

ANÁLISE DO EFEITO DA VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO NOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE UMA EDIFICAÇÃO DE PEQUENO PORTE

⁽¹⁾ Thayná Franchi Castilieri

⁽²⁾ Marília Gonçalves Marques

⁽¹⁾ Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba

⁽²⁾ Professora do curso de Engenharia Civil - Universidade Federal de Viçosa, Campus Rio Paranaíba

Presidente da banca: Marília Gonçalves Marques

Membro 1: Simone Rodrigues Campos Ruas

Membro 2: Markssuel Teixeira Marvila

11 de agosto de 2022

RESUMO: Atualmente, com os crescentes avanços tecnológicos, os *softwares* de dimensionamento tornaram-se uma ferramenta essencial para a execução de projetos estruturais que combinam segurança e viabilidade econômica. Assim, o objetivo deste trabalho foi realizar o dimensionamento estrutural de uma edificação de pequeno porte utilizando o *software* TQS versão 23.2. A edificação é um sobrado residencial de 269,34 m². Optou-se por variar a resistência à compressão do concreto em quatro valores: 25 MPa, 40 MPa, 60 MPa e 80 MPa. Os elementos verificados no dimensionamento foram as lajes, vigas e pilares. O orçamento foi realizado com o auxílio de tabelas, propostas pela SINAPI, para composição de custos. Com base nos resultados obtidos, foi possível realizar análises referentes às flechas, onde verificou-se a redução das mesmas conforme o aumento da resistência à compressão. Por fim, foram analisados os custos referentes ao consumo de concreto, fôrma e aço, bem como o custo direto total para cada resistência, onde foi concluído que para uma residência de pequeno porte, a melhor alternativa referente a custo-benefício, seria obtida com a utilização do concreto com resistência de 40 MPa.

PALAVRAS-CHAVE: Custo, Dimensionamento estrutural, Seção transversal.

ABSTRACT: Currently, with increasing technological advances, structural design software became an essential tool for the execution of structural projects that combine safety and economic viability. Thus, the objective of this work was to carry out the structural design of a small building using the TQS software version 23.2. The building is a residential townhouse of 269.34 m². He chose to vary the compressive strength of the concrete in four values: 25 MPa, 40 MPa, 60 MPa and 80 MPa. The elements verified in the design were the slabs, beams and pillars. The budget was made with the aid of tables, proposed by SINAPI, for cost composition. Based on the results obtained, it was possible to carry out analyzes referring to the arrows, where it was verified their reduction according to the

36 increase in the strength of the concrete. Finally, the costs related to the consumption of concrete,
37 formwork and steel were analyzed, as well as the final budget for each resistance, where it was
38 concluded that for a small residence, the best cost-benefit alternative would be obtained with the use
39 of concrete with a strength of 40 MPa.

40 **KEY-WORDS:** Cost, Structural design, Transversal section.

41

42 1. INTRODUÇÃO

43 Um projeto estrutural é composto, de maneira simplificada, por algumas fases, que segundo
44 Terhorst e Silva (2018) são: a concepção estrutural, que é realizada em conjunto com a análise do
45 projeto arquitetônico; o pré-dimensionamento; e por fim, o dimensionamento final da estrutura.
46 Inicialmente, os projetos estruturais eram realizados manualmente, tanto a parte do dimensionamento
47 quanto do detalhamento, o que demandava um tempo demasiadamente elevado para a obtenção de
48 um sistema que atendesse os preceitos de economia, segurança e funcionalidade. (FREITAS *et al*,
49 2014; DORTAS *et al*, 2021)

50 Com os avanços tecnológicos, foram desenvolvidos uma série de *softwares* de
51 dimensionamento estrutural, como o TQS, que utiliza em sua análise o método dos elementos finitos
52 (MEF). Segundo Soriano (2003), o MEF consiste na “divisão do domínio de um meio contínuo em
53 um número discreto de subdomínios interligados entre si por pontos em seus contornos de maneira
54 que o conjunto desses subdomínios se comporte de forma semelhante ao meio contínuo original”.

55 Uma das vantagens da utilização dos *softwares* é a facilidade e rapidez na alteração de
56 parâmetros importantes para dimensionamento, o que permite realizar diversas avaliações na
57 estrutura, até a obtenção do melhor resultado referente ao desempenho da mesma, bem como as
58 questões econômicas.

59 Entre os parâmetros necessários para o dimensionamento de uma estrutura, um dos principais
60 é a resistência característica à compressão do concreto. De acordo com Bastos (2019) é obtida através
61 de ensaios com corpos de prova cilíndricos padronizados conforme a NBR 5738, após 28 dias, sendo
62 o valor obtido adotado como parâmetro básico para os cálculos de dimensionamento.

63 Amplamente relacionado com a resistência à compressão do concreto está a área da seção
64 transversal dos elementos estruturais, visto que concretos mais resistentes possibilitam a redução da
65 seção transversal. (LANINI *et al.*, 2019)

66 Com base nisso, a realização da análise dos efeitos da variação do concreto se apresenta como
67 uma alternativa que possibilita a realização da otimização estrutural. Consoante Soares *et al.* (2021)
68 consiste em propiciar soluções mais econômicas, sem ultrapassar as questões de qualidade e
69 segurança estrutural, sendo esse conceito cada vez mais difundido, devido à competitividade presente

70 no mercado. À vista disso acarreta nas empresas a necessidade de redução dos materiais utilizados
71 com foco na redução dos custos, porém como já citado, atentando-se sempre à segurança.

72 Diante desse contexto, as normas técnicas brasileiras começaram a ser remodeladas, com o
73 intuito de regulamentar as novas tecnologias que foram surgindo. Como exemplo, é possível citar a
74 NBR 6118 (2014), que em sua versão mais recente inseriu uma nova classe de parâmetros para
75 dimensionamento de estruturas com a utilização de concretos de alto desempenho, onde se enquadram
76 resistências à compressão entre 50 a 90 MPa.

77 Visando a otimização do dimensionamento das estruturas, diversos autores apresentam o estudo
78 da variação da resistência do concreto em suas publicações. Dentre eles está Lanini *et al.* (2019), que
79 realizou uma análise para edifícios entre 3 a 21 pavimentos, fazendo variar a resistência à compressão
80 do concreto entre 25 a 40 MPa. Os autores concluíram que o aumento da resistência reduz as seções
81 transversais dos elementos. Sendo observado ainda, que para o padrão de edificação analisado não
82 houveram diferenças substanciais relacionadas ao consumo de fôrmas quando variada a resistência,
83 e por fim, foram apresentados custos globais menores para resistências inferiores a 35 MPa.

84 Outra autora a realizar essa análise é Souza (2020), que realizou o estudo em um edifício de 5
85 pavimentos, sendo que os resultados obtidos corroboram com as conclusões propostas por Lanini *et*
86 *al.* (2019), visto que a resistência de 35 MPa foi a que gerou os menores custos globais para a
87 estrutura.

88 Assim, é visível que a análise do efeito da variação do concreto é um tema de estudo para
89 diversos autores, porém também é possível verificar que na maior parte dos casos, o objeto de estudo
90 se concentra em edifícios multifamiliares, acima de três pavimentos. Com base nisso, procurou-se
91 realizar essa análise em uma edificação de pequeno porte, especificamente, em uma residência
92 unifamiliar de dois pavimentos, visando complementar os resultados já existentes para edificações de
93 maior porte, e também introduzir a utilização de concretos de alto desempenho.

94 O objetivo deste trabalho é, portanto, realizar o dimensionamento de uma edificação de pequeno
95 porte para quatro valores de resistência à compressão do concreto, 25 MPa, 40 MPa, 60 MPa e 80
96 MPa. Visando ainda a variação de custos com o aumento da resistência à compressão do concreto,
97 bem como a variação da seção transversal dos elementos estruturais e o comportamento das flechas
98 com esse aumento.

