

35 **ABSTRACT:**

36 The conventional structural model (column-beam-slab) is the most applied in the construction,
37 however, other structural systems, such as the flat slab system, has increasingly gained space. The
38 main difference between the two models is the lack of beams in the second, making it possible to
39 design larger buildings. According to the Brazilian standard ABNT NBR 6118: 2014 – “Projeto de
40 estruturas de concreto – Procedimento”, it should be taken extra care with the punching phenomenon,
41 which occurs to a greater degree in the flat slabs and, may demand shear reinforcement. Both
42 structural models were evaluated considering their applicability and pointing out advantages and
43 disadvantages of each one. The objective of this study was to compare the design of a 14-storey hotel
44 using the two methods, evaluating the consumption of steel, concrete and wood forms in each model,
45 as well as labor costs. It was designed by the conventional method and by the structural model of flat
46 slabs, verifying the need for shear reinforcement with critical surface analysis, such as shear
47 reinforcement design. Therefore, a total cost of R\$ 212,484.12 and R\$ 247,009.20, respectively, was
48 considered for design with conventional structure and flat slabs. This difference is due to the increased
49 slab thickness and the higher steel consumption in the flexural reinforcement in the second method.
50 However, less steel and wood forms wastage, shorter execution time, easy assembly and concrete
51 pouring should be taken into account in the choice of the structural system.

52 **Keywords:** *Punching, reinforced concrete, shear reinforcement.*

53

54 **1 INTRODUÇÃO**

55 Com o avanço tecnológico foi possível ter mais informações sobre o comportamento das
56 estruturas, realizando análises mais complexas e, conseqüentemente, obtendo melhor desempenho
57 das construções. Desse modo, foi possível desenvolver concretos de alta resistência e novos modelos
58 estruturais que possibilitam maior liberdade arquitetônica (ALBUQUERQUE, 1999).

59 O dimensionamento de estruturas de concreto é realizado a fim de evitar que a ruptura dos
60 elementos, quando atingirem o estado limite último, não ocorra de forma frágil sem aviso prévio,
61 pois, é desejável que a ruptura seja dúctil (SANTOS, 2016). Para a construção de uma nova edificação
62 um dos primeiros passos é determinar o modelo estrutural a ser adotado que atenda às necessidades
63 existentes e ofereça o melhor custo-benefício. O aperfeiçoamento do processo construtivo se inicia
64 na melhoria da qualidade dos projetos de engenharia, dentre outros projetos necessários para a
65 construção da obra, destaca-se o estrutural. Os elementos estruturais correspondem a etapa com maior
66 porcentagem sobre o custo total da obra, em média de 15 a 25%. Portanto, a escolha correta e bem
67 feita do modelo estrutural associado a projeto estrutural de qualidade, podem resultar em grande
68 economia futura (NUNES; JUNGS, 2008).

69 Desse modo, buscando construções mais eficientes, elegantes e econômicas, o sistema
70 estrutural convencional, pilar-viga-laje, tem sido substituído pelo sistema de pilar-laje, que é uma
71 solução construtiva ainda pouco utilizada no Brasil, mas que vem crescendo nos últimos anos devido
72 à suas características. Esse sistema estrutural é comumente chamado de lajes lisas e sua principal
73 característica é a ausência de vigas. Em virtude dessa particularidade, a quantidade de pilares
74 necessárias na obra pode ser menor, logo, obtém-se vãos maiores, que deixarão o *layout* da edificação
75 mais versátil e amplo. Além disso, pela inexistência de vigas pode ocorrer a diminuição na altura
76 final, menor quantidade de fôrmas, que proporcionam maior facilidade na armação das lajes, redução
77 do custo de mão de obra, diminuição do consumo de materiais e menor prazo de execução
78 (JUNIOR, 2009).

79 De acordo com Lourenço (2018), a não utilização de vigas pode gerar deslocamentos verticais, o que
80 pode tornar necessário à utilização de armadura ativa (protensão) na barra de aço. Além disso, pode
81 ocorrer a diminuição na estabilidade global da estrutura e, por conseguinte, a necessidade de uma
82 vinculação da laje às paredes estruturais ou a utilização de vínculos rígidos.

83 O presente trabalho teve como objetivo comparar o dimensionamento de um pavimento de um
84 hotel por meio de dois sistemas estruturais, sendo o primeiro modelo convencional com lajes maciças
85 e o segundo utilizando lajes lisas. O objetivo específico do trabalho foi analisar o custo com concreto,
86 fôrmas, aço e mão de obra para cada método.

87

88 **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

89 Neste capítulo são apresentadas definições acerca dos dois sistemas estruturais analisados,
90 expondo suas vantagens e desvantagens e, por último, a verificação da punção segundo a
91 ABNT NBR 6118:2014.

92

93 **2.1 Sistema Convencional com laje maciça**

94 O modelo estrutural convencional, conforme Figura 1, consiste na utilização de lajes que
95 recebem os carregamentos devido aos revestimentos, máquinas e pessoas, transmitindo-os para as
96 vigas. Essas transferem as cargas para os pilares que irão descarregar no sistema de fundação da
97 edificação. Desta forma, o sistema convencional é basicamente composto por laje-viga-pilar, sendo
98 o modelo mais difundido no Brasil. De acordo com Marçal (2014), a laje maciça de concreto é um
99 painel plano de concreto armado, sendo assim o tipo de laje mais presente nas obras devido ao
100 dimensionamento e armações simples.

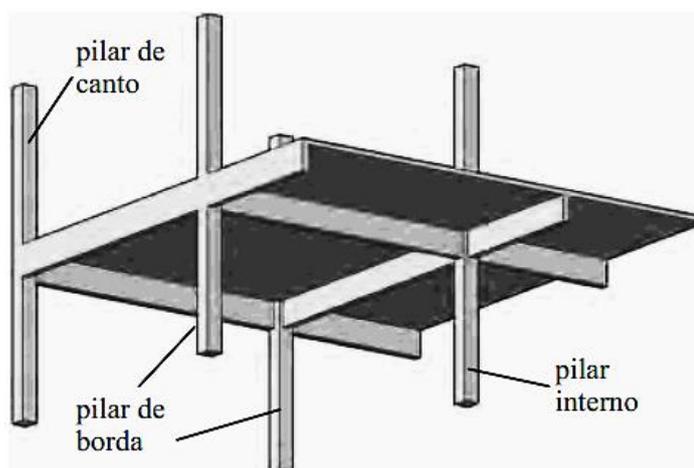


Figura 1 – Sistema Estrutural Convencional.

Fonte: FERREIRA, 2010.

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

Spohr (2008) argumenta que a laje maciça não é ideal para vencer grandes vãos, assim, o vão econômico usualmente adotado apresenta dimensão de três metros e meio a cinco metros. O mesmo autor cita algumas vantagens do sistema convencional:

- a presença de muitas vigas forma pórticos que asseguram boa rigidez à estrutura de contraventamento;
- mão de obra já treinada por ser um sistema amplamente utilizado no país;

Segundo o mesmo autor, o sistema convencional possui algumas desvantagens:

- grande quantidade de vigas deixando a forma do pavimento muito recortada;
- alto consumo de fôrmas e materiais, o que não favorece o reaproveitamento e ocasiona a diminuição da produtividade.

2.2 Lajes Lisas

O sistema estrutural de lajes lisas, conforme Figura 2, consiste na ausência de vigas, onde as lajes se apoiam diretamente sobre os pilares e esses exercem uma força concentrada no painel de laje, o que proporciona tensões cisalhantes, ou seja, punção no entorno do pilar. Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, a punção é um Estado Limite Último (ELU), que ocorre por cisalhamento devido à ação de forças concentradas e a ruptura ocorre com uma carga inferior do que a carga de ruptura à flexão.

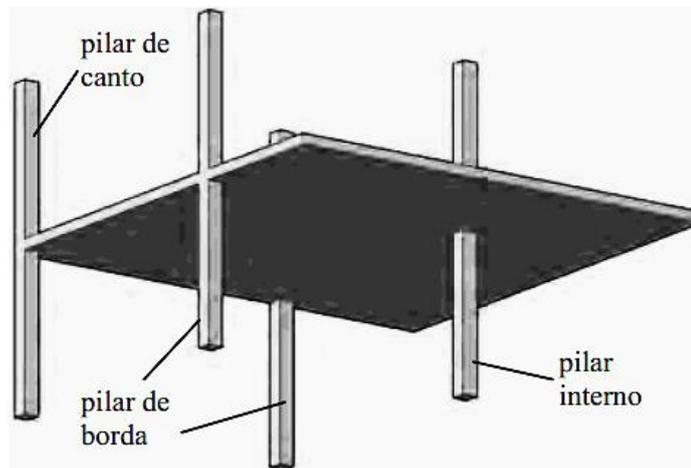


Figura 2 – Laje Lisa.

Fonte: FERREIRA, 2010.

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

De acordo com Moura (2017) o punçonnemento gera inicialmente fissuras radiais na laje, que se direcionam do epicentro das tensões para as extremidades. Aproximando do estado limite de ruptura, ocorrem fissuras tangenciais que partem do centro do apoio com aproximadamente 30° de inclinação em relação ao plano médio da laje, gerando rotação nos elementos da laje, dando forma à uma superfície de tronco de cone ou tronco de pirâmide, como apresentando na Figura 3, tendo uma ruptura frágil, ou seja, sem aviso prévio.

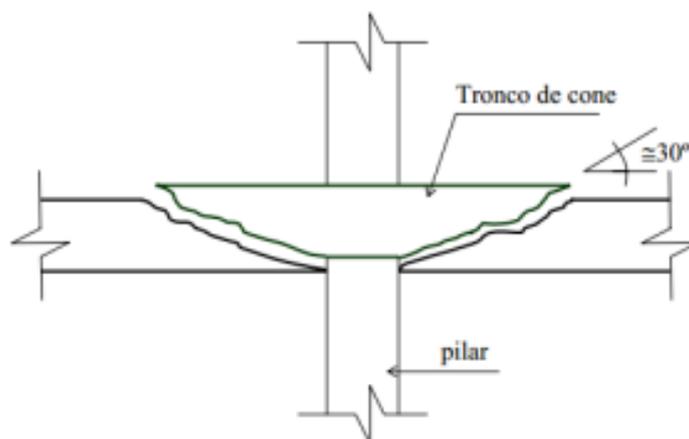


Figura 3 – Ruptura por punção.

Fonte: MOURA, 2017.

134

135

136

137

138 2.2.1 Parâmetros que influenciam na resistência à punção

139

140

141

A ruptura por cisalhamento em estruturas sem armadura de combate à punção, entre outras razões, é guiada pela resistência à compressão do concreto. Tendo concreto com maiores resistências, conseqüentemente, a resistência à punção deve ser maior (FERREIRA, 2010). Além disso, o aumento

142 na taxa de armadura de flexão, aumenta a zona comprimida, obtendo assim, possui uma área maior
143 de concreto sem fissuração para resistir ao cisalhamento (FERREIRA, 2010 *apud* REGAN 1981).

144 De acordo Trautwein (2006), a fim de evitar a ruína da estrutura por punção deve-se diminuir
145 as tensões cisalhantes nas regiões próximas aos pilares, como o uso de capitel na interseção pilar-laje,
146 que atua como reforço nessa área, aumentando a área de contato, resultando na redistribuição das
147 tensões. Também, aumentar a seção do pilar irá diminuir as tensões atuantes, porém, devido à
148 concepção arquitetônica pode não ser possível. Da mesma maneira, a diminuição das tensões pode se
149 dar pelo aumento da resistência da laje, utilizando concreto de alta resistência, porém, essas soluções
150 elevariam o custo com materiais e não seriam soluções eficientes. Assim, atualmente, uma solução
151 que aumenta a resistência à punção de modo satisfatório é o uso de armadura de cisalhamento.

