

1 ARTIGO TÉCNICO

2 **COMPARATIVO DE CUSTOS, CONSUMO DE MATERIAIS E PESO ENTRE SISTEMA**
3 **ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO E SISTEMA MISTO DE AÇO E CONCRETO**
4 **APLICADOS EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS ANDARES**

5 (1) Matheus Nascimento Queiroz

6 (2) Leonardo Carvalho Mesquita

7
8 (1) Estudante do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

9 (2) Professor Adjunto do curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa, Rio Paranaíba

10
11 Presidente da Banca Leonardo Carvalho Mesquita

12 Membro 1 Arthur Filipe Freire Gomes

13 Membro 2 Marília Gonçalves Marques

14 **28/08/2018**

15 **RESUMO**

16 Preliminarmente ao início de execução de uma obra, temos a fase primordial da elaboração
17 dos projetos. O projeto arquitetônico traduz a forma final da edificação, este se alia ao projeto
18 estrutural, que define e dimensiona as partes resistentes as solicitações. Existem diferentes sistemas,
19 com diversos materiais a se atribuir ao projeto estrutural, o que torna complexo a escolha do projetista
20 a respeito do sistema ideal a se utilizar na estrutura da edificação. Definindo um sistema que utiliza
21 como material o concreto, qual a modalidade de concreto é melhor: usinado ou moldado “in loco”?
22 Neste artigo, comparou-se as modalidades de concreto, custo, mão de obra, peso e consumo de
23 materiais, dos projetos estruturais de um edifício de múltiplos andares, em concreto armado e sistema
24 misto em concreto e aço. Foi feita uma comparação para servir de referências para realização do
25 anteprojeto, não indicando uma solução ideal, mas apresentar resultados de um determinado edifício
26 e mostrar a viabilidade frente aos sistemas, que visa auxiliar os engenheiros na tomada de decisões
27 mais precisas. Antecedendo a elaboração dos projetos estruturais, foi criado o projeto arquitetônico
28 de um edifício de 3 pavimentos, com lojas comerciais no térreo e apartamentos residenciais. A análise
29 estrutural do modelo em concreto armado, foi desenvolvida utilizando o *software* Eberick v8 Gold, e
30 do sistema misto, pelo *software* VigaMix 2.08 e Desmet 2.08. No projeto estrutural do sistema misto,
31 foram utilizadas lajes em *steel deck* e vigas mistas, soldadas com pino de cabeça (*stud bolt*). Os custos
32 materiais e de mão de obra foram levantados conforme a planilha SETOP (Secretária de estado dos
33 transportes e obras públicas - não desonerada) e orçamentos em empresas do setor. Após elaborado
34 os projetos estruturais e realizado as comparações, pode se dizer que para este edifício em estudo,

35 com relação a modalidade de concreto, peso total e custo; observa se que o uso da modalidade de
36 concreto moldado “in loco”, encarece o custo total em até 2%; a estrutura em concreto armado tem
37 maior consumo de materiais, aumentando em 23% o peso total da obra; e com relação ao custo, é
38 30,6% mais barato que o sistema misto. Não deve existir uma competição entre os sistemas estruturais
39 em estudo para uma edificação, o melhor é aquele que após um estudo comparativo atende as
40 características marcantes do empreendimento.

41 **PALAVRAS-CHAVES:** Estrutura concreto armado, estrutura mista, custos, consumo de materiais.

42 **COMPARISON OF COSTS, CONSUMPTION OF MATERIALS AND WEIGHT**
43 **BETWEEN STRUCTURAL SYSTEM IN ARMED CONCRETE AND MIXED SYSTEM OF**
44 **STEEL AND CONCRETE APPLIED IN A MULTIPLE FLOOR BUILDING**

45 **ABSTRACTS**

46 Prior to the beginning of construction, we have the primordial phase of the elaboration of the
47 projects. The architectural design translates to the final form of the building. This allied to the
48 structural design, defines and gives dimensions to the resistant parts to the requests. There are
49 different systems, with different materials to be attributed to the structural design. Consequently, it
50 makes difficult for the designer to choose the ideal system to use in the structure of the building.
51 Defining a system that uses concrete, which type of it is better: ready-mixed concrete or turned on
52 site? In the case study of this article it compares the types of modalities, cost, labor, weight and
53 consumption of materials, structural designs of a multi-storey building in reinforced and mixed
54 system in concrete and steel concrete. It intends to make a comparison to serve as references in the
55 draft, not indicating an ideal solution, but to present results of a particular building and show the
56 feasibility of systems, which aims to help engineers make more precise decisions. Prior to the
57 elaboration of the structural projects, the architectural design of a 3-storey building was created, with
58 commercial shops on the ground floor and residential apartments. The structural analysis of the
59 reinforced concrete model was developed using Eberick v8 Gold software and the mixed system by
60 VigaMix software 2.08 and Desmet 2.08. In the structural design of the mixed system, slabs were
61 used in steel deck and mixed beams, welded with stud bolt. Material and labor costs were collected
62 in accordance with the worksheet SETOP (Secretary of State for Transport and Public Works - Not
63 Deductible) and budgets for companies in the sector. After elaborating the structural projects and
64 comparisons, it can be said that for this building under study, with respect to concrete modality, total
65 weight and cost; it is observed that the use of the concrete rotated on site, increases the total cost by
66 up to 2%; the structure in reinforced concrete has greater consumption of materials, increasing by
67 23% the total weight; and with regard to cost, it is 30.6% cheaper than the mixed system. There should

68 be no competition between the structural systems under study for a building, the best one is that after
69 a comparative study meets the hallmarks of the enterprise.

70 **KEYWORDS:** Reinforced concrete structure, mixed structure, costs, material consumption.

71 **1. INTRODUÇÃO**

72 A construção civil no Brasil é indicada como o “*Termômetro e espelho da economia*”,
73 segundo Amarildo Mirando Melo, presidente do Siduscon de Mato Grosso do Sul. Se a construção
74 civil vai bem, a economia está bem. Estima-se que são cerca de 13 milhões de pessoas trabalhando
75 no setor, é uma gigantesca cadeia, com empregos formais, informais e indiretos. De forma geral, a
76 construção civil contribui para a resolução de problemas em diversas áreas, de caráter social e
77 econômico, como a infraestrutura urbana, o transporte e o saneamento básico, além de reduzir o
78 déficit habitacional, melhorar a qualidade de vida e proporcionar o desenvolvimento urbano.

79 Antecedendo o início de uma construção temos a elaboração dos projetos básicos.
80 Observamos que quanto mais completo e detalhado forem os projetos, menor será o número de
81 indecisões, improvisações e imprevistos. Não há economia real na execução da obra com corte de
82 projetos, mas sim aumentos de custos, manutenção e recuperação.

83 O projeto arquitetônico é o que mais impacta na percepção final do cliente, é ele que traduz
84 como deve ser a edificação final e é a base para os demais projetos. Com relação ao projeto estrutural
85 é importante definir qual sistema estrutural (concreto armado, alvenaria estrutural, estrutura metálica,
86 mista de concreto e aço, etc.) a se adotar, tendo em vista a finalidade da edificação (residencial,
87 comercial ou industrial). Além disso, para a escolha do sistema estrutural deve-se avaliar alguns itens,
88 tais como: dimensões da edificação, segurança, desempenho estrutural, qualidade, utilidade, estética,
89 custos, tempo de execução, informações do projeto arquitetônico, sondagens de investigação do
90 subsolo, disponibilidade/qualificação da mão de obra e materiais disponíveis.

91 O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo de custos, consumo
92 de materiais e peso entre um sistema estrutural em concreto armado e sistema misto em concreto e
93 aço, para isso será considerado o projeto arquitetônico de um edifício residencial/comercial de
94 múltiplos andares. Este trabalho visa auxiliar os engenheiros projetistas na definição do melhor
95 sistema estrutural a ser utilizado, contribuindo com informações referente ao edifício em estudo, e
96 desta forma, diminuir as incertezas, improvisações e imprevistos que possam surgir durante o
97 desenvolvimento do projeto e execução da obra.