99

100 **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

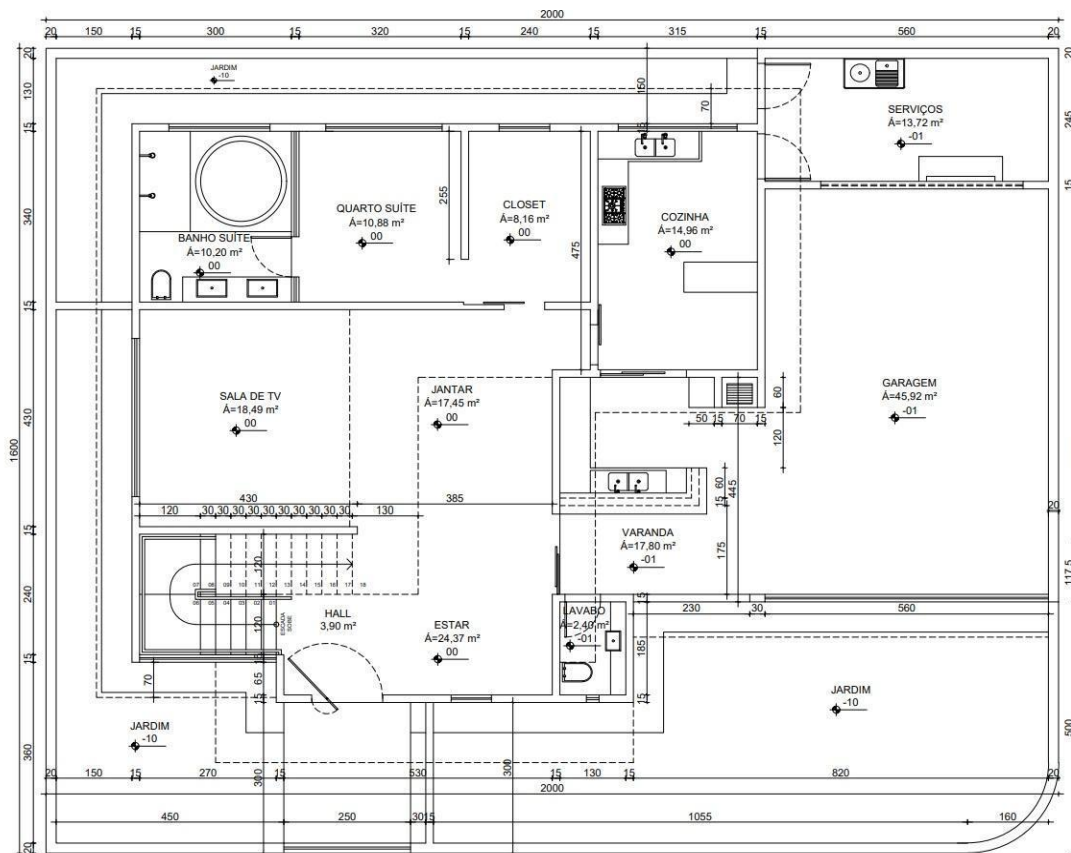
101 **2.1 Estudo de caso**

102 Para este trabalho, foi utilizado um projeto arquitetônico idealizado para a cidade de Patos de
103 Minas, em Minas Gerais. A edificação possui uma área total de 269,34 m² distribuídos em dois

104 pavimentos, sendo o pavimento 1 apresentado na Figura 1. O projeto arquitetônico do pavimento 1 é
105 apresentado na Figura A.1 do Apêndice A.

106

Figura 1: Projeto arquitetônico do pavimento térreo.



107

108

Fonte: Projeto arquitetônico elaborado por Mariana Queiroz Pereira (2014).

109

110 2.2 Pré-dimensionamento

111 Primeiramente, antes de iniciar de fato o dimensionamento, foi realizado o pré-
112 dimensionamento desta edificação, referente a seção transversal dos elementos, e posteriormente
113 foram lançados os pilares e as vigas no projeto com o auxílio do *software* AutoCAD.

114 Para essa etapa foram utilizadas as informações contidas no projeto arquitetônico, como a
115 espessura da alvenaria, visando determinar a seção transversal das vigas e pilares. E, também, a
116 análise do projeto para evitar incompatibilidades entre a altura das vigas com as esquadrias da
117 edificação.

118 Foram verificados os itens necessários referentes a NBR 6118 (2014) - Projeto de estruturas de
119 concreto, como espessura mínima das lajes. Além das determinações de norma, foram avaliadas
120 algumas recomendações experimentais para o pré-dimensionamento, como os vãos econômicos para
121 lajes maciças, que de acordo com Albuquerque (1999), sua menor dimensão deve variar entre 3,5 m
122 a 5,0 m. Referente às vigas e pilares, foram determinadas as seções transversais iniciais de 14x30

123 para ambos elementos. Em relação às lajes, a espessura inicial adotada foi de 10 cm para as lajes em
124 balanço e 8 cm para as demais lajes.

125

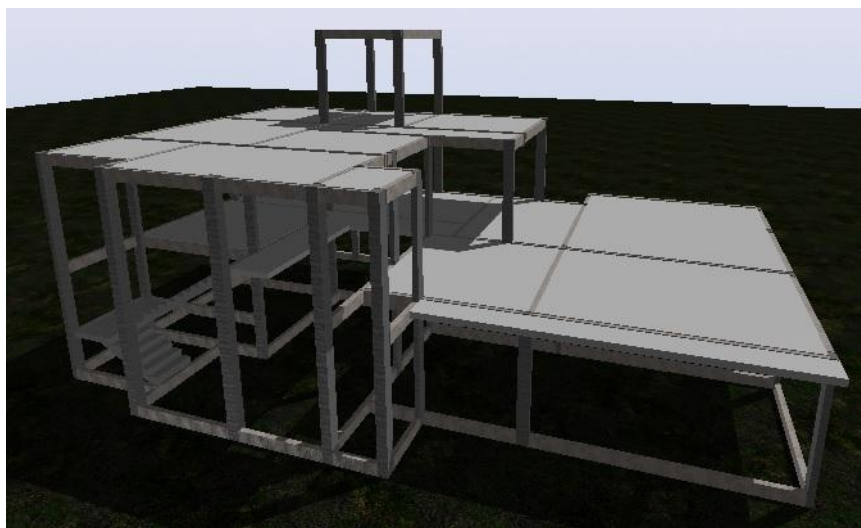
126 **2.3 Dimensionamento**

127 Com base no pré-dimensionamento, iniciou-se o dimensionamento das vigas, lajes e pilares no
128 *software* TQS versão 23.2 para estudantes. Para a avaliação dos efeitos da variação da resistência do
129 concreto na estrutura, foram propostos quatro valores distintos para a mesma, sendo elas 25 MPa, 40
130 MPa, 60 MPa e 80 MPa. A Figura 2 apresenta a modelagem da edificação no *software* para a classe
131 C25.

132 No caso das resistências de 25 MPa e 40 MPa, em todos os elementos estruturais, foram
133 adotadas as respectivas resistências. Porém, para as edificações com resistências de 60 MPa e 80 MPa
134 o sistema do *software* não está habilitado para valores superiores a 50 MPa para vigas e lajes. Desta
135 forma, a resistência adotada para ambos os casos foi o limite disponível de 50 MPa para vigas e lajes,
136 e para os pilares foram adotadas as resistências finais de 60 MPa e 80 MPa.

137

Figura 2: Modelagem da edificação no TQS.



138

139

Fonte: Autoria própria.

140 Após a dimensionamento dos elementos no Estado Limite Último (ELU), os mesmos foram
141 verificados para a Estado Limite de Serviço (ELS) com combinação quase permanente, através de
142 uma análise não-linear, que leva em consideração no cálculo a variação gradual da rigidez dos
143 elementos, conforme os incrementos de carga são aplicados.

144 **2.3.1 Dados do edifício**

145 Ao iniciar um projeto é necessário definir determinados parâmetros que serão utilizados no
146 dimensionamento, bem como definir os níveis dos pavimentos da edificação. Inicialmente foram
147 definidos termos gerais, como identificação, proprietário e endereço da obra. Além disso, é necessário

148 escolher o tipo de estrutura, no caso desse projeto, foi escolhida a opção concreto armado e também
149 a norma em uso, ou seja, a NBR 6118 (2014).

150 Dentro do *software* TQS existem seis modelos estruturais distintos, porém os desenvolvedores
151 do mesmo aconselham apenas a utilização de dois deles, sendo eles o Modelo de vigas e pilares
152 flexibilizado conforme critérios (IV) e Modelo de vigas, pilares e lajes flexibilizado conforme critério
153 (VI), sendo os outros modelos disponíveis apenas para compatibilização com versões anteriores do
154 *software*. Para a versão estudante utilizada, somente o modelo IV se apresenta disponível, sendo o
155 edifício modelado por um pórtico espacial com as barras que simulam as vigas e pilares, e as lajes
156 baseadas nos modelos de grelhas.