152

153 2.2.2 Armadura de Cisalhamento – *studs*

154 De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 6118:2014, quando necessária, a armadura de
155 cisalhamento deve ser composta por estribos verticais ou conectores tipo pino (*studs*) com prioridade
156 para os *studs*, Figura 4.



157

158

Figura 4 – *Studs*.

159

Fonte: WERNECK, 2017.

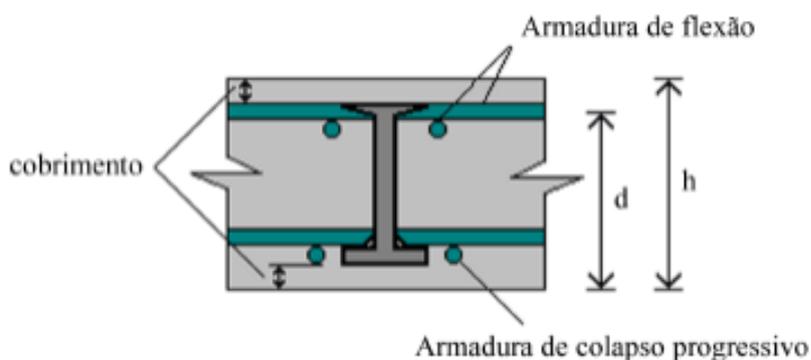
160 Os conectores tipo pino possui extremidades alargadas com intuito de melhorar a ancoragem
161 com o concreto. Algumas características dos *studs* são apresentadas por Figueiredo Filho (1989):

162

- 163 • são fáceis de instalar, mesmo em lajes esbeltas;
- 164 • possibilitam ancoragem mecânica satisfatória nas duas extremidades do pino,
165 possibilitando que a armadura atinja toda a sua capacidade resistente antes da ruptura;
- 166 • aumentam a resistência e a ductilidade da ligação.

167 Segundo Kovalczuk (2014), além de aumentar a resistência à punção a utilização de armadura
168 de cisalhamento pode aumentar a ductilidade da ligação pilar-laje, portanto, a ruptura não se dará de
169 forma frágil, a estrutura se deformará antes de romper.

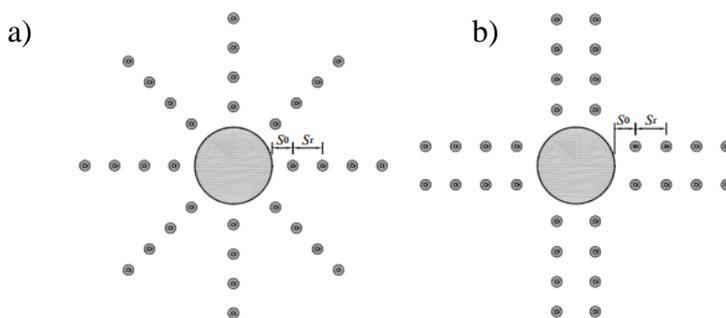
170 Deve-se atentar para posição correta de instalação dos conectores, como mostrado na Figura 5.
171 A chapa da base dos conectores deve estar abaixo das armaduras positivas da laje e a parte superior
172 do conector acima da armadura negativa, ou seja, abrangendo toda a armadura de flexão. Esse cuidado
173 deve ser tomado para que as fissuras passem por essa armadura, assim como foi dimensionado
174 (LIMA, 2001). Kovalczuk (2014) alerta que no momento da montagem da armadura de cisalhamento,
175 deve-se verificar se a montagem está sendo feita de acordo com o projeto, pois, caso contrário, embora
176 não atinja a tensão de ruptura de projeto pode ocorrer ruptura do concreto sem solicitar a armadura
177 de cisalhamento.



178
179 Figura 5 – Posicionamento do *stud*.

180 Fonte: LIMA, 2001.

181 A distribuição da armadura de cisalhamento deve ocorrer de maneira uniforme na região de
182 punção e, preferencialmente, tendo uma distribuição radial em torno da ligação laje-pilar, conforme
183 Figura 6. Contudo, construtivamente, pode não ser possível por conta da existência das armaduras de
184 flexão presente naquela região, assim, a distribuição em cruz é uma solução viável nessa situação
185 (FERREIRA,2010).



186
187 Figura 6 – Distribuição da armadura de cisalhamento.

188 a) distribuição radial. b) distribuição em cruz.

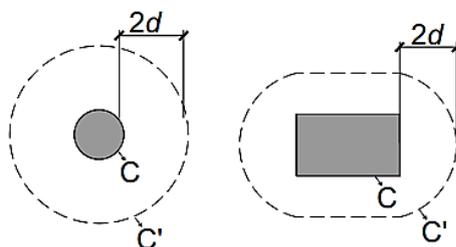
189 Fonte: FERREIRA, 2010.

190 2.3 Verificação de punção em lajes (ABNT NBR 6118:2014)

191 Segundo a norma ABNT NBR 6118:2014, a verificação do cisalhamento deve ser feita em duas
192 ou mais superfícies críticas. Primeiramente, verifica-se a tensão de cisalhamento no contorno do pilar
193 ou da carga concentrada, ou seja, superfície C. Posteriormente, deve-se verificar a resistência à tração
194 diagonal e, também, a tensão de cisalhamento, na superfície C', distante $2d$ do pilar ou carga
195 concentrada. Havendo necessidade de armadura transversal é necessário a verificação na superfície
196 C". O perímetro crítico C" é definido pela superfície distante $2d$ da última camada de conectores.

197
198 2.3.1 Definição da tensão solicitante nas superfícies críticas C e C'

199 O esforço solicitante de cálculo (τ_{sd}) para carregamento simétrico em pilar interno (Figura 7),
200 é dado pela Equação 1, onde os símbolos e suas definições se encontram no Anexo A:



201
202 Figura 7 – Perímetro crítico em pilares internos.

203 Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

204
$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{ud} \quad (1)$$

205 Nas situações onde existe a transferência de momento da laje para o pilar interno, o efeito da
206 assimetria deve ser calculado, segundo a Equação 2.

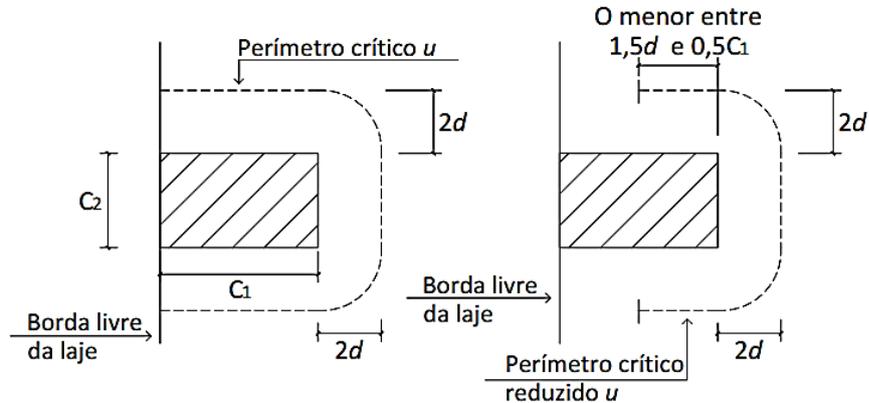
207
208
$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{ud} + \frac{KM_{sd}}{W_p d} \quad (2)$$

209
210 Os valores de K são determinados a partir da Tabela 19.2 da ABNT NBR 6118:2014 e os
211 valores de W_p devem ser calculados para pilares retangulares e circulares, segundo o item 19.5.2.2.
212 No caso de pilares de borda, quando o momento não agir no plano paralelo à borda livre, deve-se
213 calcular segundo as Equações 3 e 4.

214
215
$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u^* d} + \frac{K_1 M_{sd1}}{W_{p1} d} \quad (3)$$

216 Sendo: $M_{sd1} = (M_{sd} - M_{sd*}) \geq 0 \quad (4)$

217 O coeficiente K_1 assume os valores estabelecidos para K na Tabela 19.2 da
 218 ABNT NBR 6118:2014, com C_1 e C_2 estabelecidos na Figura 8.
 219



220
 221 Figura 8 – Perímetro crítico em pilares de borda.

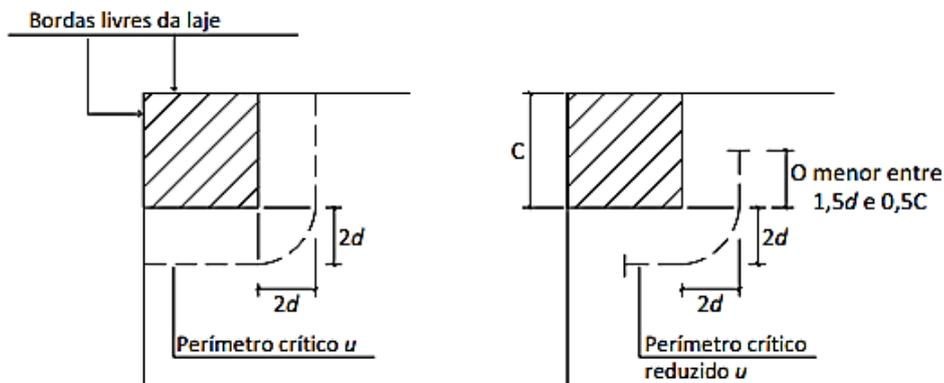
222 Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

223
 224 Quando o momento agir no plano paralelo à borda livre, deve ser calculado de acordo com a
 225 Equação 5.

226
$$\tau_{sd} = \frac{F_{sd}}{u^* d} + \frac{K_1 M_{sd1}}{W_{p1} d} + \frac{K_2 M_{sd2}}{W_{p2} d} \quad (5)$$

227 O coeficiente K_2 é dado segundo item 19.5.2.3 e Tabela 19.2 da ABNT NBR 6118:2014, sendo
 228 os coeficiente C_1 e C_2 determinados de acordo com a Figura 8.

229 Para pilares de canto quando não houver momento atuante no plano paralelo à borda, deve-se
 230 utilizar o determinado para pilar de borda. Dado que o pilar de canto possui duas bordas livres,
 231 conforme Figura 9, deve ser verificada cada borda separadamente, considerando o momento fletor,
 232 cujo plano é perpendicular à borda livre adotada.



233
 234 Figura 9 – Perímetro crítico em pilares de canto.

235 Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

236

237 O valor de K deve ser calculado conforme a Tabela 19.2 da ABNT NBR 6118:2014, sendo
238 C_1 e C_2 , respectivamente, os lados do pilar perpendicular e paralelo à borda livre adotada, como pode
239 ser visualizado na Figura 8.

240
241 2.3.2 Definição da tensão resistente nas superfícies críticas C , C' e C''

242 A verificação da tensão resistente de compressão diagonal do concreto na superfície C é dado
243 pela Equação 6, sendo necessário a verificação de lajes submetidas a punção com ou sem armadura.

244
245
$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27\alpha_v f_{cd} \quad (6)$$

246 Sendo, $\alpha_v = (1 - f_{ck} / 250)$, com f_{ck} em MPa.

247 Na superfície crítica C' em elementos estruturais ou trechos sem armadura de punção, a
248 verificação é determinada pela Equação 7.