98 **2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA**

99 **2.1 Concepção do projeto estrutural**

100 Preliminarmente ao início da execução, temos a fase primordial da elaboração dos projetos.
101 Conforme Rostam (1991) o projeto estrutural compreende os detalhes arquitetônicos da melhor forma
102 e disposição possível. Estes determinam a geometria da estrutura assim como as partes que serão
103 expostas e as formas adequadas a fim de minimizar a concentração de tensões.

104 No desenvolvimento do projeto estrutural, a etapa mais importante é a definição do material
105 do sistema. Atualmente há pouca informação disponível para comparar diferentes sistemas
106 estruturais. Esta falta de informação, leva as equipes de projetos a incertezas e tomada de decisões
107 equivocadas e desvalorizando a oportunidade de dar valor ao dinheiro. Logo, é de extrema
108 importância a compreensão das características favoráveis e desfavoráveis a cada sistema (MATHYS
109 2003, segundo DRENNAN, 2017).

110 2.2 Escolha do material do sistema estrutural

111 A escolha do material da estrutura tem um efeito abrangente em aspectos posteriores como:
112 projeto de construção, programa, desempenho e custo que são fundamentais para o sucesso global e
113 concretização, segundo Corus Construction & Industrial (2004). Conforme Barret Byrd Associates
114 (2016) apud Drennan (2017), a escolha mais comum é pelo sistema tradicional de concreto e aço.

115 É comum o prejulgamento pelos engenheiros projetistas, do custo do aço utilizado em
116 sistemas estruturais, com relação aos demais sistemas na construção civil. Em alguns casos,
117 profissionais da área na Austrália, superestimaram em até 80% acima o custo do aço, o que é um fator
118 primário para o não uso deste, de acordo com INSTITUTO AUSTRALIANO DE AÇO (2012) apud
119 DRENNAN, (2017).

120 2.3 Sistema em concreto armado

121 Uma das causas porque o concreto é utilizado, é por sua constituição como material cerâmico,
122 cuja matéria prima é encontrada em todas as partes do planeta. Se adapta a locais e circunstâncias por
123 suas propriedades (versatilidade, durabilidade e desempenho) que proporciona ganho de vida útil e
124 custo competitivo com outros materiais resistentes (PASSUELO et al., 2011).

125 A união solidária entre o concreto e aço, trouxe inúmeros ganhos conforme quadro 1, cada
126 qual contribuindo com suas propriedades.

127 Quadro 1 – Características da união solidária entre concreto e aço (BARROS e MELHADO, 2006).

Concreto	Aço	Concreto Armado
Boa resistência à compressão	Excelente resistência à tração	Versatilidade
Meio Alcalino	Necessita Proteção	Durabilidade
Rigidez	Esbeltez	Economia

128
129 As vantagens do uso do concreto armado são: facilidade e adaptação a diversas formas construtivas,
130 monolitismo (rigidez), resistência a esforços mecânicos e segurança contra fogo. Como desvantagens

131 temos: Peso próprio elevado, fissurações, emprego de grande montante de formas e escoramentos
132 (ALMEIDA, 2002).

133 **2.4 Sistema misto**

134 Atualmente o uso do aço em peças estruturais nas construções do Brasil vem aumentando, por
135 eliminar as limitações que os outros sistemas trazem e oferecer a elaboração de projetos mais
136 arrojados. Todavia o uso do concreto armado é predominante no Brasil, devido a não necessidade de
137 mão de obra qualificada e do custo mais barato se comparado ao aço (ROSSATTO, 2015).

138 Atualmente, muitos países estão valorizando o emprego da industrialização. De acordo com
139 o Conselho de edifícios altos e habitat urbano (2014, apud MCGAR, 2015), o número de projetos de
140 múltiplos andares compostos com mais de 200 metros em aço e *steel decks*, aumentou em 54% em
141 todo mundo. Conforme The American Institute of Steel (2011), nas estruturas de edifícios de
142 múltiplos andares, o aço é predominante em 57,5% contra 20,8% em concreto armado. Nos Estados
143 Unidos, o aço é o principal material, contando com uma participação de 55% em comparação, com
144 21% em concreto armado (DRENNAN, 2017). O mesmo se observa no Reino Unido, segundo
145 STEEL, SCI e BCSA (2015) apud DRENNAN (2017), é comum observar construções em aço com
146 percentual em 68% e para os edifícios em concreto, participação de 23%.

147 A construção em aço com relação ao sistema misto e sistema metálico, pode reduzir os
148 impactos nas áreas vizinhas (ruído, poeira, tempo de construção, quantidade de desperdício gerado e
149 tráfego local) e o número de colunas verticais devido a possibilidade de vencer grandes vãos; é mais
150 prático se sujeito a mudanças de formas, fabricação controlada em indústria com alta qualidade,
151 oferece um ambiente de trabalho limpo, eficiente e rápido (CORUS CONSTRUCTION &
152 INDUSTRIAL, 2004).

153 Conforme Pinheiro (2005), o aço estrutural utilizado em sistemas metálicos e sistemas mistos,
154 prevê as seguintes vantagens: estruturas com precisão milimétricas, garantia nas propriedades e
155 dimensões das peças, material resistente, possibilidade de montagem e desmontagem, além de
156 estrutura leve que possibilita vencer grandes vãos. Como desvantagens, temos: limitação da execução
157 em fábrica devido transporte, tratamento superficial nas peças contra corrosão e incêndio,
158 especialização de mão de obra, equipamentos/ferramentas e limitação de perfis. Segundo Drennan
159 (2017), os custos de proteção da estrutura metálica contra incêndio, se estabelecem entre 8 e 10% do
160 custo total da estrutura.

161 **2.5 Comparação entre sistemas**

162 Para o estudo de comparação entre os sistemas das estruturas, o artigo focaliza se nas
163 características mais importantes, abordando os seguintes tópicos devido a sua relevância: mão de

164 obra, custo da estrutura, concreto moldado “in loco” e usinado, CUB (Custo unitário básico),
165 consumo/custos dos materiais e peso da estrutura.

166 **2.5.1 Escolha do sistema estrutural**

167 Segundo Pinho (2008) a escolha do sistema estrutural, não deve ser uma competição entre os
168 diferentes tipos, deve ser analisada com base nas características de cada edificação, no qual a decisão
169 do mais adequado deve representar mais os aspectos representativos da edificação, priorizando as
170 características mandatórias e desejáveis.

171 **2.5.2 Custo da estrutura**

172 Fator determinante para muitas obras saírem do papel e começar a executar, é custo global a
173 ser investido. Segundo BCSA e STEEL (2012), fator chave para a tomada de decisões é o custo da
174 estrutura pelas suas características de materiais e quadros alternativos, apesar de que o programa
175 comparativo e os impactos da capacidade de construção devem ser levados em conta ao realizar a
176 escolha, pois são importantes frente a análise.

177 Segundo Passuelo et al. (2011), de todos os sistemas que formam a edificação, a estrutura é a
178 que fica mais cara em termos financeiros, de acordo com Santos (2011), 25% do custo é voltado
179 apenas para a estrutura, caso seja uma obra de arte, o valor gasto é ainda maior.

180 O custo do sistema estrutural, tem tendência a sofrer alterações. É possível observar uma
181 queda no custo pelos ganhos de produtividade, aprimoramento de processos, aplicação de tecnologia,
182 alteração de técnicas construtivas e uso do computador como ferramenta gerencial e projetista. Pode
183 haver também uma reação contrária, caso ocorra alterações nas normas vigentes, tornando mais
184 exigente os processos e encarecendo-os (PASSUELO et al., 2011).

185 **2.5.3 Concreto moldado “in loco” e usinado**

186 Muitos empreiteiros ao iniciarem a execução de uma obra, ficam na dúvida de qual
187 modalidade de concreto utilizar. O concreto dosado em usina veio com objetivo de atender as obras
188 de infraestrutura que requerem grandes quantidades de concreto em pouco espaço de tempo e com
189 menor variabilidade em suas resistências mecânicas (REGATTIERI e MARANHÃO, 2011).

190 Com relação aos custos, observa-se que o concreto usinado (f_{ck} 20 MPa) apresenta um custo
191 de 1,82% a mais que o produzido no canteiro de obras (KRUG, HABITZREITTER, BUENO, 2016).
192 Observa-se o mesmo encarecimento para um concreto de f_{ck} 35 MPa, quando produzido em usina, em
193 3,45% (MENEZES et al., 2013).