157 Ainda dentro desse espaço é necessário realizar a escolha da classe de agressividade ambiental,
158 nesse caso adotada como classe II, com agressividade moderada, por se tratar de uma edificação em
159 ambiente urbano. Ao adotar uma classe de agressividade ambiental específica, os valores de
160 cobrimento já são adequados automaticamente para os valores da norma em uso. Porém, caso haja
161 necessidades específicas para determinado projeto é possível alterar esses parâmetros de forma
162 manual. No caso deste estudo, os valores utilizados foram os propostos pela norma de acordo com a
163 classe de agressividade, sendo para lajes 2,5 cm e para vigas e pilares 3 cm.

164 Em relação às cargas, dos subitens disponíveis no *software*, apenas a carga respectiva ao vento
165 sofreu modificações. Para a determinação dessa carga, foi necessário adotar um valor de velocidade
166 básica, que é determinado de acordo com as isopletras de vento, sendo para o município de Patos de
167 Minas - MG igual a 31 m/s, além disso são determinados coeficientes, que dependem do fator do
168 terreno, categoria de rugosidade e classe da edificação.

169 **2.3.2 Ações nos elementos estruturais**

170 Relativo à carga das lajes, para o pavimento 1 a carga permanente adotada foi de 0,50 kN/m² e
171 a carga acidental de 1,50 kN/m², de acordo com a NBR 6120 (2019) para dormitórios e banheiros.
172 Para o pavimento cobertura e barrilete, tanto a carga permanente quanto a acidental foram adotadas
173 como 0,50 kN/m².

174 Para as cargas referentes a alvenaria, onde as mesmas são apoiadas em vigas ou lajes, foi
175 utilizado o sistema alfanumérico do *software*, com a carga denominada TJVAZ15 - Alvenaria de
176 tijolo furado c/ 15cm e realizando as devidas alterações de altura da alvenaria, conforme necessário.

177 O carregamento relativo ao peso próprio dos elementos estruturais é calculado automaticamente
178 pelo *software*, com base na geometria do elemento modelado.

179

180 **2.4 Avaliação do custo final**

181 A realização do orçamento, para a avaliação dos custos totais da estrutura para cada uma das
182 resistências foi realizado com o auxílio das tabelas Preços de insumos e Custos de composições

183 analítico, ambas com valores desonerados, propostas pelo Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e
184 Índices da Construção Civil (SINAPI), referente ao estado de Minas Gerais, para junho de 2022. Para
185 a determinação do preço final, visando a execução dos componentes estruturais, foram considerados
186 os itens referentes à fabricação das fôrmas, aço e concreto. A Tabela 1 apresenta os códigos dos itens
187 utilizados da SINAPI e seus valores unitários.

188

189

Tabela 1: Preço unitário e código dos insumos (MG, jun./2022).

Insumo	Código	Unidade	Preço unitário (R\$)
Aço CA-60 5,0 mm	00043059	kg	10,06
Aço CA-50 6,3 mm	00000032	kg	11,22
Aço CA-50 8,0 mm	00000033	kg	11,28
Aço CA-50 10 mm	00000034	kg	10,63
Aço CA-50 12,5 mm	00043055	kg	9,21
Aço CA-50 16 mm	00043055	kg	9,21
Aço CA-50 20 mm	00043056	kg	10,62
Fôrma para pilar	92263	m ²	137,81
Fôrma para laje	92267	m ²	62,24
Fôrma para viga	92265	m ²	99,41
Concreto 25 MPa	00001527	m ³	556,93
Concreto 40 MPa	00034479	m ³	608,34
Concreto 50 MPa	00034483	m ³	679,14
Concreto 60 MPa	00034485	m ³	726,26
Concreto 80 MPa	Adotado	m ³	819,57

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

Fonte: Autoria própria.

Um inconveniente apresentado neste caso, foi que as tabelas utilizadas nesse estudo não apresentavam um valor para o concreto de 80 MPa. Assim, a alternativa adotada foi obter o preço atribuído a todas as resistências que constassem na tabela, com uma diferença de 10 MPa para cada dado, ou seja, foram utilizadas as resistências de 20, 30, 40, 50 e 60 MPa. Após a obtenção dos dados, foi realizado um cálculo para obter o aumento percentual dos preços ao longo do avanço da resistência. Posteriormente, foi gerada uma média desses valores com a finalidade de poder estimar um valor para a resistência de 80 MPa, com base nesse aumento percentual. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela B.1 no Apêndice B.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

202 Conforme apresentado anteriormente, foram elaborados quatro modelos distintos a serem
203 analisados, com base na variação da resistência à compressão do concreto.

204

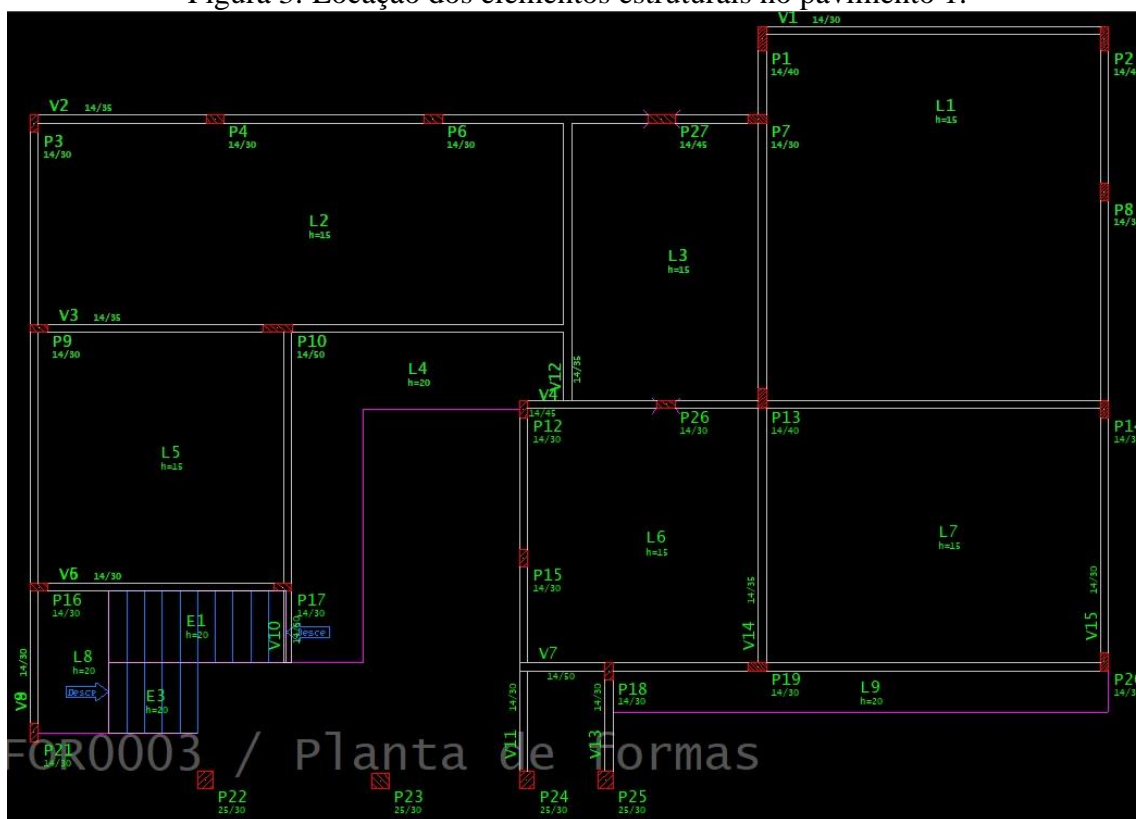
205 3.1 Aspectos comuns aos quatro casos

206 Inicialmente, visando a análise dos pilares, em todos os casos apresentados, os pilares que
207 estavam localizados nas áreas com pé direito duplo, denominados P22, P23, P24 e P25, foram
208 dimensionados apenas com seção transversal de 25x30 cm, uma vez que devido à instabilidade,
209 poderiam estar submetidos ao processo de flambagem. A locação dos elementos estruturais do
210 pavimento 1 pode ser observada na Figura 3 e também no Apêndice D.

211

212

Figura 3: Locação dos elementos estruturais no pavimento 1.