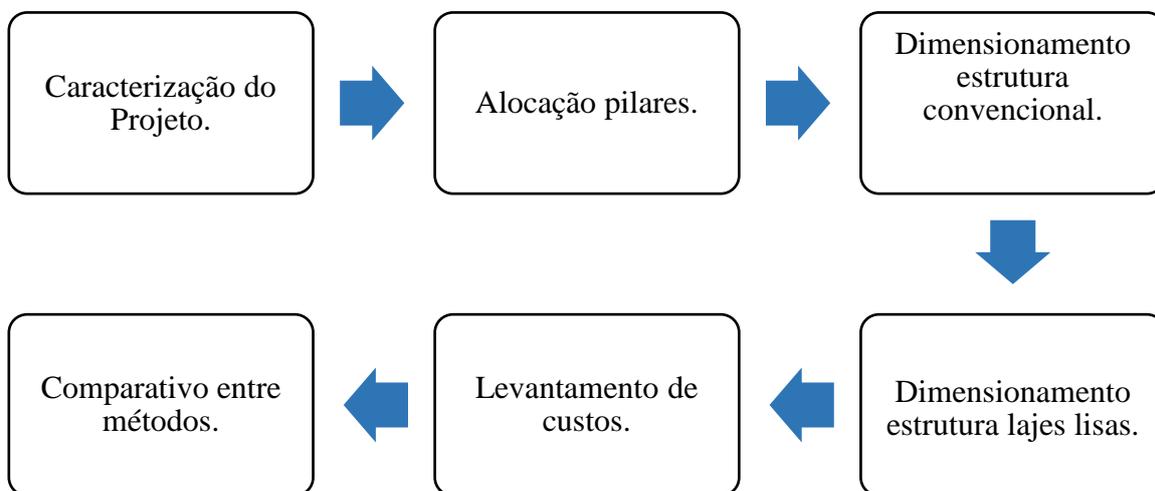
249
250
$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,13(1 + \sqrt{20/d})(100\rho f_{ck})^{1/3} \quad (7)$$

251 Quando há necessidade de armadura de cisalhamento, ou seja, $\tau_{Sd} \geq \tau_{Rd2}$ e/ou $\tau_{Sd} \geq \tau_{Rd1}$, a
252 armadura deve ser constituída preferencialmente por três ou mais linhas de conectores. Quando há
253 presença de armadura de cisalhamento deve ser verificado as tensões na superfície crítica C' , segundo
254 a Equação 8.

255
$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd3} = 0,10(1 + \sqrt{20/d})(100\rho f_{ck})^{1/3} + \frac{1,5dA_{sw}f_{ywd}\text{sen}\alpha}{S_r u d} \quad (8)$$

256 3 METODOLOGIA

257 A metodologia proposta para esse trabalho se divide em seis etapas, conforme ilustrado na
258 Figura 10.



259
260 Figura 10 – Sequência da metodologia.

261 3.1 Caracterização do projeto

262 Para o estudo comparativo entre os dois sistemas estruturais utilizou-se o projeto arquitetônico
263 de um hotel constituído de subsolo, térreo e 11 andares. Contudo, neste trabalho foi dimensionado
264 apenas o pavimento-tipo. Na primeira situação, as lajes foram dimensionadas como lajes maciças e
265 utilizando vigas como apoio. No segundo modelo, as lajes foram maciça sem o uso de vigas, com o
266 apoio da laje diretamente nos pilares.

267 O subsolo possui área total de 983,3 m² contendo 31 vagas média (4,7x2,1m) e uma vaga grande
268 (5,5x2,5m). No térreo, além de 17 vagas média e duas vagas grande, possui restaurante e floreira,
269 com área total de 1103,5 m². No primeiro pavimento, tem-se mais 26 vagas média e duas vagas
270 grandes, com a área total do pavimento igual 857,6 m² e, além disso, o pavimento conta com o
271 apartamento do zelador com área de 57,3 m², contendo cozinha, dormitório e banheiro. No
272 pavimento-tipo tem-se 8 apartamentos por andar, sendo quatro apartamentos com área interna de
273 25,5 m² e a outra metade com área interna de 21,5 m² e área total do pavimento igual a 277,2 m²,
274 como pode ser visualizado no Anexo B.

275 No dimensionamento do sistema estrutural utilizou como parâmetros concreto C-30, classe de
276 agressividade I (fraca), dimensão do agregado igual a 19 mm (milímetros) e cobrimento igual a
277 3 (três) centímetros.

278

279 3.2 Dimensionamento estrutura convencional

280 A primeira etapa foi a alocação dos pilares nas plantas arquitetônicas. A tentativa inicial foi
281 com pilares de dimensões de 15 x 40 centímetros (cm). A disposição dos pilares levou em conta todos
282 os quatros pavimentos simultaneamente, para que não houvesse necessidade de vigas de transição.
283 Portanto, atentou-se para as vagas de garagem, a fim de que não dificultasse a entrada dos carros,
284 bem como para que não ocorresse interferências em outros pavimentos. A seção inicial adotada para
285 as vigas foi de 15 x 40 cm e espessura de 15 cm para laje maciça.

286 O dimensionamento desse tipo de estrutura foi feito no *software* Eberick V9 (versão 06-2016).
287 O AltoQi Eberick é um *software* destinado ao projeto de edificações de concreto armado, possui um
288 sistema gráfico para entrada de dados e o lançamento dos elementos são feitos diretamente sobre a
289 planta arquitetônica. A estrutura da edificação é estabelecida através de níveis existentes no projeto
290 arquitetônico. O *software* possui análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial e recursos
291 para dimensionamento e detalhamento dos elementos.

292 Para este trabalho foi escolhido para análise completa o pavimento-tipo. Então, após o
293 processamento foi feita análise do dimensionamento verificando as dimensões necessárias para
294 satisfazerem as especificações da ABNT NBR 6118:2014. Posteriormente, pelo critério de
295 trabalhabilidade adotou-se apenas cinco tipos de seções para os pilares, sendo 15 x 40, 15 x 55,

296 15 x 65, 20 x 40 e 20 x 50 cm. Quando não havia empecilho arquitetônico era adotado a mesma seção
297 em toda a prumada do pilar, quando não era possível, o pilar assumia duas seções na mesma prumada.

298

299 3.3 Dimensionamento método lajes lisas

300 O dimensionamento da estrutura utilizando lajes lisas teve como parâmetro técnico o item
301 14.7.8 da ABNT NBR 6118:2014, que descreve o procedimento de cálculo a ser adotado,
302 considerando que os pilares da estrutura de concreto estejam alinhados ortogonalmente. Sendo assim,
303 obtém-se os valores de momentos negativos e positivos e, posteriormente, a área de aço necessária
304 para a laje. De acordo com o item 13.2.4.1 da ABNT NBR 6118:2014 as lajes lisas maciças devem
305 ter no mínimo 16 cm de espessura, posto isto, a espessura considerada foi de 20 cm. O
306 dimensionamento das lajes lisas foi feita com auxílio dos programas Microsoft Office Excel 2013 e
307 FTOOL, seguindo as especificações da norma. As seções transversais dos pilares utilizadas foram
308 iguais ao dimensionamento da estrutura convencional. Também foi verificado a necessidade de
309 armadura de cisalhamento em cada encontro dos pilares com a laje por meio do programa MathCad,
310 sendo que a implementação no programa foi feita por Dornelas (2019), onde cada tipo de pilar (borda,
311 canto e interno) tem seu método de cálculo. A armadura de cisalhamento considerada foram os pinos
312 de combate à punção, como pode ser visualizado na Figura 4.

313

314 3.4 Custos dos insumos e mão de obra

315 Para o cálculo dos custos de cada método com concreto, aço, fôrmas e mão de obra, foi utilizado
316 o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), utilizando o
317 relatório do mês de outubro com emissão no dia 26/10/2018. De acordo com o Decreto nº 7983/2013
318 o SINAPI é a fonte oficial de referência de preços de insumos e custos de composições de serviço,
319 sendo mantido pela Caixa Econômica Federal e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e
320 Estatística (IBGE). Vale ressaltar que a composição 92720 e 92726 foram adaptadas para este
321 trabalho, pois, as mesmas utilizam concreto C25, porém, utilizou-se nos dimensionamentos concreto
322 C30. Desse modo, foi alterado o valor do metro cúbico (m^3) do concreto usinado bombeado, adotando
323 o valor de R\$ 350,00/ m^3 , tendo como referência a pesquisa de mercado feita no mês de novembro na
324 cidade de Patos de Minas –MG com três empresas distintas. Os valores dos pinos de combate a punção
325 foram fornecidos pela empresa Trejor e podem ser visualizados no Anexo C, bem como todos os
326 valores de insumos considerados.

327

328 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

329 No Apêndice A pode ser visualizado a planta de fôrma do pavimento-tipo, dimensionada com
330 vigas de apoio para as lajes maciças. Por esse método, o pavimento analisado possui 21 lajes, 25 vigas

331 e 49 pilares. Como pode ser visualizado no Apêndice A, são 12 vigas com seção transversal
332 15 x 40 cm e 28 pilares com seção 20 x 40 cm. Com o dimensionamento realizado, levantou-se o
333 consumo de aço, fôrma e concreto para esse método, conforme Tabela 1.

334 Tabela 1 – Consumo de Materiais – Estrutura Convencional

CONSUMO DE MATERIAIS				
Material	Pilares	Vigas	Lajes	Total
Aço CA-50 6,3mm (kg)	0,0	318,3	34,3	352,6
Aço CA-50 8,0mm (kg)	0,0	79,3	369,2	448,5
Aço CA-50 10,0mm (kg)	239,6	262,3	870,4	1372,3
Aço CA-50 12,5mm (kg)	211,8	318,5	9144,5	9674,8
Aço CA-50 16,0mm (kg)	663,7	655,3	1883,0	3202,0
Aço CA-50 20,0mm (kg)	0,0	1105,4	0,0	1105,4
Aço CA-60 5,0mm (kg)	224,7	560,5	450,9	1236,1
Fôrmas (m ²)	136,3	411,9	830,0	1378,2
Concreto C30 (m ³)	8,5	30,7	124,5	163,7

335

336 De acordo com a Tabela 1, mais de 85% do consumo total de aço CA-50 ϕ 12,5 mm (8.339,5 kg)
337 foi utilizado para resistir o momento de flexão positivo nas lajes e, 76% do concreto gasto nesse
338 modelo estrutural foram consumido nas lajes. O segundo aço mais utilizado foi CA-50 ϕ 16,0 mm,
339 onde 1238,6 kg foram utilizado para combate do momento de flexão negativo das lajes. Além disso,
340 observa-se que o ao CA-50 ϕ 20,0 mm foi usado apenas nas vigas.

341 Com base nos valores do Anexo C e consumo da Tabela 1, foi calculado o custo com os
342 materiais e mão de obra para cada tipo de elemento estrutural, vale ressaltar que nos valores dos
343 serviços do Anexo C-1 está incluso custo com mão de obra e insumos para execução, podendo ser
344 visualizado no Anexo C-2 a composição de cada serviço, bem como os respectivos índices
345 considerados.

346 Como observado na Figura 11, nota-se que as lajes são responsáveis por 2/3 (R\$ 140.633,71)
347 do valor total desse tipo de estrutura. Então, mesmo que os valores unitários dos serviços de armação
348 e fôrma para laje sejam menores do que para vigas e pilares, a quantidade de insumos necessários nas
349 lajes é maior que nos outros elementos estruturais, justificando, assim, sua maior parcela no custo
350 total.