194 **2.5.4 Avaliação de custo entre sistemas**

195 Para o edifício em estudo, um dos pontos principais neste artigo, é o custo dos sistemas. Sabe
196 se que o aço no Brasil é mais caro que o concreto; realidade diferente em alguns países, onde ambos
197 têm preços competitivos. Em um estudo realizado Marco (2014), engenheiro e diretor comercial da
198 empresa Brandão & Marmo Engenharia e Construções, contratada para realizar o empreendimento
199 de uma loja na cidade de Osasco, São Paulo, ao confrontar preços em concreto armado e em estrutura
200 metálica, observou que a primeira é mais barata em 21,62%, contudo maior prazo de execução e
201 logística complexa devido a materiais e localidade do terreno.

202 Com relação a outro empreendimento, a construção de um edifício de múltiplos andares (10
203 pavimentos), em um estudo de caso para um edifício garagem na Índia, observou que a estrutura mista
204 (aço e concreto) com piso composto (*Steel deck*) é 23,1% mais cara que a opção em concreto, devido
205 o preço do aço ser superior ao de concreto (DABHADE et al., 2009).

206 **2.5.5 Custo unitário básico (CUB)**

207 Para se elaborar um orçamento de maneira rápida com custo reais/m², pode se utilizar o CUB
208 como referência, elaborado pelos Sindicatos Estaduais da Construção Civil. Com valores aferidos
209 mensalmente para todas as regiões do Brasil e distinguido conforme utilização da edificação e seu
210 acabamento. Este também tem uma característica de ajuste nos custos das obras, pois retrata bem a
211 variação mensal (PINHO e PENNA, 2008).

212 **2.5.6 Consumo e custos de materiais**

213 Conforme CORUS CONSTRUCTION & INDUSTRIAL (2004), para os edifícios comerciais
214 (carga de 3,5 kN/m²), a quantidade de aço por metro quadrado, está entre 37,4 a 43,7 kg/m². Em caso
215 de demolição, o aço pode ser reutilizado em 95%, Mcgar (2015), é o material mais reciclado do
216 mundo, consumindo 80% menos energia na reciclagem. O aço propõe uma arquitetura leve, moderna
217 e arrojada, visando excelentes resultados econômicos. O emprego da estrutura metálica permite a
218 utilização de diversos materiais pré-fabricados, industrializados e liberdade de formas (BELLEI,
219 PINHO, F. e PINHO, M., 2008).

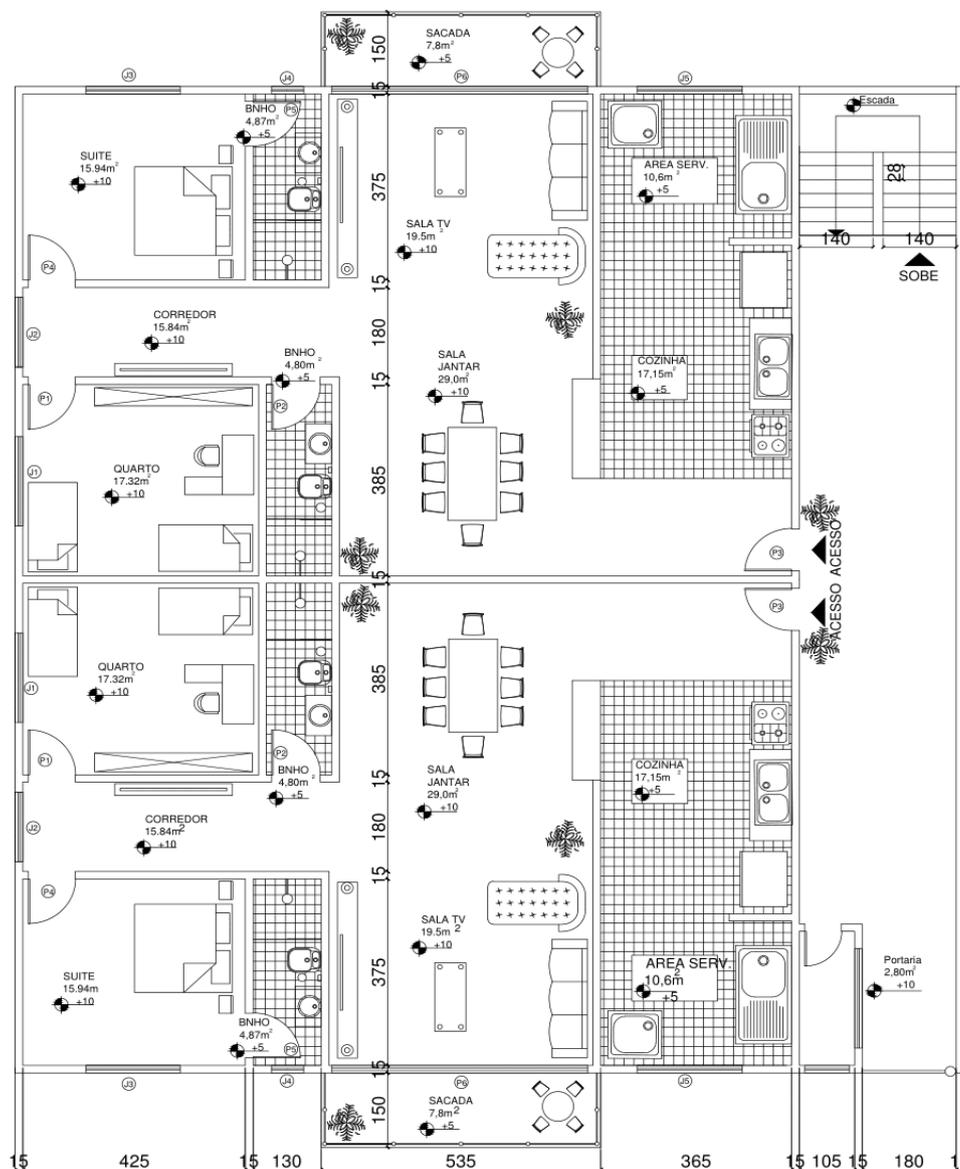
220 **2.5.7 Peso da estrutura**

221 As estruturas de aço pesam cerca de 6 a 10 vezes a menos que uma estrutura de concreto.
222 Como as estruturas de concreto representa em média 40% do peso próprio e este representa 70% da
223 carga total (com cargas acidentais e sobrecarga), pode se esperar uma baixa de cargas verticais da
224 ordem de 20% além de gerar economia nas fundações com o alívio de peso (PINHO e PENNA, 2008).

225 **3. MATERIAL E MÉTODOS**

226 **3.1. Edifício analisado**

227 Este trabalho tem como objeto de estudo um edifício residencial e comercial de múltiplos
228 andares a ser implantado na cidade de Patrocínio, Minas Gerais. Foi elaborado um projeto
229 arquitetônico com uma edificação de múltiplos andares, usual para moradia e comercio.
230 Desenvolveu-se então um edifício de três pavimentos, sendo o pavimento térreo comercial e os tipos
231 residenciais. Segue a Figura 1 com a planta baixa do projeto arquitetônico do pavimento tipo.



232

233

Figura 1 – Planta baixa do projeto arquitetônico do pavimento tipo (Fora de escala).

234

235

236

237

238

239

240

Os pavimentos superiores, foram projetados como apartamentos residenciais padrão, divididos em: um quarto, uma suíte, corredor, banheiro social, sala de jantar, sala de televisão, sacada, cozinha e área de serviço. Por pavimento, serão dois apartamentos, sendo que o acesso ao mesmo é dado por uma escada em caixa U. Cada apartamento tem área construída de 150,6 m².

No Anexo A está representada a planta baixa do projeto arquitetônico do pavimento térreo. O pavimento térreo foi dividido em duas salas semelhantes, cada uma com área construída de 142,3 m². Cada sala dispõe de outras duas salas menores, um banheiro social e um corredor.

241 Em comparação com o CUB, esta edificação se assemelha com tipo padrão PP 4 (prédio
242 popular de padrão baixo), que caracteriza os pavimentos com hall de entrada, escadas, banheiro, área
243 de serviço, dormitórios, cozinha e sala. O custo por metro quadrado desta edificação referente a
244 outubro de 2017, é tabelado em R\$ 1534,32.