213

214

215

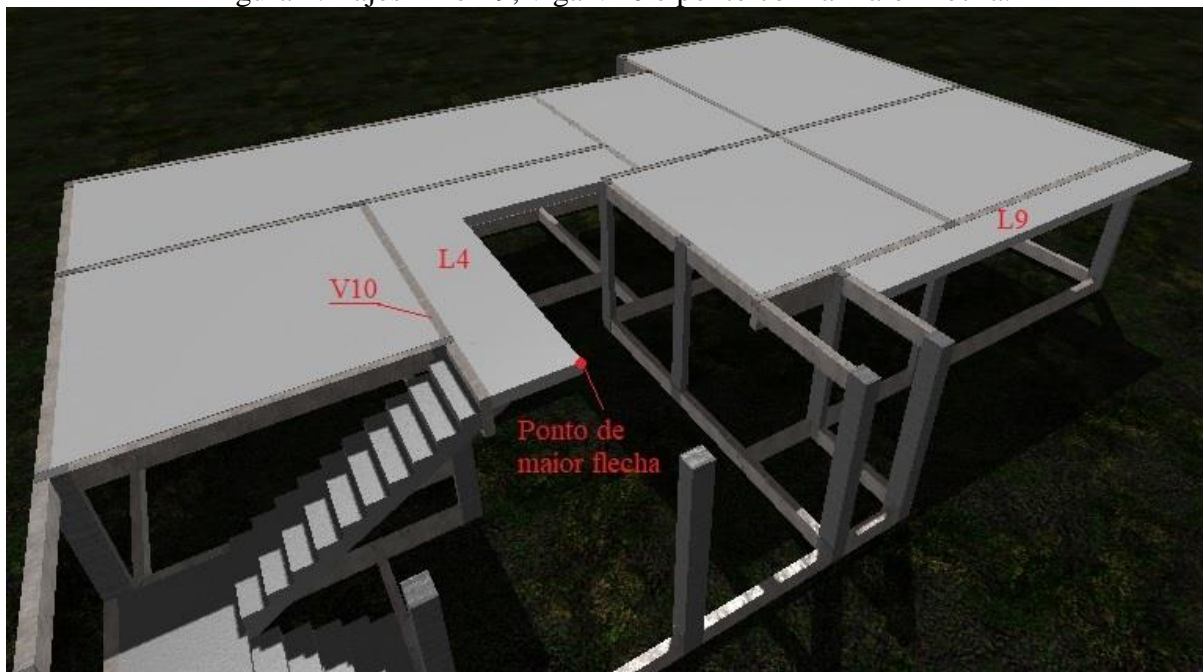
216

Fonte: Autoria própria.

217 Referente às lajes, foi possível observar um padrão em todos os casos analisados em relação às
218 duas lajes em balanço (L4 e L9). Ambas tiveram que ser dimensionadas com uma espessura superior
219 ao restante do pavimento, visando a aceitação das flechas analisadas no Estado Limite de Serviço.
220 Ainda sobre a laje L4, foi necessário ampliar a altura da viga V10, situada em uma das bordas dessa
221 laje, para 60 cm, com o objetivo de reduzir ao máximo a flecha no ponto mais solicitado da laje L4.
222 Na Figura 4 é possível verificar a localização das lajes L4 e L9, da viga V10 e do ponto onde ocorre
a maior flecha.

223 Outro fator importante a ser considerado é a redução da espessura das lajes conforme há o
224 aumento da resistência, uma vez que essa redução implica também na variação das flechas. Assim,
225 não é possível atribuir a alteração das flechas apenas a variação da resistência do concreto, e sim ao
226 conjunto composto pela espessura das lajes e a resistência do concreto.

227 Figura 4: Lajes L4 e L9, viga V10 e ponto com a maior flecha.



228
229 Fonte: Autoria própria.

230

231 3.2 Composição dos custos diretos

232 Para a composição dos custos diretos totais para cada uma das resistências analisadas foi
233 necessário obter os quantitativos referente a cada um dos insumos analisados. No caso das fôrmas e
234 do concreto, esse consumo teve que ser separado de acordo com os elementos estruturais, visto que
235 há uma variação dos preços conforme o elemento analisado. E em relação ao aço, a divisão do
236 consumo é feito com base nas bitolas utilizadas nos projetos.

237 Nas Tabelas C.1, C.2 e C.3, localizadas no Apêndice C, são apresentados os quantitativos
238 referentes ao consumo de aço, fôrma e concreto, para cada um dos modelos analisados.

239

240 3.3 Resistência de 25 MPa

241 Para o modelo estrutural com resistência de 25 MPa, os resultados obtidos para o
242 dimensionamento das vigas e pilares que tiveram a seção transversal alterada, em relação ao pré-
243 dimensionamento (14x30 cm), são apresentados na Tabela 2.

244 É possível verificar que a seção transversal de cinco pilares e dez vigas tiveram que ser
245 ampliadas para o correto dimensionamento. A espessura e as flechas existentes nas lajes do pavimento
246 1 são apresentadas na Tabela 3, em conjunto com a flecha limite e a contra flecha proposta nos casos

247 onde há necessidade da mesma. O pavimento 1 foi o local de ocorrência dos maiores valores de
 248 flechas, por apresentar cargas atuantes maiores.

249

Tabela 2: Seção transversal das vigas e pilares - 25 MPa

Pavimento	Vigas		Pilares	
	Nomenclatura	Seção (cm)	Nomenclatura	Seção (cm)
Fundação	VB2	14 x 35	P1	14 x 40
Pavimento 1	V2	14 x 35	P2	14 x 40
Pavimento 1	V3	14 x 35	P10	14 x 50
Pavimento 1	V4	14 x 45	P13	14 x 45
Pavimento 1	V7	14 x 50	P27	14 x 45
Pavimento 1	V10	14 x 60		
Pavimento 1	V12	14 x 35		
Pavimento 1	V14	14 x 35		
Cobertura	VC1	14 x 35		
Cobertura	VC2	14 x 45		

250

Fonte: Autoria própria.

251

252

Tabela 3: Espessura e flechas das lajes do pavimento 1 - 25 MPa.

Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Flecha (cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha (cm)	Verificação
L1	15	566,0	1,58	2,26	-	Ok
L2	15	341,0	1,19	1,36	-	Ok
L3	15	315,5	1,26	1,26	-	Ok
L4	20	120,5	2,05	0,48	1,57	Ok
L5	15	416,0	0,45	1,66	-	Ok
L6	15	391,0	0,22	1,56	-	Ok
L7	15	431,0	0,72	1,72	-	Ok
L8	20	120,5	0,49	0,48	0,01	Ok
L9	20	70,5	0,40	0,28	0,12	Ok

253

Fonte: Autoria própria.

254

255

No pavimento 1, as maiores flechas são de 1,58 cm na laje L1 e 2,05 cm na laje L4. Conforme já apresentado acima, a laje L4 possui um trecho em balanço, assim o alto valor da flecha pode ser

256 explicado por esse fato. A altura das lajes foi alterada para 15 e 20 cm. Com o intuito de minimizar
 257 esses efeitos, as vigas nas bordas dessa laje sofreram um aumento na altura, visando enrijecer a
 258 estrutura da laje. Para a laje L1, a flecha pode ser explicada pela dimensão elevada dos vãos da laje,
 259 porém, como a mesma se apresentava dentro dos limites, nenhuma medida foi executada para mitigar
 260 esses efeitos.

261 Para os demais pavimentos, devido às baixas solicitações da estrutura, as flechas não foram
 262 analisadas detalhadamente, uma vez que todos os valores obtidos apresentaram-se inferiores à flecha
 263 limite. Para a cobertura, foi adotada a espessura de 10 cm para todas as lajes, e para a laje do barrilete
 264 8 cm.

265 Na Tabela 4 são apresentados dados quantitativos referentes ao consumo de concreto, fôrma e
 266 aço, gerados através de um relatório disponibilizado pelo *software*, bem como o custo direto total
 267 para a resistência de 25 MPa, com base nos quantitativos e nas referências de preço obtidas na tabela
 268 SINAPI.

269 Tabela 4: Custo direto total - 25 MPa.

Concreto (m³)	57,88	Fôrma (m²)	603,01	Aço (kgf)	4635
Valor total (R\$)	32.235,11	Valor total (R\$)	55.360,62	Valor total (R\$)	49.312,47
Valor total geral (R\$) = 136.908,20					

270 Fonte: Autoria própria.

271

272 3.4 Resistência de 40 MPa

273 Para a resistência de 40 MPa, a seção transversal das vigas e pilares alterados após o
 274 dimensionamento são apresentados na Tabela 5.