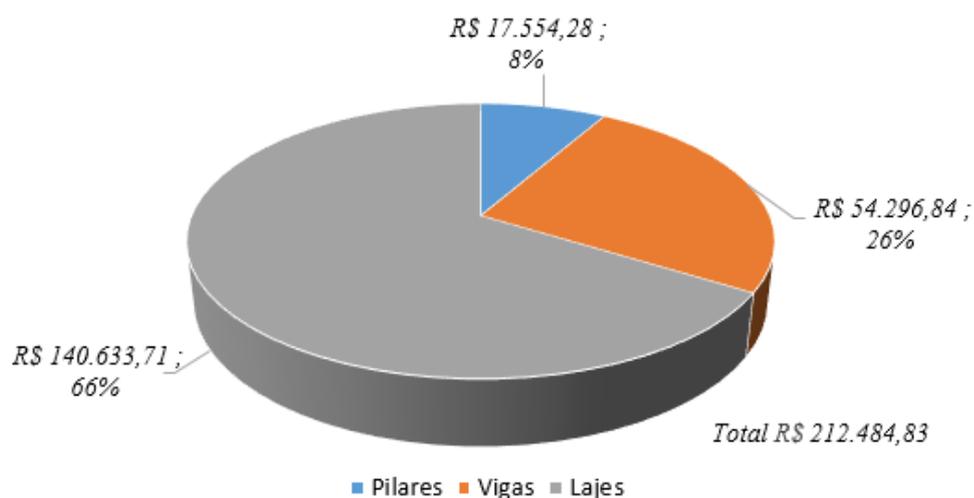


Figura 11 - Custo por elemento estrutural (Convencional).

351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376

Nesse sentido, o custo desses materiais, concreto C30 e aço CA-50 ϕ 12,5mm, somente gastos na laje, correspondem respectivamente a R\$ 49.391,41 e R\$ 54.592,67, ou seja, a 49% do custo total do método convencional. Portanto, a escolha do tipo de laje a ser adotada é de suma importância, pois, correspondem a significativa parcela no custo total da estrutura. Nos pilares, o custo de fôrmas representa 30% (R\$ 5.327,19) do custo total desse tipo de elemento estrutural e o consumo de aço é de R\$ 9.123,72, valores bem menores do que para lajes. No consumo geral do método estrutural convencional o aço corresponde a mais da metade do custo total, cerca de R\$ 109.840,20 (52%), sendo que as lajes contribuem com R\$ 78.095,89, isto é, 73% do aço consumo total de aço.

No modelo estrutural de lajes lisas, a laje maciça teve espessura de 20 cm, e foi utilizado barras de aço CA-50 ϕ 8,0 mm distribuídas nas duas direções com espaçamento de 9 (nove) centímetros, para combate do momento de flexão positivo. Para o momento de flexão negativo adotou-se uma malha de aço CA-50 ϕ 12,5 mm com espaçamento de 12 centímetros, como pode ser visualizado no Apêndice C. Os pilares tiveram a mesma seção transversal que o método convencional. Verificou-se a necessidade de reforço na armadura de cisalhamento no encontro de 32 pilares com a laje.

Os pinos utilizados para combate a punção foram de aço CA-50 ϕ 6,3mm e ϕ 8,0mm. Em vários pilares poderia ser adotado pinos com diâmetro de 5 mm, porém, ainda não são fabricados no Brasil, sendo assim, nesses casos utilizou-se bitola de 6,3 mm. Vale ressaltar que em alguns pilares seriam necessários apenas 4 linhas de *studs*, mas para obter-se distribuição radial da armadura adotou-se seis linhas de pinos em cada pilar. Foram utilizados dois, três ou quatro vergalhões, ou seja, número de camadas em cada linha.

Na Tabela 2, é observado o consumo total de materiais no dimensionamento da estrutura sem a presença de vigas.

Tabela 2: Consumo de materiais – Estrutura laje lisas

CONSUMO DE MATERIAIS			
Material	Pilares	Lajes	Total
Aço CA-50 8,0mm (kg)	0,0	7913,6	7913,6
Aço CA-50 10,0mm (kg)	239,6	0,0	239,6
Aço CA-50 12,5mm (kg)	211,8	14046,6	14258,4
Aço CA-50 16,0mm (kg)	663,7	0,0	663,7
Aço CA-60 5,0mm (kg)	224,7	0,0	224,7
Fôrmas (m ²)	136,3	830,0	966,2
Concreto C30 (m ³)	8,5	166,0	174,5
Conj. com dois verg. CA-50 6,3mm (und)	0,0	102,0	102,0
Conj. com três verg. CA-50 6,3mm (und)	0,0	66,0	66,0
Conj. com quatro verg. CA-50 6,3mm (und)	0,0	12,0	12,0
Conj. com três verg. CA-50 8,0mm (und)	0,0	6,0	6,0
Conj. com quatro verg. CA-50 8,0mm (und)	0,0	6,0	6,0

378 Conforme mostrado na Tabela 2, assim como no método convencional, o consumo de aço se
 379 concentra nas lajes, onde as mesmas são responsáveis por 94% do consumo total de aço, aumento de
 380 21% comparando os dois métodos. Em apenas dois pontos da laje foram necessário *stud* com aço
 381 CA-50 ϕ 8,0 mm, no encontro da laje com os pilares P31 e P42, com quatro e três camadas,
 382 respectivamente.

383 De acordo com os valores do Anexo C foi levantado o custo total dos materiais e mão de obra
 384 para este método. Na Figura 12, pode ser visualizado os gastos para cada tipo de elemento estrutural,
 385 contabilizando custos com aço, fôrmas e concreto, com valor da mão de obra incluso nos materiais,
 386 sendo que o custo com as lajes corresponde a 93% do custo total. Nesse método o custo com aço
 387 representa 64,6% (R\$ 159.575,69), onde o gasto com aço CA-50 ϕ 8,0 mm e aço CA-50 ϕ 12,5 mm
 388 somente das lajes, correspondem respectivamente a R\$ 62.833,95 e R\$ 83.858,19, ou seja, esses dois
 389 itens significam 59% do gasto total desse método. Também, como pode ser observado no
 390 Apêndice D, o concreto representa 27,9% (R\$ 68.959,91) e fôrmas 7,5% (R\$18.473,59) do custo
 391 total.

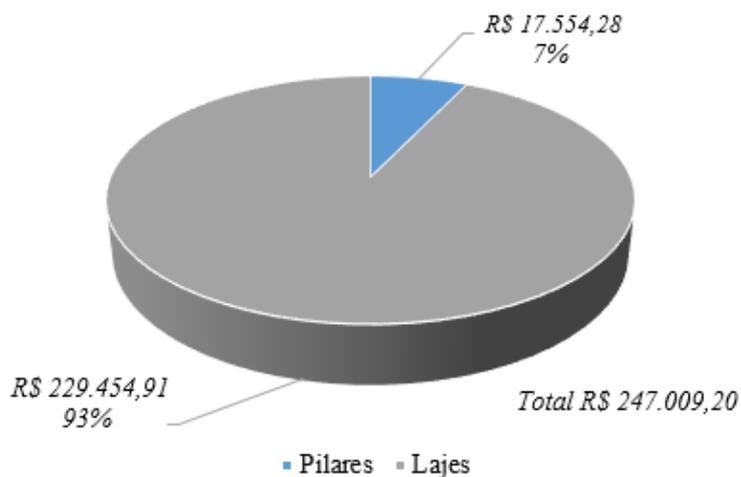


Figura 12 - Custo por elemento estrutural (Laje Lisas).

392

393

394

395

396

397

398

399

400

401

Na Figura 13 está apresentado o consumo de cada material, observa-se que, mesmo sem as vigas, houve aumento de 10,8 m³ no consumo de concreto na estrutura de lajes lisas devido ao aumento de 5 (cinco) centímetros na espessura da laje maciça. Com a ausência das vigas no segundo modelo estrutural o consumo de fôrmas é 43% menor e, como pode ser visualizado no Anexo C, o valor do m² de fôrma para vigas é o mais caro entre os três elementos estruturais, devido ao maior número de recortes nas fôrmas de madeira. Por outro lado, o consumo de aço na estrutura convencional é menor, em virtude da melhor distribuição dos esforços nesse modelo.

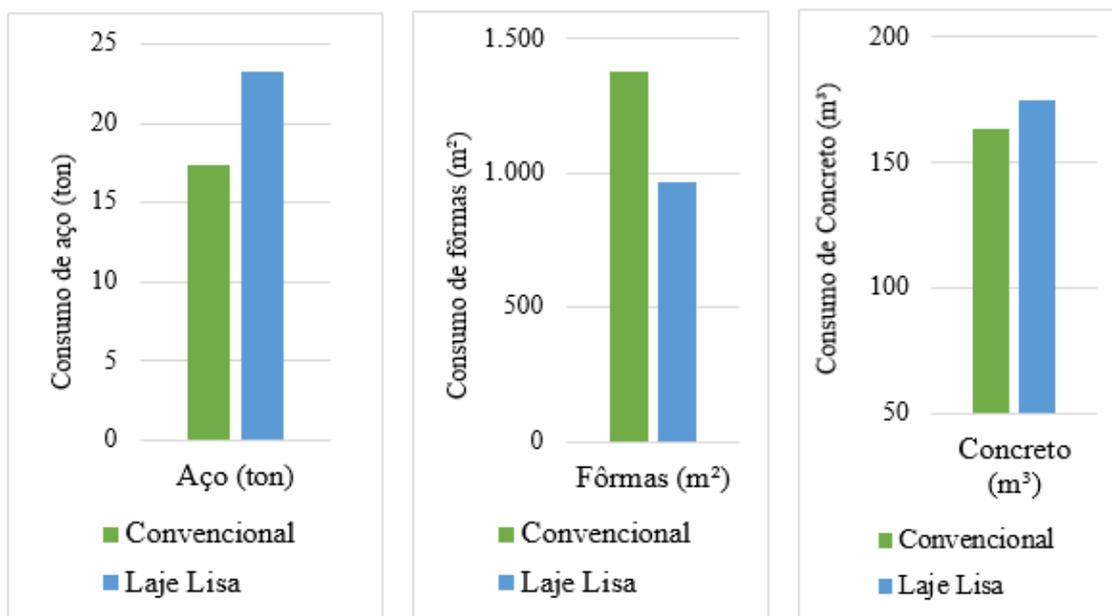


Figura 13 – Consumo dos materiais.

