			214,28	R\$ 1.654,24	R\$ 33.084,83
Aço φ6,3mm	R\$ 7,38	kg			577,825	R\$ 4.264,35	R\$ 85.286,97
Aço φ8mm	R\$ 7,38	kg			1074,09	R\$ 7.926,78	R\$ 158.535,68
Aço φ10mm	R\$ 7,07	kg			667,94	R\$ 4.722,34	R\$ 94.446,72
Aço φ12,5mm	R\$ 6,79	kg			692,685	R\$ 4.703,33	R\$ 94.066,62
Aço φ16mm	R\$ 6,79	kg			1464,65	R\$ 9.944,97	R\$ 198.899,47
Aço φ20mm	R\$ 6,45	kg			1347,62	R\$ 8.692,15	R\$ 173.842,98
Aço φ25mm	R\$ 6,45	kg			1824,715	R\$ 11.769,41	R\$ 235.388,24
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			93,41	R\$ 56.046,00	R\$ 1.120.920,00
TOTAL						R\$ 150.133,49	R\$ 3.002.669,86

RITMO 2

Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
------	----------------	---------	---------	------------	------------	-----------------	-------

Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	20	2	450	R\$ 2.700,00	R\$ 54.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	20	2	345	R\$ 1.725,00	R\$ 34.500,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	20	0,75	787,5	R\$ 1.181,25	R\$ 23.625,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	20	0,75	603,75	R\$ 792,42	R\$ 15.848,44
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			295,135	R\$ 885,41	R\$ 17.708,10
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	20	2	800	R\$ 2.240,00	R\$ 44.800,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			93,41	R\$ 34.561,70	R\$ 691.234,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			214,28	R\$ 1.654,24	R\$ 33.084,83
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			577,825	R\$ 4.264,35	R\$ 85.286,97
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			1074,09	R\$ 7.926,78	R\$ 158.535,68
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			667,94	R\$ 4.722,34	R\$ 94.446,72
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			692,685	R\$ 4.703,33	R\$ 94.066,62
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1464,65	R\$ 9.944,97	R\$ 198.899,47
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1347,62	R\$ 8.692,15	R\$ 173.842,98
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			1824,715	R\$ 11.769,41	R\$ 235.388,24
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			93,41	R\$ 56.046,00	R\$ 1.120.920,00

TOTAL	R\$ 153.809,35	R\$ 3.076.187,05
--------------	---------------------------------	-----------------------------------

RITMO 3							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	40	1	450	R\$ 2.700,00	R\$ 54.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	40	1	345	R\$ 1.725,00	R\$ 34.500,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	40	1,25	787,5	R\$ 3.937,50	R\$ 78.750,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	40	1,25	603,75	R\$ 2.641,41	R\$ 52.828,13
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			295,135	R\$ 885,41	R\$ 17.708,10
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	40	1	800	R\$ 2.240,00	R\$ 44.800,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			93,41	R\$ 34.561,70	R\$ 691.234,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			214,28	R\$ 1.654,24	R\$ 33.084,83
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			577,825	R\$ 4.264,35	R\$ 85.286,97
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			1074,09	R\$ 7.926,78	R\$ 158.535,68
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			667,94	R\$ 4.722,34	R\$ 94.446,72
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			692,685	R\$ 4.703,33	R\$ 94.066,62
Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1464,65	R\$ 9.944,97	R\$ 198.899,47
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1347,62	R\$ 8.692,15	R\$ 173.842,98

Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			1824,75	R\$ 11.769,41	R\$ 235.388,24
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concreto			93,41	R\$ 56.046,00	R\$ 1.120.920,00
					TOTAL	R\$ 158.414,59	R\$ 3.168.291,74

RITMO 4							
Item	Valor Unitário	Unidade	Semanas	Qtd/semana	Quantidade	Total/pavimento	Total
Escoramento de lajes nervuradas	R\$ 3,00	m ² /semana	40	2	450	R\$ 5.400,00	R\$ 108.000,00
Escoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 2,50	ml/semana	40	2	345	R\$ 3.450,00	R\$ 69.000,00
Reescoramento de lajes nervuradas	R\$ 2,00	m ² /semana	40	0,75	787,5	R\$ 2.362,50	R\$ 47.250,00
Reescoramento de vigas em lajes nervuradas	R\$ 1,75	ml/semana	40	0,75	603,75	R\$ 1.584,84	R\$ 31.696,88
Fôrmas de compensado com 5 reusos	R\$ 3,00	m ²			295,135	R\$ 885,41	R\$ 17.708,10
Fôrmas para laje nervurada (cubetas)	R\$ 1,40	unid./semana	40	2	800	R\$ 4.480,00	R\$ 89.600,00
Concreto fck=35Mpa	R\$ 370,00	m ³			93,41	R\$ 34.561,70	R\$ 691.234,00
Aço ϕ 5mm	R\$ 7,72	kg			214,28	R\$ 1.654,24	R\$ 33.084,83
Aço ϕ 6,3mm	R\$ 7,38	kg			577,825	R\$ 4.264,35	R\$ 85.286,97
Aço ϕ 8mm	R\$ 7,38	kg			1074,09	R\$ 7.926,78	R\$ 158.535,68
Aço ϕ 10mm	R\$ 7,07	kg			667,94	R\$ 4.722,34	R\$ 94.446,72
Aço ϕ 12,5mm	R\$ 6,79	kg			692,685	R\$ 4.703,33	R\$ 94.066,62

Lajes maciças e nervuradas: impacto sobre os custos da estrutura de um edifício considerando diferentes ritmos de execução

Aço ϕ 16mm	R\$ 6,79	kg			1464,6 5	R\$ 9.944,97	R\$ 198.899, 47
Aço ϕ 20mm	R\$ 6,45	kg			1347,6 2	R\$ 8.692,15	R\$ 173.842, 98
Aço ϕ 25mm	R\$ 6,45	kg			1824,7 15	R\$ 11.769,41	R\$ 235.388, 24
Mão de obra global	R\$ 600,00	m ³ concret o			93,41	R\$ 56.046,00	R\$ 1.120.92 0,00
					TOTA L	R\$ 162.448,0 2	R\$ 3.248.96 0,49