275 Tabela 5: Seção transversal das vigas e pilares - 40 MPa.

Pavimento	Vigas		Pilares	
	Nomenclatura	Seção	Nomenclatura	Seção
Pavimento 1	V2	14 x 35	P1	14 x 40
Pavimento 1	V3	14 x 40	P2	14 x 40
Pavimento 1	V4	14 x 40	P27	14 x 35
Pavimento 1	V7	14 x 40		
Pavimento 1	V10	14 x 60		
Pavimento 1	V14	14 x 35		
Cobertura	VC2	14 x 40		

276 Fonte: Autoria própria.

277 Com o aumento da resistência é possível notar que houve uma redução dos elementos a serem
278 modificados. Neste caso, apenas três pilares e sete vigas tiveram a seção transversal modificada
279 visando atender os critérios de dimensionamento conforme a NBR 6118 (2014).

280 Os valores adotados para a espessura das lajes do pavimento 1, bem como as flechas a que as
281 mesmas estão submetidas são apresentadas na Tabela 6, nela também consta a contra flecha adotada
282 nos casos onde a flecha foi superior à flecha limite.

283 Tabela 6: Espessura e flechas das lajes do pavimento 1 - 40 MPa.

Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Flecha (cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha (cm)	Verificação
L1	13	566,0	1,50	2,26	-	Ok
L2	13	341,0	1,17	1,36	-	Ok
L3	13	315,5	1,16	1,26	-	Ok
L4	18	120,5	1,81	0,48	1,33	Ok
L5	13	416,0	0,48	1,66	-	Ok
L6	13	391,0	0,18	1,56	-	Ok
L7	13	431,0	0,79	1,72	-	Ok
L8	18	120,5	0,27	0,48	-	Ok
L9	18	70,5	0,47	0,28	0,19	Ok

284 Fonte: Autoria própria.

285

286 Semelhante a resistência de 25 MPa, para esse modelo as maiores flechas também ocorreram
287 para as lajes L1 e L4. Porém foi possível notar o efeito do aumento da resistência do concreto, uma
288 vez que, de modo geral, houve uma diminuição das flechas.

289 Mesmo com a redução geral das flechas, é possível notar que algumas lajes estão submetidas a
290 flechas maiores que o modelo de 25 MPa. As lajes L7 e L9 podem ser explicadas devido a redução
291 da altura da viga V7, que se localiza entre essas duas lajes, o que reduz a rigidez dos elementos e
292 consequentemente leva ao aumento da flecha. E para a laje L5 esse aumento pode ter sido provocado
293 pela redução da espessura da laje no modelo 40 MPa de 15 cm para 13 cm.

294 Para o pavimento cobertura e o barrilete, as lajes foram dimensionadas com uma espessura de
295 8 cm, e as flechas não foram apresentadas, pois não havia nenhum valor crítico que embasasse uma
296 discussão sobre elas. O custo direto total para a resistência de 40 MPa, bem como o valor total
297 referente a cada um dos insumos, é apresentado na Tabela 7.

298

Tabela 7: Custo direto total - 40 MPa.

Concreto (m ³)	50,82	Fôrma (m ²)	599,14	Aço (kgf)	4627
Valor total (R\$)	30.915,84	Valor total (R\$)	54.789,93	Valor total (R\$)	49.506,81
Valor total geral (R\$) = 135.212,57					

299

300

301

302

303

304

305

306

307

3.5 Resistência de 60 MPa

308

309

310

Em geral, é visível que o material para a fabricação das fôrmas corresponde a maior parcela do custo direto, visto que a quantidade utilizada desse insumo, bem como seu valor unitário apresentam valores relativamente altos, seguido pelo aço, e por fim pelo concreto. Comparado com o modelo de 25 MPa, é possível verificar que os valores obtidos para o custo direto total foram semelhantes, apresentando uma diferença de aproximadamente 1,239%.

Para o modelo estrutural que foi adotado resistência de 60 MPa, as dimensões finais para as vigas e pilares são apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Seção transversal das vigas e pilares - 60 MPa.

Pavimento	Vigas		Pilares	
	Nomenclatura	Seção (cm)	Nomenclatura	Seção (cm)
Pavimento 1	V2	14 x 35	P1	14 x 40
Pavimento 1	V3	14 x 40	P2	14 x 35
Pavimento 1	V4	14 x 40	P27	14 x 35
Pavimento 1	V7	14 x 40		
Pavimento 1	V10	14 x 60		
Pavimento 1	V14	14 x 35		
Cobertura	VC2	14 x 40		

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

Fonte: Autoria própria.

A partir da resistência de 60 MPa, foi necessário adotar, para as vigas e lajes, a resistência de 50 MPa, devido às limitações do *software*. Constata-se, portanto, que a seção transversal das vigas se mantém igual a resistência anterior, e apenas os pilares apresentam diminuição da sua seção.

Para uma melhor compreensão do comportamento das lajes do pavimento 1, são apresentadas na Tabela 9 a espessura adotada, em conjunto com as flechas a que estão submetidas.

Realizando uma comparação com a resistência de 40 MPa, observa-se que todas as flechas, com exceção da laje L4, sofreram redução em seus valores. Para a laje L4 é possível observar um valor superior ao obtido na resistência de 40 MPa, esse fato pode ser explicado pois a variação da resistência

321 do concreto nas lajes, neste caso apenas 10 MPa, não foi tão significativa a ponto de compensar a
322 diferença, entre os dois casos, da redução de 2 cm na espessura da laje.

323 Assim como nas resistências anteriores, as flechas não foram apresentadas para o pavimento
324 cobertura e barrilete, e a espessura das lajes foram mantidas com 8 cm, coincidente com o obtido na
325 resistência de 40 MPa.

326 Tabela 9: Espessura e flechas das lajes do pavimento 1 - 60 MPa.

Laje	Espessura (cm)	Vão (cm)	Flecha (cm)	Flecha limite (cm)	Contra flecha (cm)	Verificação
L1	12	566,0	1,27	2,26	-	Ok
L2	12	341,0	1,08	1,36	-	Ok
L3	12	315,5	1,05	1,26	-	Ok
L4	16	120,5	2,07	0,48	1,59	Ok
L5	12	416,0	0,44	1,66	-	Ok
L6	12	391,0	0,16	1,56	-	Ok
L7	12	431,0	0,69	1,72	-	Ok
L8	16	120,5	0,26	0,48	-	Ok
L9	16	70,5	0,41	0,28	0,13	Ok

327 Fonte: Autoria própria.

328

329 A Tabela 10 apresenta o custo direto para o modelo descrito acima, que combina a resistência
330 de 50 MPa para vigas e lajes, e 60 MPa para os pilares.

331

332 Tabela 10: Custo direto - 60 MPa.

Concreto (m ³)	49,97	Fôrma (m ²)	599,70	Aço (kgf)	4925
Valor total (R\$)	34.239,14	Valor total (R\$)	54.833,08	Valor total (R\$)	52.826,73
Valor total geral (R\$) = 141.898,95					

333

334

335 3.6 Resistência de 80 MPa

336 Para a estrutura com resistência de 80 MPa, foi constatado que todos os elementos estruturais
337 mantiveram as mesmas seções transversais obtidas na resistência de 60 MPa, que está apresentada na
338 Tabela 8. As flechas presentes nas lajes também foram constantes e não apresentaram nenhuma
339 diferença dos valores apresentados na Tabela 9.

340 O fator principal para essas duas resistências gerarem dimensionamentos iguais, em relação a
 341 seção transversal, é a constância na resistência do concreto utilizada nas vigas e lajes, fixada em 50
 342 MPa para ambos os casos. E em relação aos pilares, a seção transversal foi conservada uma vez que,
 343 para a resistência de 60 MPa, os pilares que foram modificados já passavam no dimensionamento do
 344 ELU para a seção mínima, porém essas seções foram ampliadas devido aos elevados valores para
 345 taxa de aço. Assim, para o caso de 80 MPa, como a taxa de aço ainda estava muito próxima ao limite
 346 máximo proposto por norma, os mesmos critérios foram mantidos.

347 Na Tabela 11 são apresentados dados quantitativos referentes ao consumo de concreto, aço e
 348 fôrmas, em conjunto com o custo direto total para essa resistência.