402

403

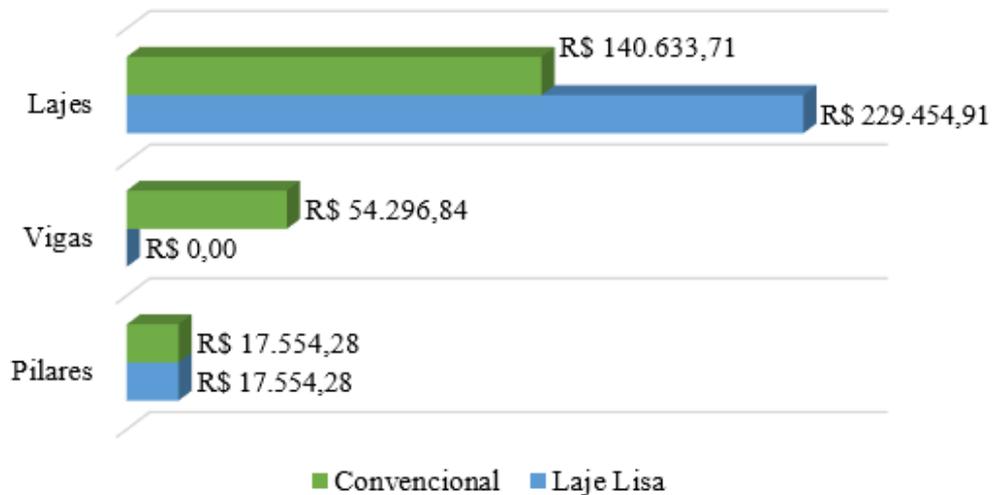
404

405

406

Na Figura 14 observa-se a comparação dos custos por elemento em cada modelo estrutural, onde a diferença entre os dois métodos foi de R\$ 34.524,37, aumento de 16% no custo total para o segundo método, sendo as lajes responsáveis pela maior parte. A diferença nos custos destas, em cada

407 método, refere-se à utilização de bitolas mais espessas, maior espessura da laje e necessidade de
408 reforço da armadura de cisalhamento em alguns pontos no sistema de lajes lisas.



Convencional - R\$ 212.484,83 / Lajes Lisas - R\$ 247.009,20

Diferença - R\$ 34.524,37 (16%)

409
410 **Figura 14 – Custo por elemento estrutural.**

411 Na utilização de lajes lisas deve-se atentar sobre a necessidade de mão de obra especializada,
412 algo que não foi considerado neste trabalho. Outro ponto importante é que a ausência de vigas torna
413 a estrutura menos rígida, o que pode ser um problema em edifícios altos. Porém, mesmo com o uso
414 de *studs* para combate à punção, a inexistência de vigas diminui a quantidade e facilita a montagem
415 de fôrmas, portanto, o tempo de execução e desperdícios de materiais são reduzidos. No
416 dimensionamento da estrutura convencional não foi considerado custo com o acabamento no encontro
417 da viga com a laje, o que aumentaria o custo desse método.

418 419 **5 CONCLUSÕES**

420 O presente trabalho fez o comparativo de custos no dimensionamento de um pavimento de um
421 hotel por dois métodos: estrutura convencional (pilar, viga e laje) e laje lisas (pilar e laje), levando
422 em consideração gastos com aço, concreto, fôrmas e mão de obra para execução. Sendo assim, foi
423 observado o custo total de R\$ 212.484,83 para utilização do método convencional e R\$ 247.009,20
424 para lajes lisas. Portanto, uma diferença de R\$ 34.524,37, ou seja, um aumento de 16% no gasto com
425 materiais e mão de obra no sistema de lajes lisas.

426 Porém, com a ausência das vigas os recortes de fôrmas e aço são menores, logo, a geração de
427 Resíduos da Construção Civil (RCC) são diminuídos. Além disso, a Resolução CONAMA
428 n°307/2002 determina que os geradores de resíduos, tenham como objetivo principal a não geração
429 de RCC e são responsáveis pela destinação adequada dos mesmos. Desse modo, a menor geração de

430 RCC contribui, não somente para o meio ambiente, como, também, é possível obter economia com
431 destinação final dos resíduos.

432 Outro ponto importante da utilização de lajes lisas, se dá pela possibilidade de construir
433 edificações esteticamente mais amplas, mais belas e, que, possibilitem maior liberdade na concepção
434 arquitetônica em relação ao sistema estrutural convencional. Pois, não se fica preso a necessidade
435 alinhar paredes com vigas como acontece no sistema estrutural convencional. Além do que, não
436 existindo vigas, é maior o leque de opções para nova redistribuição dos ambientes futuramente, o que,
437 esteticamente, não seria possível com método estrutural convencional.

438 Por fim, o projetista deve atentar-se para as características de cada modelo, levando em conta a
439 necessidade de mão de obra especializada, o desperdício de materiais, prazo e facilidade na execução,
440 maior opção de *layout* arquitetônico e, claro, o custo-benefício da estrutura.

441

442 **6 AGRADECIMENTOS**

443 Agradeço à Deus por ter me dado saúde e iluminado meu caminho na conclusão deste trabalho.

444 Aos meus pais pelo amor, carinho e amparo e por serem exemplo para minha vida.

445 Aos meus irmãos, Ana Cecília e Lucas Gabriel, pelo apoio de sempre. À minha namorada,
446 Débora, pela compreensão e disponibilidade em ajudar.

447 À minha orientadora Marília, pelos ensinamentos e atenção, não somente nesse trabalho como
448 em outras disciplinas. Agradeço aos meus amigos da faculdade, em especial ao Vítor Luís, pelo
449 companheirismo e apoio em todos os momentos da nossa graduação, e, também, a todos os
450 professores e funcionários da UFV-CRP pelos conhecimentos passados.

451

452 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

453 ALBUQUERQUE, A.T. de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto**
454 **armado**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo (USP).
455 São Carlos - SP, 1999.

456 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Projeto de**
457 **estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro – RJ, 2014.

458 BRASIL. Decreto n° 7.893, de 8 de Abril de 2013. **Estabelece regras e critérios para elaboração**
459 **do orçamento de referência de obras e serviços de engenharia, contratados e executados com**
460 **recursos dos orçamentos da União, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília –
461 DF, 09 de abril de 2013, página 4.

462 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA.
463 **Resolução CONAMA n° 307/2002, de 5 julho de 2002**. Publicada no Diário Oficial da União
464 (DOU) n° 136 de 17 de julho de 2002, Seção I, páginas 95-96. Brasília - DF

465 DORNELAS, M. de A.Q. **Desenvolvimento de documento no software Mathcad para previsão**
466 **de cargas de ruptura em lajes lisas.** Dissertação para bacharel em Engenharia Civil, Universidade
467 Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba (UFV-CRP), Rio Paranaíba - MG, 2019.

468 FERREIRA, M. de P. **Punção em lajes lisas de concreto armado com armaduras de cisalhamento**
469 **e momentos desbalanceados.** Tese de doutorado em Estrutura e Construção Civil, Universidade de
470 Brasília (UnB). Brasília - DF, 2010.

471 FIGUEIREDO FILHO. J.R.de. **Sistemas estruturais de lajes sem vigas: subsídios para o projeto**
472 **e execução.** Tese de doutorado em Engenharia, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo - SP,
473 1989.

474 JUNIOR, J. A. **Contribuição ao projeto e execução de lajes lisas nervuradas pré-fabricadas com**
475 **vigotas treliçadas.** Dissertação de mestrado em Construção Civil, Universidade de São Carlos
476 (UFSCar). São Carlos - SP, 2009.

477 KOVALCZUK, E.F; MUNARETTO, G.A. **Punção em lajes lisas: influência da altura útil no**
478 **dimensionamento.** Dissertação para bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Paraná
479 (UFPR). Curitiba - PR, 2014.

480 LIMA, J.S. **Verificações da punção e da estabilidade global em edifícios de concreto:**
481 **desenvolvimento e aplicações de recomendações normativas.** Dissertação de mestrado em
482 Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo – SP, 2001.

483 LOURENÇO, D.da S. **Punção em lajes lisas de concreto armado com aberturas: Análise**
484 **Experimental.** Dissertação de mestrado em Estruturas em Estruturas e Geotécnica, Universidade
485 Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas - SP, 2018.

486 MARÇAL, A. R. **Estudo de lajes de concreto armado: comparativo de cálculo entre lajes**
487 **treliçadas e maciças, utilizando método elástico.** Dissertação para bacharel em Engenharia Civil,
488 Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria - RS, 2014.

489 MOURA, Y.V. **Punção em lajes de concreto armado.** Dissertação para bacharel em Engenharia
490 Civil, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas - SP, 2017.

491 NUNES, C.C.; JUNGS, E.; **Comparação de custo entre estrutura convencional em concreto**
492 **armado e alvenaria estrutural de blocos de concreto para edifícios residencial em Cuiabá-MT.**
493 XXII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC). Fortaleza – CE, 2008.

494 SANTOS, F.S; VIDAL, D.JR.A; PEREIRA FILHO, M.J.M; BARROS, R.N.M; SACRAMENTO,
495 P.V.P; LIMA NETO, A.R; FERREIRA, M.P. **Recomendações Normativas para Previsão da**
496 **Resistência de Vigas de Concreto Armado sem Armadura de Cisalhamento.** 58º Congresso
497 Brasileiro do Concreto. IBRAÇON (Instituto Brasileiro do Concreto). Belo Horizonte – MG, 2016.

498 SPOHR, V.H. **Análise Comparativa: Sistemas estruturais convencionais e estruturas de lajes**
499 **nervuradas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Área de Construção Civil e
500 Preservação Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria - RS, 2008.
501 TRAUTWEIN, L. M. **Punção em lajes cogumelo de concreto armado: Análise experimental e**
502 **numérica**. Tese de doutorado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São
503 Paulo - SP, 2006.
504 WERNECK, P. P. de T. **Avaliação da punção em lajes lisas de concreto armada**. Projeto de
505 graduação para bacharel em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro
506 – RJ, 2017.

507

508 ANEXOS E APÊNDICES.

509

510 Anexo A: Lista de símbolos

511 A_{sw} = é a área de armadura de punção em contorno completo paralelo a C’;

512 α = é o ângulo de inclinação entre o eixo da armadura de punção e o plano da laje;

513 C_1 = é a dimensão do pilar paralela à excentricidade da força;

514 C_2 = é a dimensão do pilar perpendicular à excentricidade da força;

515 d = é a altura útil da laje ao longo do contorno crítico C’, externo ao contorno, C da área de aplicação
516 da força e deste distante $2d$ no plano da laje.

517 d = é a altura útil da laje ao longo do contorno crítico C da área de aplicação da força (cm);

518 D = é o diâmetro do pilar.

519 f_{ywd} = é a resistência de cálculo da armadura de punção, não maior que 300MPa para conectores ou
520 250MPa para estribos.

521 f_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto.

522 F_{sd} = é a força ou a reação concentrada de cálculo;

523 K = é coeficiente que fornece a parcela de M_{sd} transmitida ao pilar por cisalhamento que depende da
524 relação C_1/C_2 .