245 Para os projetos estruturais de ambos sistemas em estudo, utilizou-se as seguintes normas:
246 ABNT NBR 6120:1980 (Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações) e ABNT NBR 9050:2015
247 (Acessibilidade em Edificações, Mobiliários, Espaços e Equipamentos Urbanos). Todos os *softwares*
248 utilizados neste artigo, atende aos estados de limite de serviço e último.

249 **3.2 Considerações para a análise estrutural do modelo em concreto armado**

250 O projeto estrutural em concreto armado foi desenvolvido utilizando-se o *software* Eberick v8
251 Gold. Este *software* trabalha com a análise matricial de estruturas, que discretiza a estrutura em
252 elementos de barras e painéis. Além das normas mencionadas anteriormente, o projeto estrutural em
253 concreto armado segue as prescrições da ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de Estruturas de Concreto
254 Armado). O processamento da estrutura pelo *software* Eberick segue os seguintes passos: análise
255 estática linear, determinação das flechas das lajes/pórticos e dimensionamento dos elementos.

256 Para o desenvolvimento do projeto em concreto armado adotou-se uma Classe de
257 Agressividade Ambiental (CAA) do tipo II, classificada como moderada (urbana), sendo o risco de
258 deterioração da estrutura pequeno. O concreto utilizado é de classe C25, isto é, concreto com
259 resistência característica à compressão (f_{ck}) igual a 25 MPa. As lajes utilizadas são do tipo maciça
260 com espessura de 100 milímetros e todos cobrimentos nominais das armaduras dos elementos
261 estruturais seguem as prescrições da ABNT NBR 6118:2014. As cargas aplicadas foram definidas
262 seguindo a ABNT NBR 6120:1980 que são: 3,0 kN/m² para galeria de lojas, 2,0 kN/m² para edifícios
263 residenciais e 0,5 kN/m² para o revestimento.

264 Após o lançamento dos elementos estruturais em suas disposições, visando quadros e pórticos
265 rígidos engastados, o *software* é rodado e gera a planta de formas conforme a Figura 2. Para
266 compreensão da figura, segue a legenda: P (pilares), V (vigas) e L (lajes). Para o pavimento térreo e
267 cobertura, a planta de forma é igual, com exceção das lajes 1 e 18, que são sacadas dos apartamentos
268 residenciais.

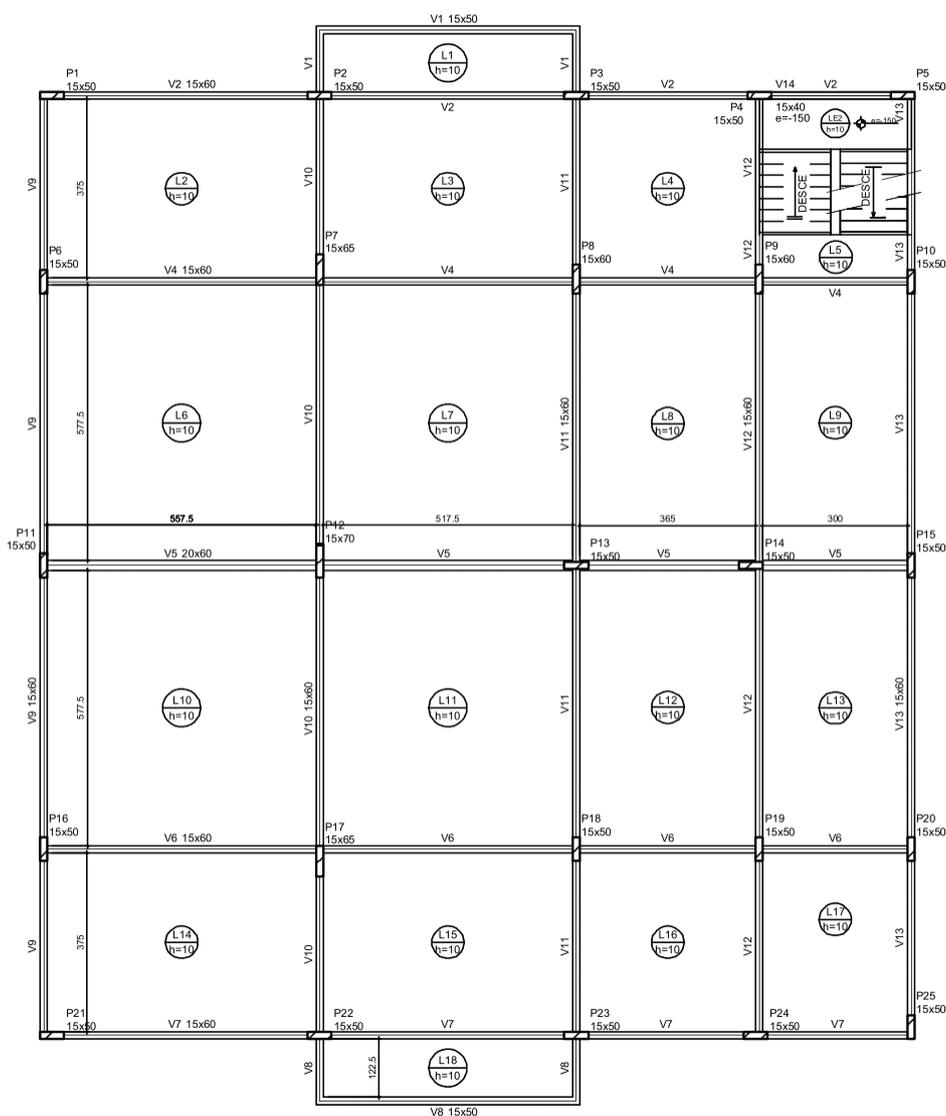


Figura 2 – Planta de formas projeto estrutural em concreto armado.

269

270

271 3.3 Considerações para a análise estrutural do modelo em estrutura mista de aço e concreto

272 Todos os elementos em aço (vigas e colunas) são perfis laminados de aço ASTM A572 Grau
 273 50 ($f_y = 345$ MPa) fabricados pela Gerdau. No dimensionamento busco se os perfis mais leves que
 274 atendem as necessidades impostas pela estrutura. Além das normas mencionadas no item 3.1,
 275 utilizou-se as prescrições da ABNT NBR 8800:2008 (Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas
 276 Mistas de Aço e Concreto de Edifícios).

277 O dimensionamento das vigas foi realizado pelo *software* VigaMix 2.08. Este é um *software*
 278 para dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto. O mesmo verifica a seção mista (concreto
 279 e aço) frente aos estados limites últimos e de serviço. Para as colunas, foi utilizado o *software* Desmet
 280 2.08 (dimensionamento de elementos estruturais metálicos), para perfis laminados, soldados e
 281 tubulares, com base no método dos estados limites.

282 Se optou pelo uso de laje mistas com forma de aço incorporada do tipo *steel deck*, que oferece
283 as seguintes vantagens: trabalha como armadura positiva; é uma fôrma para lançamento do concreto;
284 alta qualidade de acabamento; dispensa escoramento, minimiza o desperdício de material; facilidade,
285 praticidade e produtividade para instalação; plataforma de trabalho para os operários; e facilidade
286 para passagem de dutos. O dimensionamento das lajes mistas foi feito seguindo as recomendações do
287 catálogo de fabricante Metform, representado no Anexo C, Tabela 1, que leva em consideração o vão
288 a se vencer, a sobrecarga de piso e a espessura total da laje. A sobrecarga foi definida após a análise
289 e dimensionamento da estrutura de concreto armado pelo *software* Eberick, e o valor adotado foi de
290 6,84 kN/m², que está incluso carga de peso próprio, acidental, revestimento e localizadas (alvenarias).
291 As alvenarias sobre as lajes, são apoiadas de forma perpendicular as nervuras do *steel deck*. Desta
292 forma, optou-se por utilizar uma forma de aço (*steel deck*) do tipo MF-50, com altura total de 110
293 milímetros e espessura de 0,95 milímetros.