349 Tabela 11: Custo direto total - 80 MPa.

Concreto (m ³)	49,97	Fôrma (m ²)	599,70	Aço (kgf)	4929
Valor total (R\$)	34.838,19	Valor total (R\$)	54.833,08	Valor total (R\$)	52.834,18

Valor total geral (R\$) = 142.505,45

350 Fonte: Autoria própria.

351 Em relação aos custos é possível notar que o valor total referente às fôrmas foi igual a resistência
 352 de 60 MPa. Para o concreto, mesmo o volume utilizado sendo idêntico, o valor final para esse insumo
 353 é diferente, já que o preço do concreto aumenta conforme há o aumento da resistência. Por fim,
 354 referente ao aço, as quantidades e preço final foram praticamente iguais.

356 3.7 Análise comparativa

357 Ao realizar uma análise em relação aos pilares para cada resistência adotada, é possível notar
 358 que em todos os modelos houve o aumento da seção transversal de no mínimo três pilares. A Tabela
 359 12 apresenta os dados referentes ao dimensionamento dos pilares para as quatro resistências
 360 analisadas e a relação existente entre elas. Ela é composta pela área total das seções transversais dos
 361 pilares no pré-dimensionamento. Também são apresentadas as áreas referentes às novas seções
 362 transversais, após o dimensionamento, e por fim obteve-se a quantificação das áreas que foram
 363 aumentadas, entre o processo de pré-dimensionamento e dimensionamento.

364 Tabela 12: Relação entre a seção transversal dos pilares.

Resistência (MPa)	Seção pré-dimensionamento (cm ²)	Seção dimensionada (cm ²)	Aumento das seções (cm ²)	Relação entre aumento das seções
25	11340	12320	980	C25/C25 1,00
40	11340	11690	350	C25/C40 2,80
60	11340	11620	280	C25/C60 3,50
80	11340	11620	280	C25/C80 3,50

365 Fonte: Autoria própria.

366 Analisando os dados apresentados acima, é visível a significativa diferença entre o aumento das
367 seções transversais para 25 MPa em comparação com os outros três casos, sendo 2,80 e 3,50 vezes
368 maior que a área ampliada para os casos de 40 e 60 MPa, respectivamente.

369 Para as vigas, seguindo com a avaliação do aumento da seção transversal, foi concluído que
370 para as resistências de 40, 60 e 80 MPa o aumento se apresentou constante e igual a 1120 cm², já para
371 a resistência de 25 MPa esse valor é superior, sendo igual a 1540 cm². Em termos percentuais,
372 observa-se um aumento de 37,5%, comparando o valor obtido para a classe C25, com as demais
373 analisadas.

374 Os resultados obtidos para as lajes, com relação às espessuras, foram resumidos na Tabela 13,
375 a coluna do Pavimento 1 apresenta dois valores de espessura, pois conforme citado anteriormente,
376 algumas lajes mais solicitadas necessitaram de uma espessura superior.

377

Tabela 13: Espessura das lajes.

Resistência (MPa)	Espessura (cm)			
	Pavimento 1	Cobertura	Barrilete	
25	20	15	10	8
40	18	13	8	8
60	16	12	8	8
80	16	12	8	8

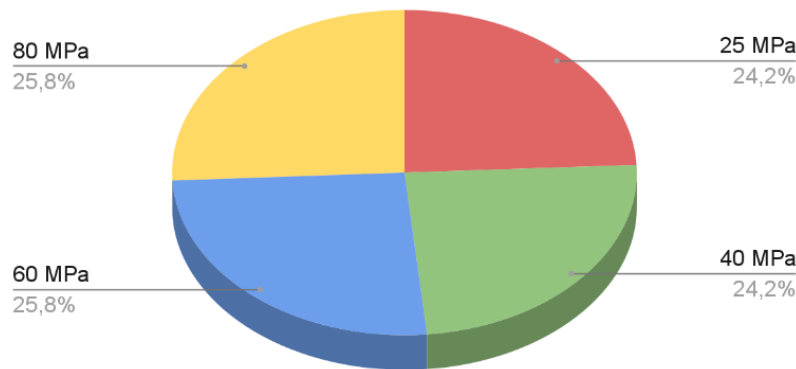
378 Fonte: Autoria própria.

379
380 Verifica-se que em todas as resistências, a laje do barrilete se manteve constante, e para a
381 cobertura, apenas o caso C25 apresentou a necessidade de ampliação da espessura das lajes. Para o
382 pavimento 1, é possível observar melhor a variação da espessura com base no aumento gradual da
383 resistência do concreto. Utilizando como base as menores espessuras, nota-se uma redução na altura
384 das lajes de aproximadamente 13,33% para 40 MPa e 20% para 60 MPa e 80 MPa, em comparação
385 com os dados para a resistência de 25 MPa.

386 Referente a quantidade de aço utilizada nas estruturas, foi possível observar que as duas maiores
387 resistências foram as que mais utilizaram aço no dimensionamento de seus elementos. Isso se deve
388 ao fato da seção de concreto ter sido menor. Para todas as resistências, os valores não apresentaram
389 uma grande diferença entre si, que pode ser visualizada na Figura 5. Rohden *et al.* (2018) também
390 encontraram resultados semelhantes para estruturas de pequeno porte, que atribui esse fato aos
391 carregamentos desse tipo de edificação, que não são tão elevados.

392
393
394

Figura 5: Consumo de aço.



396

397

Fonte: Autoria própria.

398

399

400

401

402

403

Avaliando o consumo de fôrmas para essa estrutura, observou-se que os valores foram muito próximos para todas as resistências. O maior consumo de fôrmas foi para a resistência de 25 MPa, realizando um comparativo entre ela e as demais resistências é possível verificar uma redução de 0,64% para C40, 0,55% para C60 e 0,84% para C80. Ou seja, conforme citado anteriormente, os valores são aproximadamente iguais, o que não torna esse insumo um fator determinante para a variação dos custos diretos totais.

404

405

406

407

408

Relativo aos valores do preço do m³ do concreto é possível notar um aumento de 8,45% entre a classe C25 e C40, 16,24% entre C40 e C60, sendo esse o maior aumento entre as classes analisadas, e 11,39% entre C60 e C80. Assim, devido ao considerável aumento do preço entre as resistências, mesmo uma variação pequena do volume de concreto utilizado, gera uma considerável ampliação do custo direto total.

409

410

411

Para visualizar o consumo do concreto nos quatro casos estudados, os dados obtidos foram plotados e apresentados na Figura 6. É possível observar que a alteração mais significativa e visível nos valores de consumo de concreto ocorre apenas para a resistência de 25 MPa.

412

413

414

Em resumo, realizou-se o apanhado geral de todas as informações apresentadas para a elaboração dos custos diretos totais respectivo a cada uma das resistências analisadas, os resultados podem ser observados na Figura 7.

415

416

417

418

419

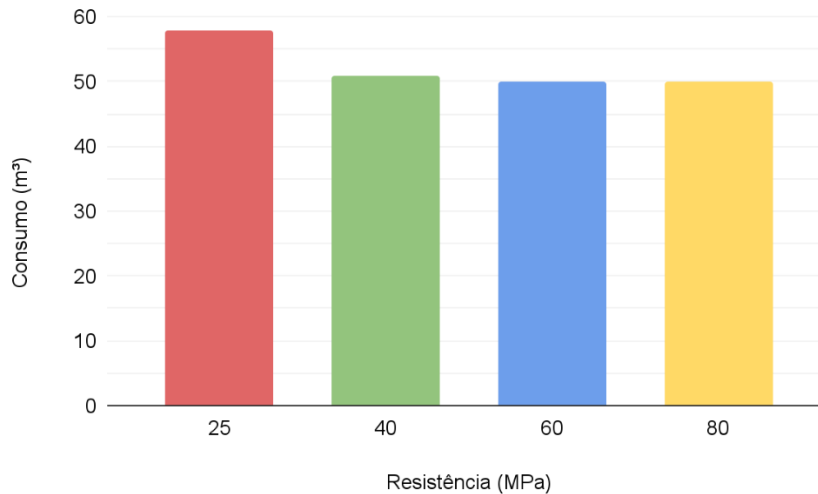
420

421

A classe que apresentou o menor orçamento foi a de 40 MPa, seguida pela resistência de 25 MPa, com um valor 1,25% superior ao menor preço final. E, por fim, as classes compostas pelos concretos de alto desempenho, ou seja, C60 e C80, com um preço 4,45% e 4,57% maior, respectivamente. Esse resultado se apresenta em conformidade com os resultados obtidos por Souza (2020) e Lanini *et al.* (2019), que apresentavam a resistência de 35 MPa como a melhor alternativa economicamente.