525 M_{sd} = é o momento solicitante de cálculo;

526 M_{sd1} = é o momento de cálculo transmitido pela laje ao pilar de borda, no plano perpendicular à borda
527 livre;

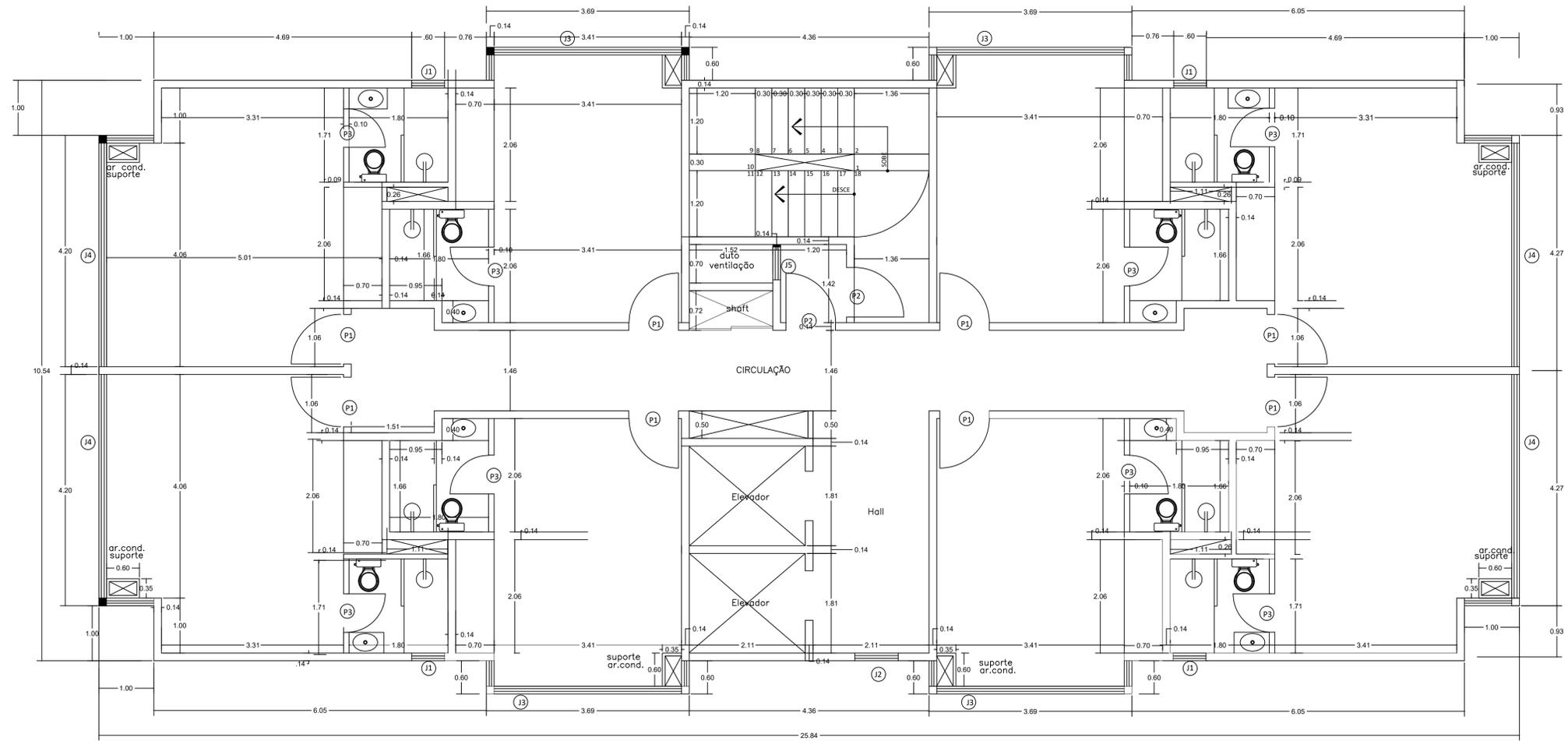
528 M_{sd*} = é o momento de cálculo resultante da excentricidade do perímetro crítico reduzido u^* em
529 relação ao centro do pilar;

530 M_{sd2} = é o momento de cálculo transmitido pela laje ao pilar de borda, no plano paralelo à borda livre;

531 ρ = é a taxa geométrica de armadura longitudinal de tração;

532 S_r = é o espaçamento radial entre as linhas de armadura de punção, não maior que $0,75d$;

- 533 τ_{Sd} = tensão de cisalhamento solicitante de cálculo;
- 534 τ_{Rd1} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo-limite, para que uma laje possa prescindir de
535 armadura transversal para resistir à força cortante;
- 536 τ_{Rd2} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo-limite para verificação da compressão diagonal
537 do concreto na ligação laje-pilar;
- 538 τ_{Rd3} = tensão de cisalhamento resistente de cálculo;
- 539 u = é o perímetro crítico;
- 540 u^* = é o perímetro crítico reduzido;
- 541 W_p = módulo de resistência plástica do perímetro crítico u .
- 542 W_{p1} = é o módulo de resistência plástica perpendicular à borda livre, calculado para o perímetro u .
- 543 W_{p2} = é o módulo de resistência plástica na direção paralela à borda livre, calculado pelo perímetro u .
- 544
- 545 **Anexo B: Plantas baixas.**
- 546 **Anexo B-1: Planta baixa Pavimento-tipo**
- 547 **Anexo B-2: Planta baixa Primeiro Pavimento**



PAVIMENTO TIPO

PLANTA BAIXA- PROJETO ARQUITETÔNICO

HOTEL MARINO - PAVIMENTO TIPO

RUA JOSÉ AUGUSTO QUEIROZ, CENTRO. Nº 150

PATOS DE MINAS - MG 38700-000

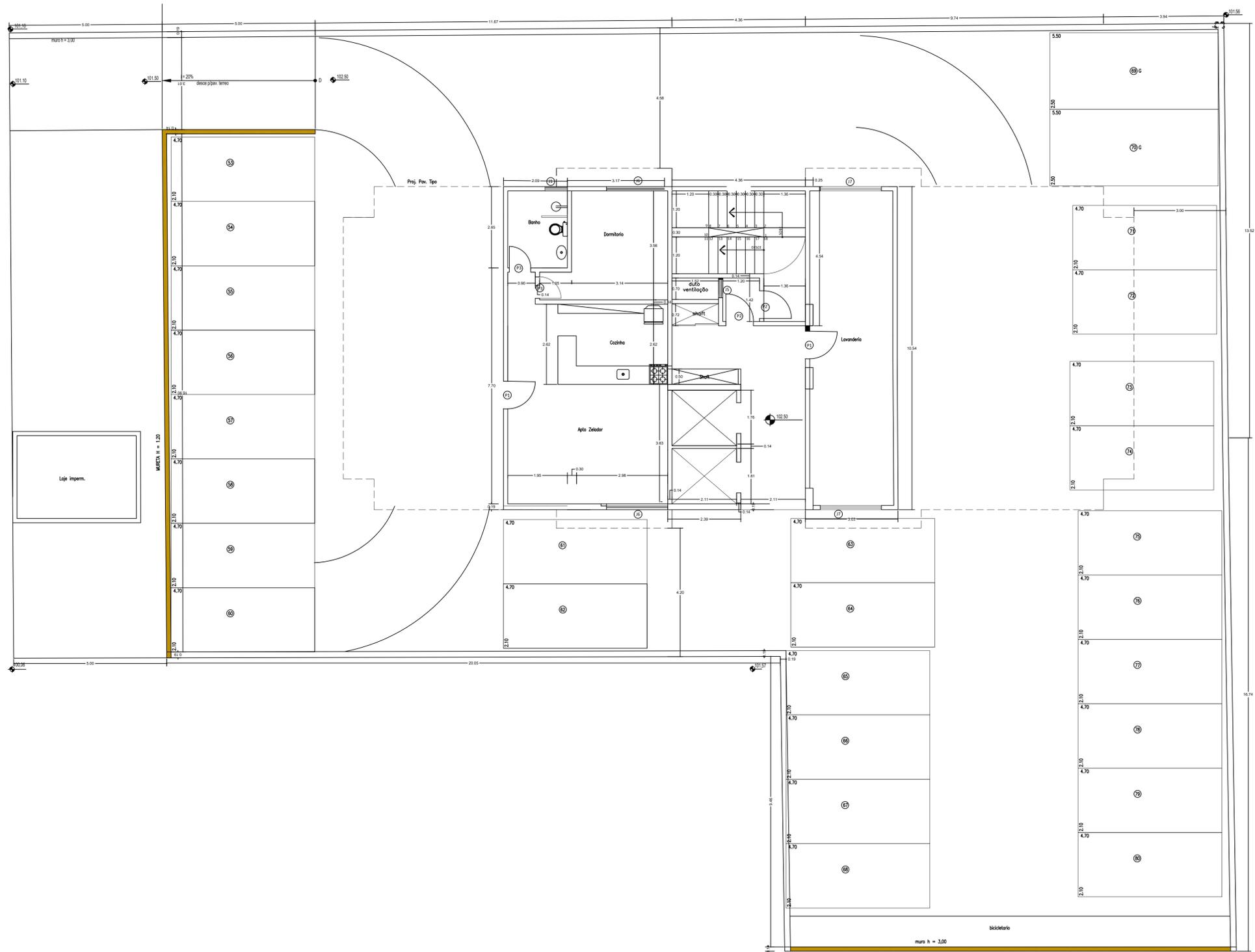
DATA: 02/01/2019

REV. 01

FOLHA: 1/1

ESCALA: 1:50

RESP. TÉCNICO: HENRIQUE TADEU



PLANTA BAIXA - PROJETO ARQUITETÔNICO
 HOTEL MARINO - PRIMEIRO PAVIMENTO
 RUA JOSÉ AUGUSTO QUEIROZ, CENTRO. Nº 150
 PATOS DE MINAS - MG 38700-000
 DATA: 02/01/2019 REV. 01 FOLHA: 1/1
 ESCALA: 1:75
 RESP. TÉCNICO: HENRIQUE TADEU

548 **Anexo C: Custos e composições dos insumos.**549 **Anexo C-1: Tabela de Serviços, SINAPI (outubro/2018)**

CÓD	DESCRIÇÃO	UND	CUSTO TOTAL
92759	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 60 de 5,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 9,51
92760	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 50 de 6,3mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 8,51
92761	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 50 de 8,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 8,52
92762	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 50 de 10mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 7,00
92763	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 50 de 12,5mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 6,33
92764	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 50 de 16,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 5,98
92765	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 50 de 20,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 5,55
92768	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 8,50
92769	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 7,75
92770	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 7,94
92771	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 6,53
92772	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 5,97
92773	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0mm - Montagem.AF_12/2015	KG	R\$ 5,73
92720 adap.	Concretagem de pilares, fck = 30 MPa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25m ³ - Lançamento, adensamento e acabamento. AF 12/2015	M ³	R\$ 366,83
92726 adap.	Concretagem de vigas e lajes, fck = 30 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edifício com área média de lajes maior que 20m ² - Lançamento, adensamento e acabamento. AF 12/2015	M ³	R\$ 396,75

CÓD	DESCRIÇÃO	UND	CUSTO TOTAL
92426	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m², pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 8 utilizações. Af_12/2015	M²	R\$ 39,09
92467	Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, 10 utilizações. Af_12/2015	M²	R\$ 47,32
92526	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média maior que 20 m², pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 10 utilizações. Af_12/2015	M²	R\$ 15,84

550

551 **Anexo C-2: Composições SINAPI (outubro/2018)**

Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.ARMD.001/01	92759	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA- 60 de 5,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			9,51
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	UN	1,1900	0,14	0,16
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0203	13,42	0,27
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,1241	17,66	2,19
Composição	92791	Corte e dobra de aço ca-60, diâmetro de 5,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	6,65	6,65
01.FUES.ARMD.002/01	92760	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	KG			8,51
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	UN	0,9700	0,14	0,13
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0155	13,42	0,2
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0947	17,66	1,67
Composição	92792	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 6,3 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	6,27	6,27

552

553

Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.ARMD.003/01	92761	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			8,52
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,7430	0,14	0,1
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0115	13,42	0,15
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0707	17,66	1,24
Composição	92793	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 8,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	6,79	6,79
01.FUES.ARMD.004/01	92762	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			7,00
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,5430	0,14	0,07
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0086	13,42	0,11
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0529	17,66	0,93
Composição	92794	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 10,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	5,65	5,65
01.FUES.ARMD.005/01	92763	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	KG			6,33
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,3670	0,14	0,05
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0063	13,42	0,08
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0386	17,66	0,68
Composição	92795	Corte e dobra de aço ca-50, diâmetro de 12,5 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	5,28	5,28

Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.ARMD.006/01	92764	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			5,98
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,2120	0,14	0,02
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0043	13,42	0,05
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0261	17,66	0,46
Composição	92796	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 16,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	5,21	5,21
01.FUES.ARMD.007/01	92765	Armação de pilar ou viga de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 20,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			5,55
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,1130	0,14	0,01
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0028	13,42	0,03
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0172	17,66	0,3
Composição	92797	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 20,0 mm, utilizado em estruturas diversas, exceto lajes. Af_12/2015	KG	1,0000	4,97	4,97
01.FUES.ARMD.010/01	92768	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-60 de 5,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			8,50
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	2,1180	0,14	0,29
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0140	13,42	0,18
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0855	17,66	1,5
Composição	92800	Corte e dobra de aço CA-60, diâmetro de 5,0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	6,29	6,29

Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.ARMD.011/01	92769	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 6,3 mm - montagem. Af_12/2015	KG			7,75
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	UN	1,3330	0,14	0,18
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0105	13,42	0,14
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0646	17,66	1,14
Composição	92801	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 6,3 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	6,05	6,05
01.FUES.ARMD.012/01	92770	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 8,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			7,94
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	UN	0,7280	0,14	0,1
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0078	13,42	0,1
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0475	17,66	0,83
Composição	92802	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 8,0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	6,67	6,67
01.FUES.ARMD.013/01	92771	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 10,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			6,53
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobertura 20 mm	UN	0,3570	0,14	0,04
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0057	13,42	0,07
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0348	17,66	0,61
Composição	92803	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 10,0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	5,57	5,57

Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.ARMD.014/01	92772	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 12,5 mm - montagem. Af_12/2015	KG			5,97
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Insumo	39017	Espaçador / distanciador circular com entrada lateral, em plástico, para vergalhão *4,2 a 12,5* mm, cobrimento 20 mm	UN	0,1470	0,14	0,02
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0040	13,42	0,05
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0247	17,66	0,43
Composição	92804	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 12,5 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	5,23	5,23
01.FUES.ARMD.015/01	92773	Armação de laje de uma estrutura convencional de concreto armado em um edifício de múltiplos pavimentos utilizando aço CA-50 de 16,0 mm - montagem. Af_12/2015	KG			5,73
Insumo	337	Arame recozido 18 BWG, 1,25 mm (0,01 kg/m)	KG	0,0250	9,89	0,24
Composição	88238	Ajudante de armador com encargos complementares	H	0,0026	13,42	0,03
Composição	88245	Armador com encargos complementares	H	0,0158	17,66	0,27
Composição	92805	Corte e dobra de aço CA-50, diâmetro de 16,0 mm, utilizado em laje. Af_12/2015	KG	1,0000	5,19	5,19
01.FUES.CCTG.003/01	92720	Concretagem de pilares, fck = 30 MPa, com uso de bomba em edificação com seção média de pilares menor ou igual a 0,25 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	M3			408,45
Insumo		Concreto usinado bombeável, classe de resistência c30 com brita 0 e 1, sumo = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (ABNT NBR 8953)	M3	1,1030	350	386,05
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,1990	17,68	3,51
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	0,1990	17,79	3,54
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	1,1920	12,88	15,35
Composição	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 CV - chip diurno. Af_06/2015	CHP	0,0680	1,17	0,07
Composição	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 CV - chi diurno. Af_06/2015	CHI	0,1310	0,3	0,03

Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.CCTG.008/01	92726	Concretagem de vigas e lajes, fck=30 MPa, para lajes maciças ou nervuradas com uso de bomba em edificação com área média de lajes maior que 20 m ² - lançamento, adensamento e acabamento. Af_12/2015	M3			404,19
Insumo		Concreto usinado bombeável, classe de resistência c30, com brita 0 e 1, sumo = 100 +/- 20 mm, inclui serviço de bombeamento (ABNT NBR 8953)	M3	1,1030	350	386,05
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,0850	17,68	1,5
Composição	88309	Pedreiro com encargos complementares	H	0,5120	17,79	9,1
Composição	88316	Servente com encargos complementares	H	0,5860	12,88	7,54
Composição	90586	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 CV - chip diurno. Af_06/2015	CHP	0,0440	1,17	0,05
Composição	90587	Vibrador de imersão, diâmetro de ponteira 45mm, motor elétrico trifásico potência de 2 CV - chi diurno. Af_06/2015	CHI	0,1270	0,3	0,03
01.FUES.FOCA.027/01	92426	Montagem e desmontagem de fôrma de pilares retangulares e estruturas similares com área média das seções menor ou igual a 0,25 m ² , pé-direito simples, em chapa de madeira compensada resinada, 8 utilizações. Af_12/2015	M2			39,09
Insumo	2692	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0100	5,36	0,05
Insumo	40271	Locação de aprumador metálico de pilar, com altura e ângulo reguláveis, extensão de *1,50* a *2,80* m	MES	0,1960	7,8	1,52
Insumo	40275	Locação de viga sanduiche metálica vazada para travamento de pilares, altura de *8* cm, largura de *6* cm e extensão de 2 m	MES	0,3930	12	4,71
Insumo	40287	Locação de barra de ancoragem de 0,80 a 1,20 m de extensão, com rosca de 5/8", incluindo porca e flange	MES	0,7850	3	2,35
Insumo	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	KG	0,0190	10,67	0,2
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,1670	14,72	2,45
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,9130	17,68	16,14
Composição	92263	Fabricação de fôrma para pilares e estruturas similares, em chapa de madeira compensada resinada, e = 17 mm Af_12/2015	M2	0,1500	77,85	11,67

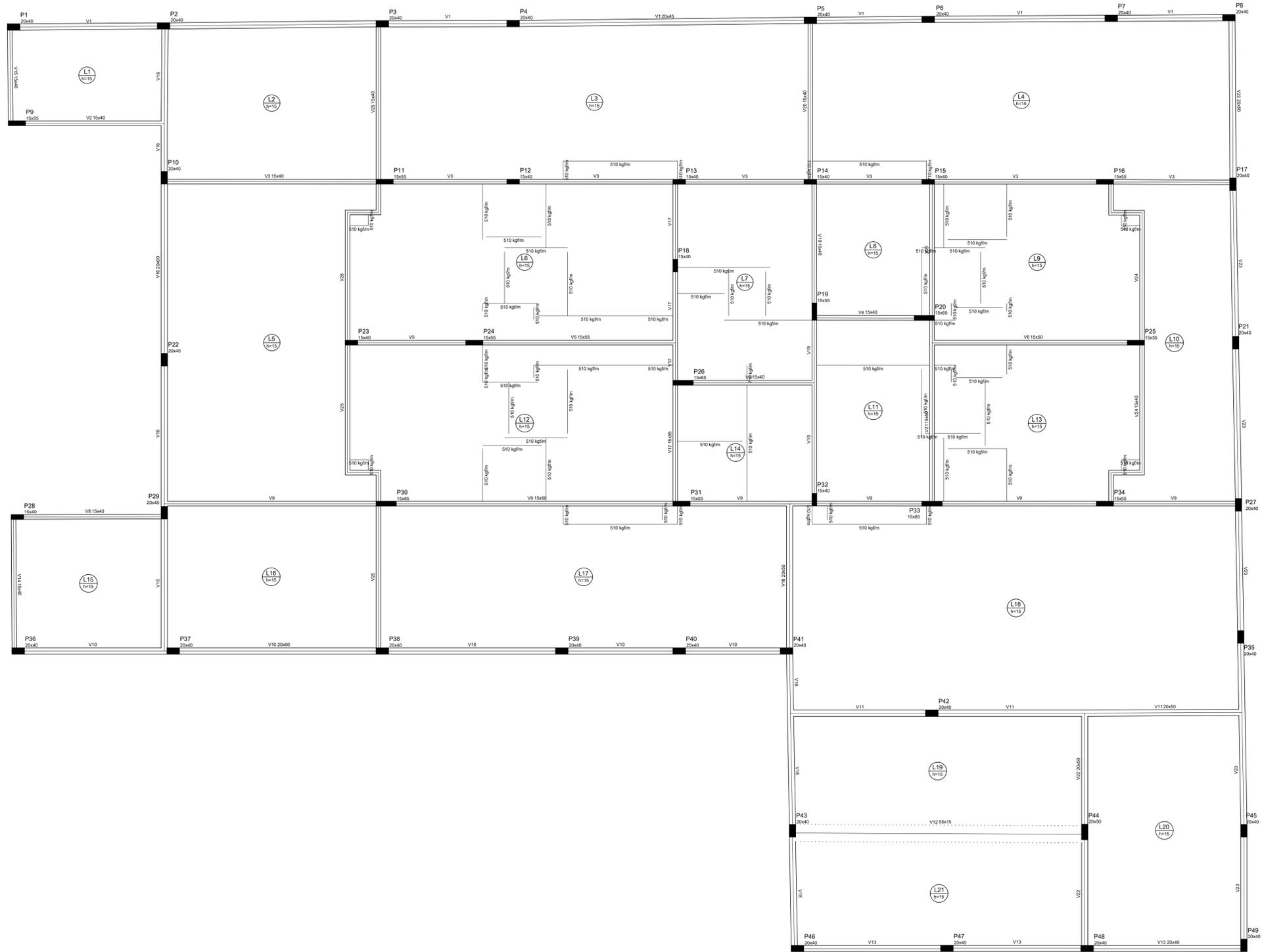
Classe/tipo	Código	DESCRIÇÃO	UND	COEF.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL R\$
01.FUES.FOCA.090/01	92467	Montagem e desmontagem de fôrma de viga, escoramento com garfo de madeira, pé-direito simples, em chapa de madeira plastificada, 10 utilizações. Af_12/2015	M2			47,32
Insumo	2692	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0040	5,36	0,02
Insumo	6193	Tabua de madeira não aparelhada *2,5 x 20* cm, cedrinho ou equivalente da região	M	0,3280	9,63	3,15
Insumo	40304	Prego de aço polido com cabeça dupla 17 x 27 (2 1/2 x 11)	KG	0,0490	10,67	0,52
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,1500	14,72	2,2
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,8170	17,68	14,44
Composição	92266	Fabricação de fôrma para vigas, em chapa de madeira compensada plastificada, e = 18 mm Af_12/2015	M2	0,1650	70,65	11,65
Composição	92272	Fabricação de escoras de viga do tipo garfo, em madeira. Af_12/2015	M	1,0380	14,78	15,34
01.FUES.FOCA.162/01	92526	Montagem e desmontagem de fôrma de laje maciça com área média maior que 20 m², pé-direito simples, em chapa de madeira compensada plastificada, 10 utilizações. Af_12/2015	M2			15,84
Insumo	2692	Desmoldante protetor para formas de madeira, de base oleosa emulsionada em água	L	0,0040	5,36	0,02
Insumo	10749	Locação de escora metálica telescópica, com altura regulável de *1,80* a *3,20* m, com capacidade de carga de no mínimo 1000 kgf (10 kN), incluso tripé e forçado	MES	0,3970	5,49	2,17
Insumo	40270	Viga de escoramento h20, de madeira, peso de 5,00 a 5,20 kg/m, com extremidades plásticas	M	0,0300	45,5	1,36
Composição	88239	Ajudante de carpinteiro com encargos complementares	H	0,0740	14,72	1,08
Composição	88262	Carpinteiro de formas com encargos complementares	H	0,4030	17,68	7,12
Composição	92268	Fabricação de fôrma para lajes, em chapa de madeira compensada plastificada, e = 18 mm. Af_12/2015	M2	0,1360	30,08	4,09