294 Como o aço possibilita vencer grandes vãos, a quantidade de pilares lançados no projeto com
295 relação ao sistema em concreto armado é menor. A planta de forma do projeto estrutural do sistema
296 misto está apresentada no Anexo B. A estrutura é composta pelos seguintes elementos mistos (aço e
297 concreto): laje em *steel deck*, vigas secundárias e primárias mistas; e pilares em aço. As vigas
298 secundárias se conectam às lajes pelo conector soldado do tipo pino com cabeça (*stud bolt*) e as
299 demais ligações são rotuladas. A transferência de carga nos elementos, começa da laje para as vigas
300 secundárias, que apoiam nas vigas principais e descarregam nos pilares até as fundações.

301 **3.4 Custos**

302 Os custos globais, com materiais e mão de obra, foram levantados conforme planilha SETOP
303 (Secretária de estado dos transportes e obras públicas - não desonerada) e orçamentos em empresas
304 especializadas, para as quantidades de material e serviços de cada sistema. No projeto em concreto
305 armado, foram contabilizados os seguintes materiais: concreto, forma e ferragem. No sistema misto,
306 foram: aço empregado em forma de vigas e pilares, *steel deck*, conectores, armadura para retração,
307 concreto, custo das ligações entre elementos, forma e ferragem para escadas.

308 **3.4.1 Mão de obra**

309 Com relação a mão de obra, todos os serviços para a execução das estruturas foram levantados
310 e aliados às quantidades, montando-se então o quadro de equipes de mão de obra. A QCUMO (Quadro
311 de cálculo efetivo de mão de obra) foi elaborada junto com a TCPO (Tabela de composição de preços
312 para orçamentos) para ambos os sistemas. Conforme a TCPO, para determinado serviço a se executar
313 temos uma equipe básica, na qual é dada uma produtividade fixa por unidade de medida. Pela
314 quantidade total de determinado serviço e por esta produtividade, conseguimos calcular a quantidade

315 de dias necessários. Com o valor diário da equipe, conseguimos estimar o custo da mão de obra. O
316 valor diário de cada equipe foi calculado com base na SETOP que afere e ajusta mensalmente os
317 valores por hora da mão de obra para todos os postos na construção civil, apresentando no Anexo C,
318 Tabela 2.

319 Para um estudo mais abrangente, foi comparado o uso de concreto usinado e moldado “in
320 loco” com resistência a compressão f_{ck} 25 MPa. O custo material destes também foi retirado da
321 planilha SETOP que está apresentando no Anexo C e D, Tabela 3 e 4.

322 **3.4.2 Concreto armado**

323 O levantamento do custo da estrutura com relação a mão de obra e material (concreto e forma),
324 foi elaborado com as planilhas de referência de preços unitários para obras e edificações, SETOP. Os
325 custos das barras de aço foram orçados mediante ligações a empresas do setor. O custo da forma e
326 barras de aço estão apresentados no Anexo D nas Tabelas 5 e 6.

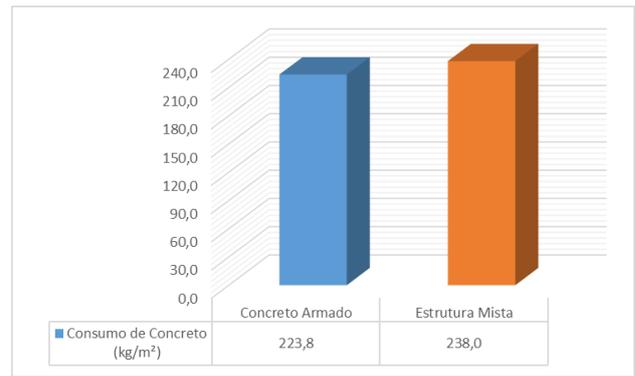
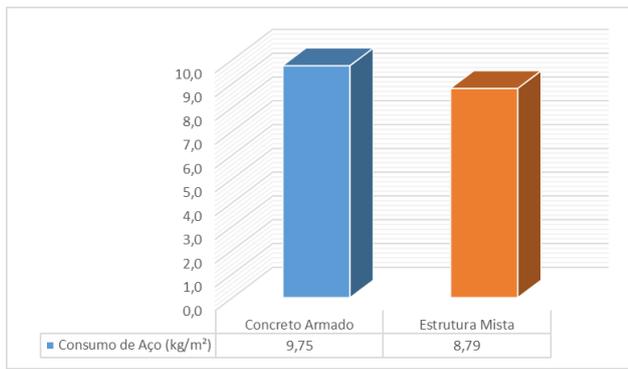
327 **3.4.3 Estrutura mista**

328 Após término de levantamento quantitativo de todo o material necessário, foi constatado um
329 orçamento em um fornecedor em Patos de Minas. Foi escolhida a empresa AçoMont devido a
330 especialidade da empresa, por estar perto da cidade de Patrocínio e disponibilidade. Os elementos
331 metálicos são embutidos com preço fechado para: perfil, fabricação (corte e furação), pintura,
332 transporte e montagem. Ao contatar a empresa, a mesma passou o preço de R\$10,50 por quilo de aço
333 empregado. Este mesmo valor, consta na planilha SETOP para o kg do aço. Conforme a empresa, o
334 valor estimado para executar as ligações, é em torno de 5 a 10% do material empregado.

335 **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

336 **4.1 Avaliação das lajes**

337 A avaliação dos resultados das lajes se dá pelo consumo de aço, concreto e peso total das lajes.
338 Para ambos os sistemas, a Figura 3 representa o (a) consumo de aço e (b) concreto por metro
339 quadrado, utilizados nas lajes, o peso total das lajes é apresentado na Figura 4. Observa que o consumo
340 é de 10% a mais de aço na estrutura de concreto armado e consumo de concreto 6% menor que o
341 sistema misto. A laje da estrutura mista é mais pesada em 5%. Este peso e consumo de concreto maior
342 nas lajes do sistema misto, é explicado devido a sua maior espessura.

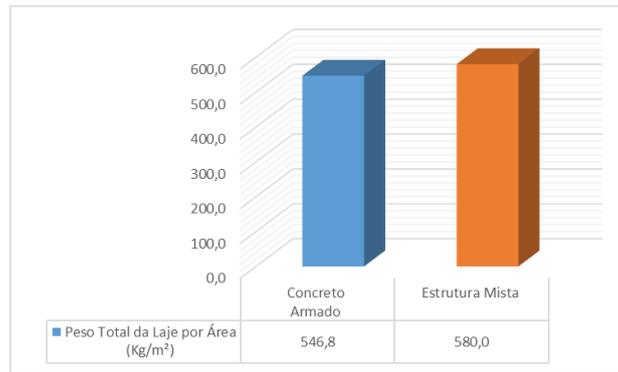


343
344
345

(a)

(b)

Figura 3 – (a) Consumo de aço e de (b) Concreto das lajes.

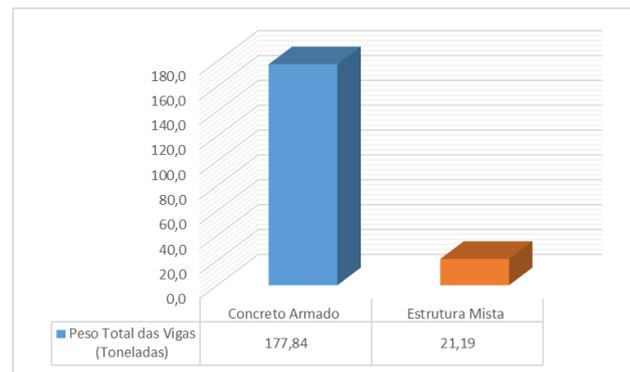
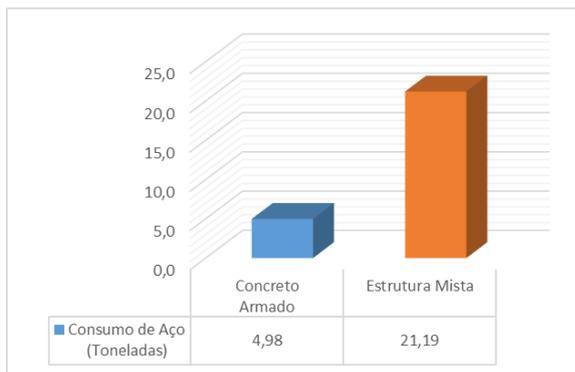


346
347
348

Figura 4 – Peso total das lajes.