422

Figura 6: Consumo de concreto.



423

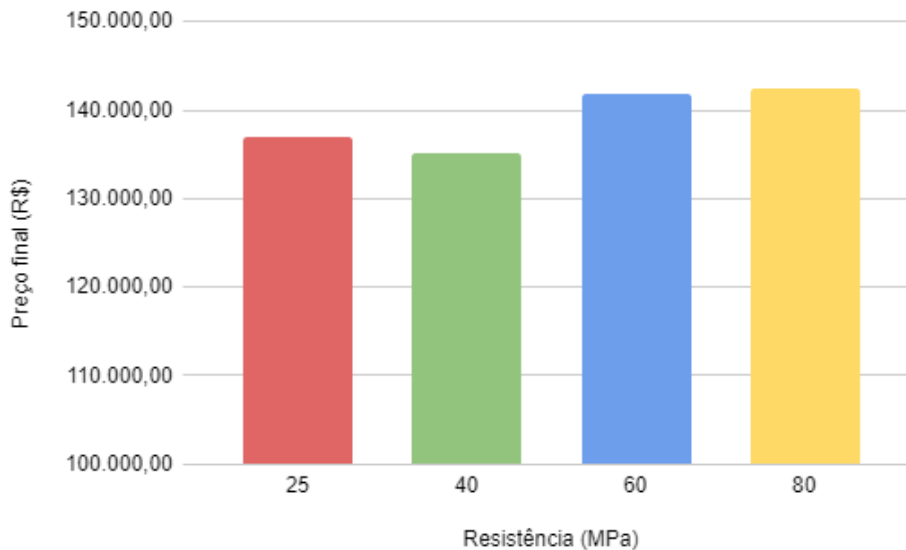
424

425

426

Fonte: Autoria própria.

Figura 7: Orçamento final.



427

428

429

Fonte: Autoria própria.

430

4. CONCLUSÃO

431

432

433

434

435

436

O objetivo deste trabalho foi analisar os custos diretos, referente a execução de uma edificação de pequeno porte, a variação da seção transversal dos elementos estruturais e o comportamento das flechas, variando a resistência à compressão do concreto. Foi possível concluir que, assim como os autores apresentados anteriormente, uma classe de resistência média, como é o caso da C40, se apresenta como a melhor alternativa para edificações de pequeno porte, como casas térreas e sobrados.

437

438

439

440

Com base nos resultados apresentados, e levando em consideração a variação do preço do concreto conforme há o aumento gradual da resistência, é possível concluir que ele foi o fator determinante para a diferença entre o orçamento final obtido para as quatro resistências analisadas. A avaliação dos custos utilizando concretos de alto desempenho, com resistência acima de 50 MPa,

441 não forneceram bons resultados relativos a custo-benefício para edificações de pequeno porte. Uma
442 vez que nas duas resistências analisadas, os orçamentos finais foram superiores e nenhuma vantagem
443 arquitetônica foi atribuída ao projeto, assim, não se apresentam como uma solução viável e atrativa
444 para edificações desse porte.

445 Uma solução para a aplicação dessa classe específica de concretos, visando melhores
446 resultados, demandaria um estudo mais profundo das normas utilizadas para dimensionamento de
447 estruturas de concreto armado, como a NBR 6118 (2014), uma vez que algumas exigências, como
448 seção transversal mínima de pilares, por exemplo, não permitem o dimensionamento de pilares mais
449 esbeltos, que seriam propiciados pela utilização de concretos de alto desempenho.

450 Para as flechas, verificou-se de maneira geral, que o aumento da resistência, em conjunto com
451 a redução da espessura das lajes, propiciou uma redução nos valores gerais das flechas para o
452 pavimento analisado.

453 Logo, é possível concluir que, assim como no caso das edificações prediais de médio a grande
454 porte, para a estrutura de casas térreas e sobrados, a adoção do concreto com classe de 40 MPa, se
455 apresenta como a melhor alternativa financeiramente.

456

457 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

458 ALBUQUERQUE, Augusto Teixeira de. **Análise de alternativas estruturais para edifícios em**
459 **concreto armado**. 1999. 100 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Escola de
460 Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1999.

461

462 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118: Projeto de**
463 **estruturas de concreto**: Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

464

465 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6120: Ações para**
466 **cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

467

468 BASTOS, Paulo Sérgio. **Fundamentos do concreto armado**. 2019. Apostila (2117 - Estruturas de
469 Concreto I do Departamento de Engenharia civil e ambiental). Universidade Estadual Paulista,
470 Bauru - SP, 2019.

471

472 CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Custos de composições analítico**: Referente ao mês de junho
473 em MG. 3913 f. Belo Horizonte, jul., 2022.

474

475 CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Preço de insumos**: Referente ao mês de junho em MG. 148 f.
476 Belo Horizonte, jul., 2022.

477

478 DORTAS, Ivan Santos *et al.* **Análise comparativa do dimensionamento estrutural por meio de**
479 **um software computacional e cálculo manual**. Cadernos de graduação: Ciências exatas e
480 tecnológicas, Aracaju, v. 6, n. 3, p. 83-90, mar., 2021.

481

482 FREITAS, Antônio Henrique Correa de *et al.* **Cálculos estruturais em concreto armado:**
483 Comparativo entre o cálculo manual e com auxílio de *software*. Revista Pensar Engenharia, Belo
484 Horizonte, v. 2, n. 2, jul., 2014.
485

486 LANINI, Tamiris Luiza Soares *et al.* **Análise técnica de estruturas de edifícios em concreto**
487 **armado, de 3 a 21 pavimentos, com variação de resistência à compressão (relação geométrica,**
488 **em planta, de 1:4).** Revista CONSTRUINDO, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 62-70, jan./jul., 2019.
489

490 ROHDEN, Abrahão Bernardo *el al.* **Aplicação de concreto de alto desempenho em pilares de**
491 **edifícios de pequeno porte:** estudo de caso. Anais do 60º Congresso Brasileiro do Concreto, Foz
492 do Iguaçu, 2018.
493

494 SOARES, Renan Gustavo Pacheco *et al.* **Otimização paramétrica de vigas de concreto armado**
495 **em sistema estrutural de edificação residencial unifamiliar.** In: XII Congresso Brasileiro de
496 Pontes e Estruturas, 12., p. 01-09, 2021.
497

498 SORIANO, Humberto Lima. **Método de elementos finitos em análise de estruturas.** São Paulo:
499 Editora da Universidade de São Paulo, 2003.
500

501 SOUZA, Paula Giovanna Pimenta. **Influência da resistência do concreto no impacto do custo em**
502 **estruturas de pequeno porte:** Estudo de caso. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de
503 Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, 2020.
504

505 TERHORST, Henrique Matheus; SILVA, Gilsinei da. **Dimensionamento e detalhamento**
506 **estrutural de um edifício com o auxílio do software Eberick.** Ignis, Caçador, v. 7, n. 3, p. 65-
507 79, set./dez., 2018.
508