571 **Anexo C-3: Tabela de valores dos studs.**

Armadura de cisalhamento	Valor unitário
Armadura de combate a punção conjunto de dois vergalhões CA-50 6,3mm, altura de 140mm, espaçamento de 100mm entre os pinos, resistência do pino 14,2kN e diâmetro do bolt 20mm.	R\$ 15,76
Armadura de combate a punção conjunto de três vergalhões CA-50 6,3mm, altura de 140mm, espaçamento de 100mm entre os pinos, resistência do pino 14,2kN e diâmetro do bolt 20mm.	R\$ 22,32
Armadura de combate a punção conjunto de quatro vergalhões CA-50 6,3mm, altura de 140mm, espaçamento de 100mm entre os pinos, resistência do pino 14,2kN e diâmetro do bolt 20mm.	R\$ 28,96
Armadura de combate a punção conjunto de três vergalhões CA-50 8,0mm, altura de 140mm, espaçamento de 100mm entre os pinos, resistência do pino 25,2kN e diâmetro do bolt 26mm.	R\$ 24,08
Armadura de combate a punção conjunto de quatro vergalhões CA-50 8,0mm, altura de 140mm, espaçamento de 100mm entre os pinos, resistência do pino 25,2kN e diâmetro do bolt 26mm.	R\$ 31,20

572

573 **Apêndice A: Planta de fôrma – estrutural convencional**



Forma do pavimento PavTipo (Nível 893)
Escala 1:75

Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)
V1	20x40	0	893
V2	15x40	0	893
V3	15x40	0	893
V4	15x40	0	893
V5	15x40	0	893
V6	15x50	0	893
V7	15x40	0	893
V8	15x40	0	893
V9	15x40	0	893
V10	20x40	0	893
V11	20x50	0	893
V12	15x15	0	893
V13	20x40	0	893
V14	15x40	0	893
V15	15x40	0	893
V16	20x50	0	893
V17	15x50	0	893
V18	20x50	0	893
V19	15x40	0	893
V20	15x40	0	893
V21	15x40	0	893
V22	20x50	0	893
V23	20x50	0	893
V24	15x40	0	893
V25	15x40	0	893

Lajes		Peso próprio (kgf/m²)		Acidental (kgf/m²)		Sobrecarga (kgf/m²)		Localizada	
Nome	Tipo	Altura (cm)	Nível (cm)	Adicional	Acidental	Localizada			
L1	Macia	15	0	893	375	50	200	-	-
L2	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L3	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L4	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L5	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L6	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L7	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L8	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L9	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L10	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L11	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L12	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L13	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L14	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L15	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L16	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L17	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L18	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L19	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L20	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-
L21	Macia	15	0	893	375	50	200	sim	-

Características dos materiais
 fck (kgf/cm²) = 20000
 fctm (kgf/cm²) = 2000
 Dimensão máxima do agregado = 19 mm

Pilares		Elevação (cm)		Nível (cm)	
Nome	Seção (cm)	Elevação (cm)	Nível (cm)		
P1	20 x 40	0	893		
P2	20 x 40	0	893		
P3	20 x 40	0	893		
P4	20 x 40	0	893		
P5	20 x 40	0	893		
P6	20 x 40	0	893		
P7	20 x 40	0	893		
P8	20 x 40	0	893		
P9	15 x 55	0	893		
P10	20 x 40	0	893		
P11	15 x 55	0	893		
P12	15 x 40	0	893		
P13	15 x 40	0	893		
P14	15 x 40	0	893		
P15	15 x 40	0	893		
P16	15 x 35	0	893		
P17	20 x 40	0	893		
P18	15 x 40	0	893		
P19	15 x 55	0	893		
P20	15 x 65	0	893		
P21	20 x 40	0	893		
P22	20 x 40	0	893		
P23	15 x 40	0	893		
P24	15 x 55	0	893		
P25	15 x 55	0	893		
P26	15 x 65	0	893		
P27	20 x 40	0	893		
P28	15 x 40	0	893		
P29	20 x 40	0	893		
P30	15 x 65	0	893		
P31	15 x 55	0	893		
P32	15 x 40	0	893		
P33	15 x 65	0	893		
P34	15 x 55	0	893		
P35	20 x 40	0	893		
P36	20 x 40	0	893		
P37	20 x 40	0	893		
P38	20 x 40	0	893		
P39	20 x 40	0	893		
P40	20 x 40	0	893		
P41	20 x 40	0	893		
P42	20 x 40	0	893		
P43	20 x 40	0	893		
P44	20 x 40	0	893		
P45	20 x 40	0	893		
P46	20 x 40	0	893		
P47	20 x 40	0	893		
P48	20 x 40	0	893		
P49	20 x 40	0	893		

Legenda dos Pilares
 ■ Pilar que mora
 ▨ Pilar que passa
 □ Pilar que nasce
 ▩ Pilar com mudança de seção

PLANTA DE FÔRMA - ESTRUTURA CONVENCIONAL
 HOTEL MARINO - PAVIMENTO TIPO
 RUA JOSÉ AUGUSTO QUEIROZ, CENTRO. Nº 150
 PATOS DE MINAS - MG 38700-000
 DATA: 02/01/2019 REV. 01 FOLHA: 1/1
 ESCALA: 1:75
 RESP. TÉCNICO: HENRIQUE TADEU

574 **Apêndice B: Levantamento de custos da estrutura convencional.**

Pilares						
Material	Qtde	V.Unitário		V.Total		%
Aço CA-50 10,0mm (kg)	239,6	R\$	7,00	R\$	1.677,20	9,6%
Aço CA-50 12,5mm (kg)	211,8	R\$	6,33	R\$	1.340,69	7,6%
Aço CA-50 16,0mm (kg)	663,7	R\$	5,98	R\$	3.968,93	22,6%
Aço CA-60 5,0mm (kg)	224,7	R\$	9,51	R\$	2.136,90	12,2%
Fôrmas (m²)	136,3	R\$	39,09	R\$	5.327,19	30,3%
Concreto C30 (m³)	8,5	R\$	366,83	R\$	3.103,38	17,7%

Total R\$ 17.554,28

Vigas						
Material	Qtde	V.Unitário		V.Total		%
Aço CA-50 6,3mm (kg)	318,3	R\$	8,51	R\$	2.708,73	5,0%
Aço CA-50 8,0mm (kg)	79,3	R\$	8,52	R\$	675,64	1,2%
Aço CA-50 10,0mm (kg)	262,3	R\$	7,00	R\$	1.836,10	3,4%
Aço CA-50 12,5mm (kg)	318,5	R\$	6,33	R\$	2.016,11	3,7%
Aço CA-50 16,0mm (kg)	655,3	R\$	5,98	R\$	3.918,69	7,2%
Aço CA-50 20,0mm (kg)	1105,4	R\$	5,55	R\$	6.134,97	11,3%
Aço CA-60 5,0mm (kg)	560,5	R\$	9,51	R\$	5.330,36	9,8%
Fôrmas (m²)	411,9	R\$	47,32	R\$	19.492,05	35,9%
Concreto C30 (m³)	30,7	R\$	396,75	R\$	12.184,19	22,4%

Total R\$ 54.296,84

Lajes						
Material	Qtde	V.Unitário		V.Total		%
Aço CA-50 6,3mm (kg)	34,3	R\$	7,75	R\$	265,83	0,2%
Aço CA-50 8,0mm (kg)	369,2	R\$	7,94	R\$	2.931,45	2,1%
Aço CA-50 10,0mm (kg)	870,4	R\$	6,53	R\$	5.683,71	4,0%
Aço CA-50 12,5mm (kg)	9144,5	R\$	5,97	R\$	54.592,67	38,8%
Aço CA-50 16,0mm (kg)	1883,0	R\$	5,73	R\$	10.789,59	7,7%
Aço CA-60 5,0mm (kg)	450,9	R\$	8,50	R\$	3.832,65	2,7%
Fôrmas (m²)	830,0	R\$	15,84	R\$	13.146,41	9,3%
Concreto C30 (m³)	124,5	R\$	396,75	R\$	49.391,41	35,1%

Total R\$ 140.633,71

Resumo por elemento estrutural			
Elemento		Valor	%
Pilares	R\$	17.554,28	8,3%
Vigas	R\$	54.296,84	25,6%
Lajes	R\$	140.633,71	66,2%

Total R\$ 212.484,83

Resumo por material			
Material		Valor	%
Aço	R\$	109.840,20	51,7%
Fôrmas	R\$	37.965,65	17,9%
Concreto	R\$	64.678,98	30,4%

Total R\$ 212.484,83

575

576 **Apêndice C: Dimensionamento de lajes lisas.**

Md	Md, positivo	Md, negativo
h (cm)	20,0	20,0
d (cm)	17,5	17,5
Md (kN.m/m)	34,8	58,2
Kc	8,8	5,3
Ks	0,024	0,024
Aço	CA-50	CA-50
φ (mm)	8,0	12,5
As (cm²) /m	4,8	8,0
As, min (cm²/m)	3,0	3,0
As, adot (cm²) /m	4,8	8,0
Barras/m	9,5	6,6
S (cm)	9,5	13,6
S adot (cm)	9,0	12,0
Barras/m Adotado	11,00	9,00

577

578

579

580 **Apêndice D: Levantamento de custos da estrutura laje lisas.**

Pilares						
Material	Qtde	V.Unitário		V.Total		%
Aço CA-50 10,0mm (kg)	239,6	R\$	7,00	R\$	1.677,20	9,6%
Aço CA-50 12,5mm (kg)	211,8	R\$	6,33	R\$	1.340,69	7,6%
Aço CA-50 16,0mm (kg)	663,7	R\$	5,98	R\$	3.968,93	22,6%
Aço CA-60 5,0mm (kg)	224,7	R\$	9,51	R\$	2.136,90	12,2%
Fôrmas (m²)	136,3	R\$	39,09	R\$	5.327,19	30,3%
Concreto C30 (m³)	8,5	R\$	366,83	R\$	3.103,38	17,7%
Total				R\$	17.554,28	

Lajes						
Material	Qtde	V.Unitário		V.Total		%
Aço CA-50 8,0mm (kg)	7913,6	R\$	7,94	R\$	62.833,95	27,4%
Aço CA-50 12,5mm (kg)	14046,6	R\$	5,97	R\$	83.858,19	36,5%
Fôrmas (m²)	830,0	R\$	15,84	R\$	13.146,41	5,7%
Concreto C30 (m³)	166,0	R\$	396,75	R\$	65.856,53	28,7%
Conj. com dois verg. CA-50 6,3mm (und)	102,0	R\$	15,76	R\$	1.607,52	0,7%
Conj. com três verg. CA-50 6,3mm (und)	66,0	R\$	22,32	R\$	1.473,12	0,6%
Conj. com quatro verg. CA-50 6,3mm (und)	12,0	R\$	28,96	R\$	347,52	0,2%
Conj. com três verg. CA-50 8,0mm (und)	6,0	R\$	24,08	R\$	144,48	0,1%
Conj. com quatro verg. CA-50 8,0mm (und)	6,0	R\$	31,20	R\$	187,20	0,1%
Total				R\$	229.454,91	

Resumo por elemento estrutural			
Elemento	Valor		%
Pilares	R\$	17.554,28	7,1%
Lajes	R\$	229.454,91	92,9%
Total		R\$	247.009,20

Resumo por material			
Material	Valor		%
Aço	R\$	159.575,69	64,6%
Fôrmas	R\$	18.473,59	7,5%
Concreto	R\$	68.959,91	27,9%
Total		R\$	247.009,20