4.2 Avaliação das vigas

349 As vigas são avaliadas quanto a sua quantidade de aço consumida e peso. A Figura 5 apresenta
350 a (a) quantidade de aço utilizada e o (b) peso total das vigas. As vigas do sistema misto consomem
351 cerca de 76% a mais de aço e são 88% mais leves que as vigas de concreto armado.



352
353
354

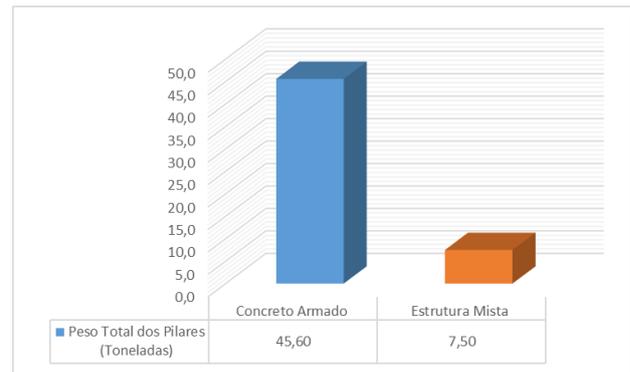
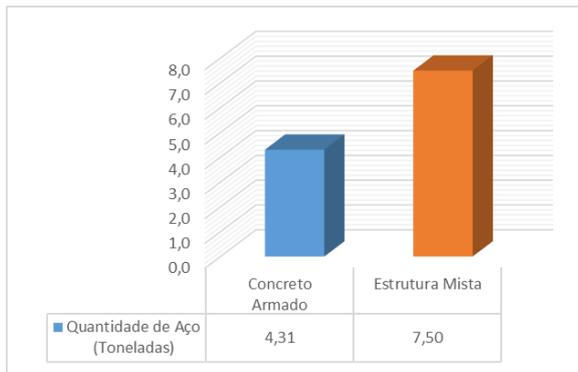
(a)

(b)

Figura 5 – (a) Consumo de aço e (b) Peso total das vigas.

4.3 Avaliação dos pilares

356 Como as vigas, os pilares são avaliados na quantidade do consumo de aço e peso total. A
357 Figura 6 apresenta a (a) quantidade de aço e o (b) peso total dos pilares. Os pilares do sistema misto
358 consomem 57% a mais de aço e possuem peso 85% inferior ao sistema em concreto.



(a)

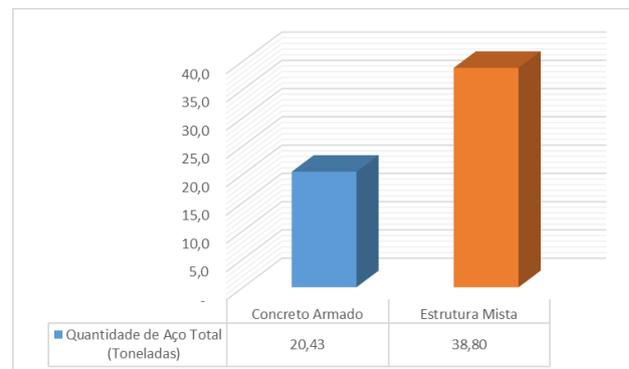
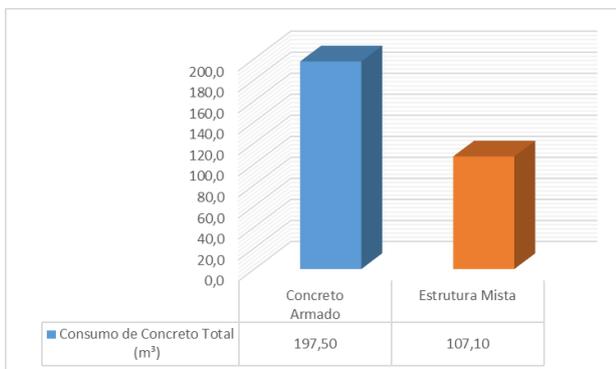
(b)

Figura 6 – (a) Consumo de aço e (b) Peso total dos pilares.

359
360
361

362 4.4 Peso e consumo de materiais totais

363 O consumo de materiais é avaliado pelo peso da estrutura e quantidades totais de concreto e
 364 aço. A Figura 7 apresenta o (a) consumo de concreto e (b) quantidade de aço total para ambos os
 365 sistemas. A Figura 8 apresenta o peso total das estruturas. Observa-se o consumo de 46% a mais de
 366 concreto e um consumo de aço menor em 47% no sistema de concreto armado. Esta grande diferença
 367 no consumo de concreto, é explicada devido que no sistema misto, não é empregado concreto nos
 368 pilares, apenas nas vigas mistas junto com as lajes em *steel deck*. No sistema de concreto armado, a
 369 seção transversal das vigas de 15 por 60 centímetros e dos pilares de 15 por 50 centímetros, consomem
 370 cerca de 47,4% do total de concreto da edificação. Com relação à quantidade de aço, todos os elementos
 371 do sistema misto (Lajes, vigas e pilares) possuem maior consumo de aço que o sistema em concreto
 372 armado, observando que apenas as vigas do sistema misto, consomem cerca de 54,6% do aço total da
 373 estrutura. Comparando a carga total, a estrutura mista é mais leve em 23%, que gera uma taxa de 889
 374 kg/m² para a estrutura em concreto armado e 689 kg/m² para o sistema misto. Este dado pode ser
 375 confrontado com a revisão bibliográfica de PINHO e PENNA, 2008, ao qual diz que pode-se esperar
 376 uma baixa de cargas verticais da ordem de 20% para sistemas em aço.



(a)

(b)

Figura 7 – (a) Consumo de concreto e (b) Quantidade de aço total.

377
378
379

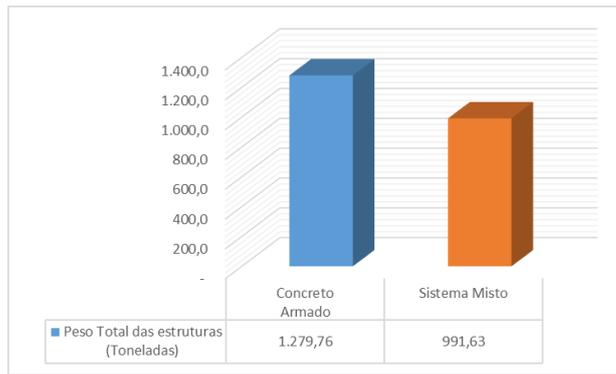


Figura 8 – Peso total das estruturas.