509

510

511

512

513

514

515

516

517

518

519

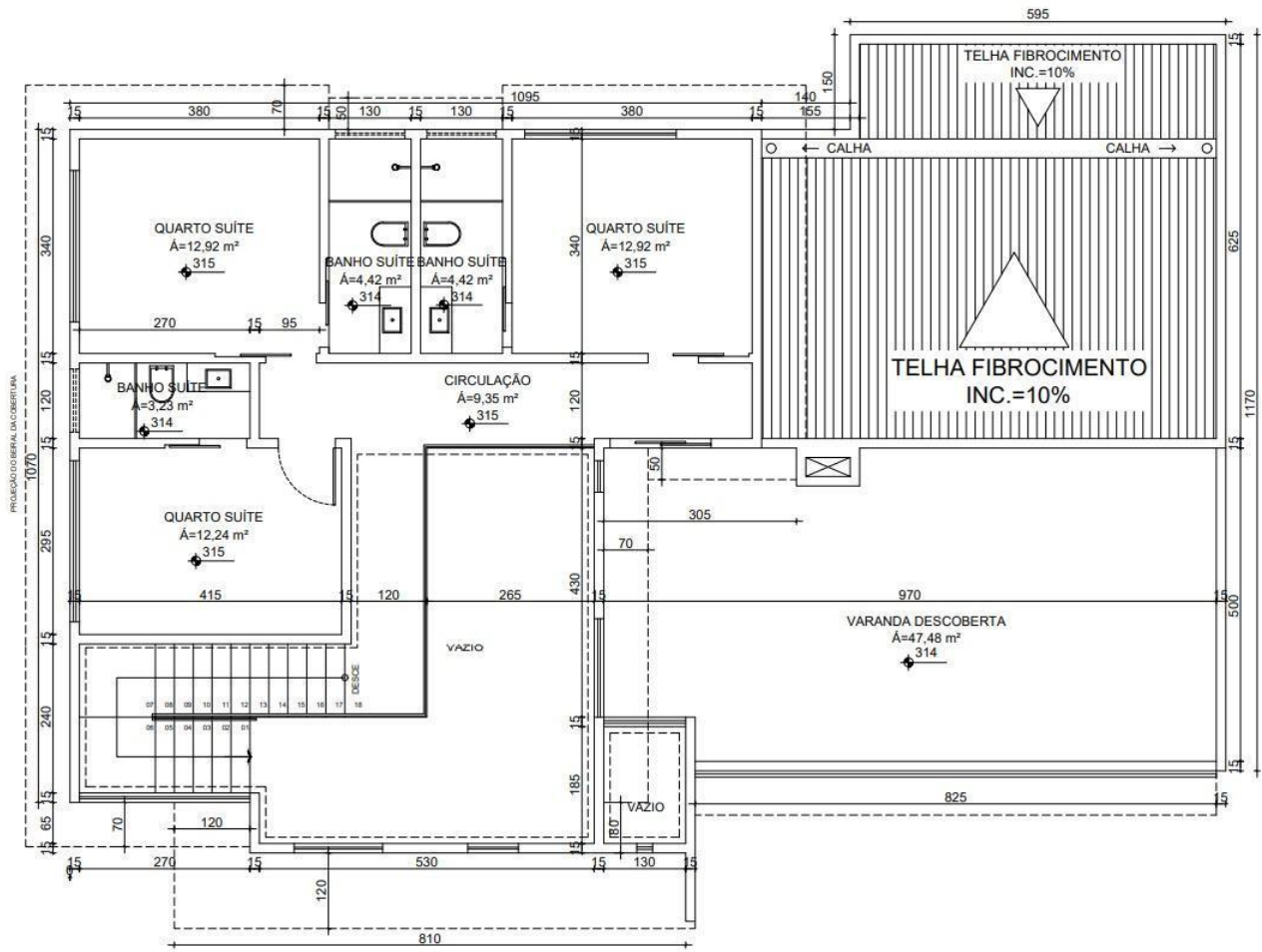
520

521

APÊNDICE A - Projeto arquitetônico do pavimento 1

522

Figura A.1: Projeto arquitetônico do pavimento 1.



523

524

525

526

527

528

529

530

531

532

533

534

535

536

537

Fonte: Projeto arquitetônico elaborado por Mariana Queiroz Pereira (2014).

538 **APÊNDICE B - Determinação do preço do concreto de 80 MPa**

539

540

Tabela B.1: Estimativa do preço do m³ do concreto de 80 MPa.

Resistência (MPa)	Preço (R\$)	Variação (%)	Média da variação (%)
20	539,79	-	
30	574,07	5,97	
40	608,34	5,63	6,23
50	679,14	10,42	
60	726,26	6,49	
70	771,50	-	
80	819,57	-	

541

542

Fonte: Autoria própria.

543

544

545

546

547

548

549

550

551

552

553

554

555

556

557 **APÊNDICE C – Quantitativo dos insumos**

558
559 **Tabela C.1: Consumo de aço por bitola.**

Resistência (MPa)	Consumo por bitola (kgf)						
	5,0	6,3	8,0	10	12,5	16	20
25	545	1706	470	1051	487	187	189
40	516	1665	740	924	386	217	180
60	628	1747	739	1154	269	208	180
80	622	1755	738	1131	338	169	176

560 Fonte: Autoria própria.

561
562 **Tabela C.2: Consumo de fôrma por elemento estrutural.**

Resistência (MPa)	Consumo de fôrma por elemento (m ²)		
	Vigas	Pilares	Lajes
25	200,83	137,15	265,03
40	201,78	132,31	265,06
60	202,63	132,01	265,06
80	202,63	132,01	265,06

563 Fonte: Autoria própria.

564
565 **Tabela C.3: Consumo de fôrma por elemento estrutural.**

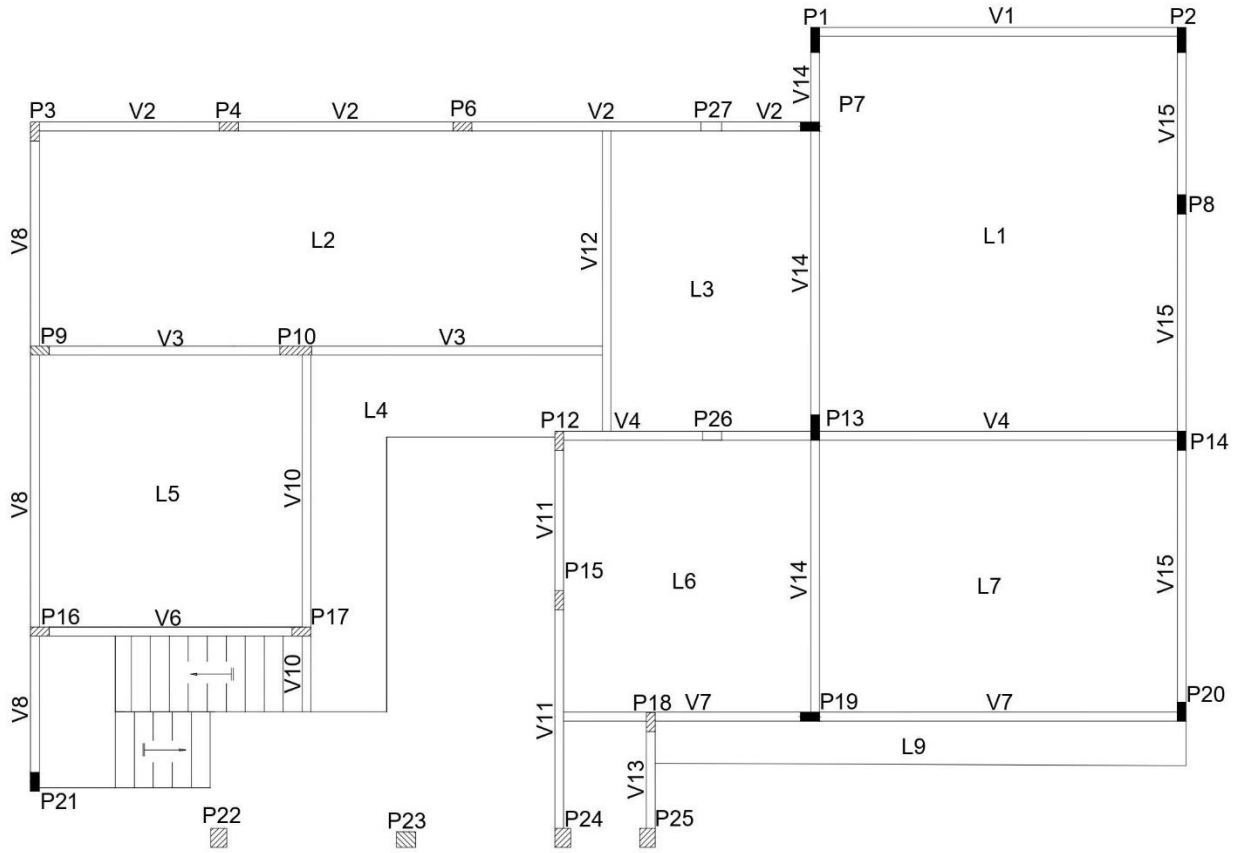
Resistência (MPa)	Consumo de concreto por elemento (m ³)		
	Vigas	Pilares	Lajes
25	13,61	6,78	37,49
40	13,26	6,44	31,12
60	13,27	6,42	30,28
80	13,27	6,42	30,28

566 Fonte: Autoria própria.

574
575
576

APÊNDICE D – Locação dos elementos estruturais do pavimento 1

Figura D.1: Locação das vigas, pilares e lajes no pavimento 1.



- LEGENDA
- Pilar que nasce
 - ▨ Pilar que passa
 - Pilar que morre

577
578

Fonte: Autoria própria.

579