380

381

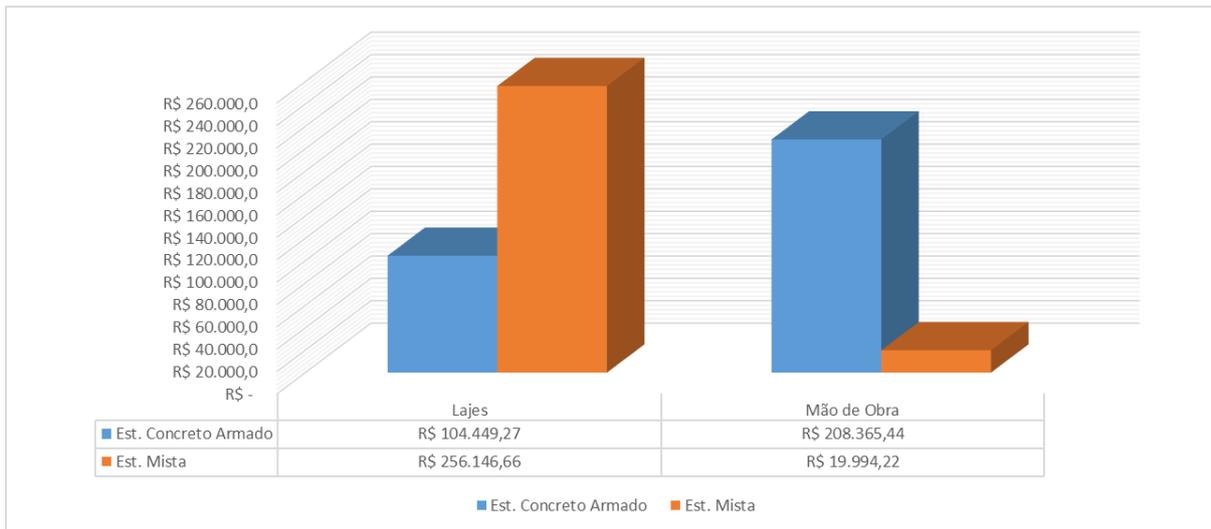
382 4.5 Custo dos sistemas

383

384

385

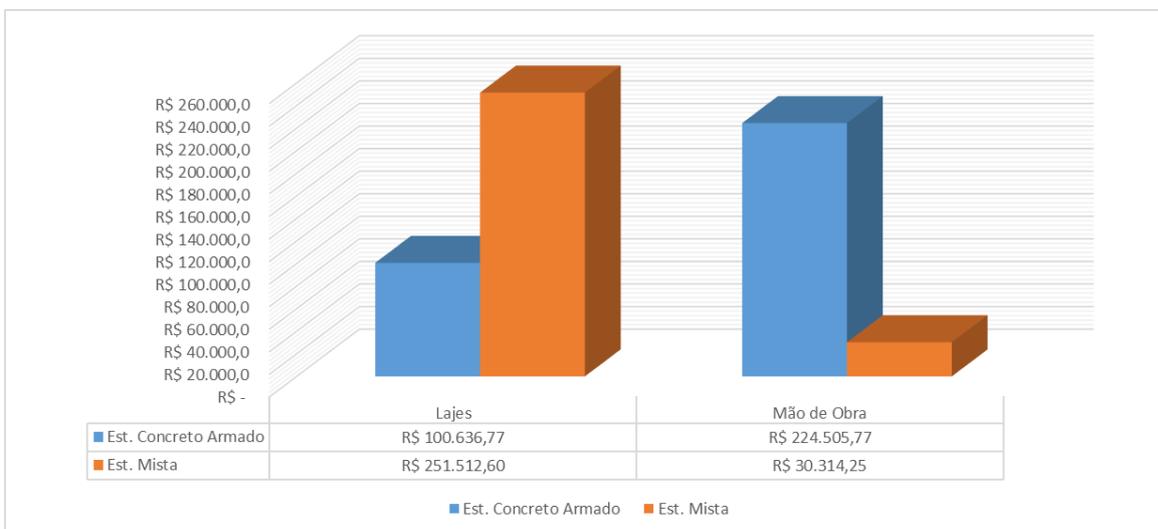
Avaliando as lajes e mão de obra, a Figura 9 e 10 apresenta a comparação de custos entre os sistemas para o concreto usinado e moldado “in loco”. Para as vigas e pilares de ambos sistemas, em qualquer modalidade de concreto, a diferença de custos é pequena, com isto sendo desconsideradas.



386

387

Figura 9 – Comparação de custos entre sistemas para concreto usinado.



388

389

Figura 10 – Comparação de custos entre sistemas para concreto moldado “in loco”.

390 Observa se que o concreto usinado encarece a estrutura em termos de materiais em até 3,5%,
 391 pode se observar um resultado semelhante aferido por Krug, Habitzreitter e Bueno (2016) e Menezes
 392 et al. (2013). O concreto moldado “in loco” encarece a mão de obra em 7,2% para a estrutura de
 393 concreto armado e em 34% para o sistema misto. O quadro 2 apresenta o custo global das estruturas
 394 e o custo por metro quadrado.

395 Quadro 2 – Custo global e por metro quadrado.

Custos Global e Por Metro Quadrado (R\$/m²)		
Elemento / Sistema	Estrutura Concreto Armado	Estrutura Mista
Concreto Usinado		
Total	R\$ 422.073,67	R\$ 608.074,97
Área	1.080,00	1.080,00
R\$/m²	R\$ 390,81	R\$ 563,03
Concreto Moldado "in loco"		
Total	R\$ 430.736,65	R\$ 613.620,84
Área	1.080,00	1.080,00
R\$/m²	R\$ 398,83	R\$ 568,17

396
 397 Para ambas as estrutura, observa se que o custo com concreto moldado “in loco” ficou até 2%
 398 mais caro. A estrutura mista é mais cara em até 30,6% que o sistema em concreto armado,
 399 comparando com a revisão bibliográfica de MARCO (2014), a estrutura em concreto armado é mais
 400 barata em 21,62%.

401 O CUB para esta edificação é referente a outubro de 2017. O custo da estrutura varia em torno
 402 de 25% do custo total da obra; ao calcular está porcentagem do CUB, chega se próximo para os
 403 valores do sistema em concreto armado; e se considerar os 30,6% que estrutura mista é mais cara, os
 404 valores também se aproximam, conforme o quadro 3.

405 Quadro 3 – Custo unitário básico.

CUB	Sist. Concreto Armado	Sistema Misto
	25% CUB	+30,6%
1534,32 R\$/m ²	383,00 R\$/m ²	501,00 R\$/m ²

407 5. CONCLUSÃO

408 De acordo com o estudo comparativo entre os sistemas, para o edifício analisado neste artigo,
 409 conclui-se que a estrutura em concreto armado tem um consumo maior de materiais, aumentando em
 410 23% o seu peso total. Este pode ser um fator chave para a viabilização do sistema misto de uma obra
 411 em local de solo de baixa tensão admissível e ainda gerando economia nas fundações com a
 412 minimização de pontos de furação, custos e material. Nas obras de estrutura de concreto armado,
 413 observa-se grande emprego de mão de obra e desperdício de materiais. Atribuindo o conceito de
 414 sustentabilidade, e seguindo a legislação, percebemos o quão importante é a adequação ambiental,

415 que visa a minimização do consumo de materiais e desperdício. A racionalização destes problemas
416 se dá através da industrialização.

417 No estudo de caso, observa-se o encarecimento de até 2% do custo total com o uso do concreto
418 moldado “in loco”. A melhor modalidade a se usar e a que se mostrou mais barata e vantajosa é a de
419 concreto usinado. Destacando as seguintes vantagens: logística de insumos, otimização dos espaços
420 em canteiro de obra, sustentabilidade e minimização da geração de entulho, qualidade, economia,
421 evita gastos com manutenção e depreciação de máquinas/ferramentas, dosagem correta, redução de
422 mão de obra, agilidade e produtividade.

423 A estrutura mista é cerca de 30,6% mais cara que a estrutura em concreto armado, além de
424 suas vantagens já citadas, temos que a rápida execução gera um rápido retorno do investimento. O
425 tempo de construção é fator determinante, qualquer antecipação, causa uma amortização do capital
426 investido e retorno, que é melhor para o investidor.

427 Para o edifício em estudo neste artigo, a estrutura do sistema em concreto armado é mais
428 barata, porém leva um prazo maior para execução e mais pesada. A estrutura do sistema misto é mais
429 cara, contudo menor tempo de execução e mais leve. Visamos auxiliar os engenheiros projetistas na
430 melhor escolha do sistema estrutural, apresentando dados referente a edificação estudada. Essas
431 informações não podem ser generalizadas a todos empreendimentos que serão construídos. Com
432 relação ao Brasil, o aço é mais caro que o concreto, refletindo no custo da estrutura. Espera-se
433 futuramente que o preço do aço e concreto seja competitivo, como já observado em países
434 desenvolvidos (Estados Unidos, Inglaterra etc.).

435 A escolha pelo sistema estrutural não deve ser uma concorrência ou competição entre os tipos
436 em estudo. Deve ser realizada com base nas características marcantes do empreendimento e nos
437 aspectos representativos a fim de comparação, priorizando o mandatório, o desejável e o que não
438 pode mudar, que satisfarão a vontade do investidor e da edificação.

439 **6. AGRADECIMENTOS**

440 Primeiramente quero agradecer a Deus pela capacidade de aprender e pelo dom do estudo, a
441 minha família que sempre esteve comigo, a UFV pela sua qualidade de ensino, aos meus amigos de
442 classe, a minha namorada Amanda, aos meus professores e Prof. Leonardo Mesquita que me orientou
443 neste trabalho.

444 Lucas 14:28-31; Qual de vocês, se quiser construir uma torre, primeiro não se
445 assenta e calcula o preço, para ver se tem dinheiro suficiente para completá-la? Pois,
446 se lançar o alicerce e não for capaz de terminá-la, todos os que a virem rirão dele,
447 dizendo: 'Este homem começou a construir e não foi capaz de terminar'. "Ou, qual é
448 o rei que, pretendendo sair à guerra contra outro rei, primeiro não se assenta e pensa
449 se com dez mil homens é capaz de enfrentar aquele que vem contra ele com vinte
450 mil? (A Bíblia, Lucas 14, versículo 28-31, 1990, pag. 1273).

451 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 452 ALMEIDA, Prof. Msc. Luiz Carlos de. **Fundamentos do concreto armado**: Notas de aula da
453 disciplina AU414 - Estruturas IV – Concreto armado. Campinas: Universidade Estadual de Campinas,
454 2002. 13 p.
- 455 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de
456 concreto — Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 256 p
- 457 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Cargas para o cálculo de
458 estruturas de edificações. Rio de Janeiro: Abnt, 1980. 6 p.
- 459 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações,
460 mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. 3 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2015. 162 p.
- 461 BARRET BYRD ASSOCIATES; DRENNAN, Michael Bryan. **Comparative Construction Costs
462 of Typical Low-rise Office Buildings in South Africa**. 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado) -
463 Associates, Faculty Of Engineering At Stellenbosch University, University Of Stellenbosch, South
464 Africa, 2017.
- 465 BARROS, Mercia Maria S. Bottura de; MELHADO, Silvio Burrattino. **Recomendações para a
466 produção de estruturas de concreto armado em edifícios**. São Paulo: Epusp/senai, 2006. 42 p.
467 Disponível em: <http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/TT_00004.pdf>. Acesso em: 20 abr.
468 2018.
- 469 BELLEI, Ildony H.; PINHO, Fernando O.; PINHO, Mauro O.. **Edifício de Múltiplos Andares em
470 Aço**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008. 558 p.
- 471 CONSELHO DE EDIFÍCIOS ALTOS E HABITAT URBANO; MCGAR, Justin. **Timber vs Steel
472 vs Concrete Structures**. 2014. Disponível em: <[https://sourceable.net/timber-vs-steel-vs-concrete-
473 structures/](https://sourceable.net/timber-vs-steel-vs-concrete-structures/)>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- 474 BCSA, CONSTRUCTIONAL STEELWORK ASSOCIATION BRITISH; STEEL, TATA;
475 OLDHAM, Rachel, WOLSTENHOLME, Alastair. Multi-storey offices. Steel Insight, United
476 Kingdom, v. 1, n. 3, p.0-8, abr. 2012.
- 477 CORRÊA NETO, Bernado. **TCPO** - Tabela de composição de preços para orçamentos. 13. ed. São
478 Paulo: Pini, 2010. 640 p.
- 479 CORUS CONSTRUCTION & INDUSTRIAL (United Kingdom). **Supporting the commercial
480 decision**: Comparing the cost of steel and concrete framing options for commercial buildings. 2004.
481 Disponível em: <www.corusconstruction.com>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- 482 DABHADE. Time and Cost Evaluation of Construction of Steel Framed Composite Floor with
483 Precast Concrete Floor Structure. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND
484 ROBOTICS IN CONSTRUCTION (ISARC 2009), 26., 2009, India: College Of Engineering, 2009.
485 p. 139 - 148.
- 486 DRENNAN, Michael Bryan. **Comparative Construction Costs of Typical Low-rise Office
487 Buildings in South Africa**. 2017. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engineering In Structural,
488 Faculty Of Engineering At Stellenbosch University, University Of Stellenbosch, South Africa, 2017.
- 489 INSTITUTO AUSTRALIANO DE AÇO; DRENNAN, Michael Bryan. **Comparative Construction
490 Costs of Typical Low-rise Office Buildings in South Africa**. 2012. 165 f. Dissertação (Mestrado)
491 - Faculty Of Engineering At Stellenbosch University, University Of Stellenbosch, South Africa, 2017.
- 492 KRUG, Lucas Fernando; HABITZREITTER, Maxoel; BUENO, Bruna. **Estudo comparativo entre
493 concreto usinado e concreto produzido no canteiro de obras**. In: XVI ENCONTRO NACIONAL

- 494 DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... . Porto Alegre:
495 Entac, 2016. p. 0 - 8.
- 496 MARCO, Eduardo. **CONSTRUÇÃO MERCADO: Estrutura metálica x estrutura em concreto**
497 **armado**. Rio de Janeiro: Pini, 1 ago. 2015. Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA
498 Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br>>. Acesso em: 25 maio 2018.
- 499 MATHYS; DRENNAN, Michael Bryan. **Comparative Construction Costs of Typical Low-rise**
500 **Office Buildings in South Africa**. 2003. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Civil Engineering,
501 Faculty Of Engineering At Stellenbosch University, University Of Stellenbosch, South Africa, 2017.
- 502 MCGAR, Justin. **Timber vs Steel vs Concrete Structures**. 2014. Disponível em:
503 <<https://sourceable.net/timber-vs-steel-vs-concrete-structures/>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- 504 MENEZES, Antonio Armando Santos; LIMA, Camila Silva; SILVA, Liliane Souza; ROCHA, Felipe
505 L'amour. **Programação para análise do custo benefício entre a utilização de concreto usinado e**
506 **concreto feito em obra**. 2013. 11 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Ciências
507 Exatas e Tecnológicas, Universidade Tiradentes, Sergipe, 2013.
- 508 METFORM. **A Solução Definitiva em Lajes**. Disponível em: <www.metform.com.br>. Acesso em:
509 10 nov. 2017.
- 510 PASSUELO; Alexandra et al. Princípios Básicos Para Projetos em Estruturas de Concreto. In: Ibracon
511 **Concreto: Ciência e Tecnologia. - IBRACON** São Paulo: Geraldo Cechella Isaia, 2011. Cap. 3. p.
512 11-1902.
- 513 PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança. **Estruturas Metálicas - Cálculos, Detalhes,**
514 **Exercícios e Projetos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 316 p.
- 515 PINHO, Fernando; PENNA, Fernando Ottoboni. **VIABILIDADE ECONÔMICA**. Rio de Janeiro:
516 Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2008. 84 p. (Série “Manual de Construção em Aço”).
- 517 REGATTIERI, Carlos Eduardo Xavier; MARANHÃO, Flávio Leal. Produção e controle de concreto
518 dosado em central. In: CONCRETO: CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Ed. G. C. ISAIA. – São Paulo:
519 IBRACON. 2011. vol 1.
- 520 ROSSATTO, Bárbara Maier. **Estudo comparativo de uma edificação em estrutura**
521 **metálica/concreto armado: estudo de caso**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de
522 Engenharia Civil, Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria (ufsm, Rs),
523 Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.
- 524 ROSTAM, S. (1991). **Durabilidade das estruturas de concreto: a abordagem CEB-FIP**. CEB-
525 FIP 90, agosto de 1991. Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ / CEB. p.369-429.
- 526 SANTOS, Karine Alves dos. **Proposta de critérios para escolha de sistemas estruturais através**
527 **de uma análise de custo**. 2011. 54 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil,
528 Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará,
529 Fortaleza, 2011
- 530 SECRETÁRIA DE ESTADO DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS DE MINAS
531 GERAIS. **SETOP**. 2017. Disponível em: <[http://www.transportes.mg.gov.br/municipio/consulta-a-](http://www.transportes.mg.gov.br/municipio/consulta-a-planilha-de-precos-setop)
532 [planilha-de-precos-setop](http://www.transportes.mg.gov.br/municipio/consulta-a-planilha-de-precos-setop)>. Acesso em: 10 out. 2017.
- 533 STEEL, TATA; SCI E BCSA; DRENNAN, Michael Bryan. **Comparative Construction Costs of**
534 **Typical Low-rise Office Buildings in South Africa**. 2015. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso
535 de Engineering In Structural, Faculty Of Engineering At Stellenbosch University, University Of
536 Stellenbosch, United Kingdom, 2017.

537 THE AMERICAN INSTITUTE OF STEEL; DRENNAN, Michael Bryan. **Comparative**
538 **Construction Costs of Typical Low-rise Office Buildings in United States of America.** 2011. 165
539 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engineering In Structural, Faculty Of Engineering At
540 Stellenbosch University, University Of Stellenbosch, South Africa, 2017.

541

542

543

544

545