

ARTIGO TÉCNICO

ESTUDO COMPARATIVO NO DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO UTILIZANDO O CÁLCULO MANUAL E SOFTWARE ESTRUTURAIS

⁽¹⁾ Otávio dos Santos Krauss Ribeiro

⁽²⁾ Leonardo Carvalho Mesquita

⁽¹⁾ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba

⁽²⁾ Professor Auxiliar da Universidade Federal de Viçosa *Campus* Rio Paranaíba

Presidente da banca: Leonardo Carvalho Mesquita

Membro 1: Lucas Martins Guimarães

Membro 2: Diogo Soares Resende

20 de Fevereiro de 2017

RESUMO: O projeto estrutural de uma obra é responsável por proporcionar segurança, funcionalidade e durabilidade às edificações. Durante o dimensionamento a interpretação e a análise do comportamento real de uma estrutura são, geralmente, complexas e difíceis de realizar sem a ajuda de programas computacionais. Devido a essa complexidade e a exigência com prazos, encontram-se hoje no mercado diversos softwares que viabilizam o cálculo estrutural. A crescente aplicação desses programas conduziu a uma série de dúvidas aos engenheiros e estudantes de engenharia, por exemplo, qual o mais adequado e econômico ou quais as diferenças entre eles. Em consequência disso, o presente trabalho teve como objetivo estabelecer um comparativo entre o cálculo estrutural manual de um edifício e três softwares muito utilizados no mercado. A princípio foi trabalhado o software CypeCad (CYPE, 2016) que, trata-se de um programa desenvolvido na Espanha e é comumente empregado para dimensionamento de estruturas em concreto armado. Posteriormente foi utilizado o Eberick (AltoQi, 2015), de atribuições similares ao anterior e é um software brasileiro. Em seguida foi aplicado o Sistema TQS (TQS Informática, 2017), também brasileiro e destinado à elaboração de projetos estruturais. Todos os métodos de cálculo executados foram realizados como base as normativas ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 6120:1980, ABNT NBR 7480:1996, ABNT NBR 6123:1988 e ABNT NBR 8681:2002. A sequência de procedimentos foi realizada similarmente para os quatro métodos. A primeira análise realizada foi referente às cargas que chegam às fundações, na qual os resultados obtidos foram bastante semelhantes entre os softwares e o cálculo manual. Num segundo instante comparou-se os esforços do vento na estrutura que, apresentaram valores coerentes e semelhantes entre eles. Por fim foram realizadas comparações entre cada tipo de elemento (pilares, vigas e lajes) do edifício, na qual os resultados mostraram que os softwares apresentaram diferenças na área de aço efetiva. De modo geral o

36 software CypeCad (CYPE, 2016) obteve resultados próximos aos do cálculo manual enquanto os
37 softwares Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017) apresentaram áreas de aço efetiva
38 maiores.

39 **PALAVRAS-CHAVES:** CypeCad, Eberick, TQS, Concreto Armado, Comparação.

40 **ABSTRACT:** The structural design of a building is responsible for providing safety, functionality
41 and durability to it. During sizing the interpretation and analysis of the actual behavior of a structure
42 are usually difficult to do without the aid of computer programs. Nowadays, there are many
43 software on the market that allow the structural calculation due to this complexity and the present
44 requirement of deadlines in the civil construction. The increasing application of these programs has
45 brought some doubts to engineers and engineering students. For example, which is the most
46 appropriate and economical, or the differences between them. Therefore, the present work had as
47 objective to establish a comparison between the manual structural calculation of a building and
48 three softwares widely used for the structural dimensioning. At first, the software CypeCad (CYPE,
49 2016) was used. It is a program developed in Spain and is commonly used for sizing structures in
50 reinforced concrete. Later Eberick (AltoQi, 2015) was used, which has similar attributions to the
51 previous one. It is a brazilian software. Next, the TQS System (TQS Informática, 2017), also
52 brazilian System was applied and for the elaboration of structural projects. All the calculation
53 methods performed were based on ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 6120:1980, ABNT NBR
54 7480:1996, ABNT NBR 6123:1988 and ABNT NBR 8681:2002. The sequence of procedures was
55 performed similarly for the four methods in order to obtain a true and fair comparison. The first
56 analysis was about the loads that reach the foundations. The results obtained were quite similar
57 between software and manual calculation. In a second moment the efforts of the wind in the
58 structure were compared, which presented coherent and similar values between them. Finally,
59 comparisons were made between each type of element (columns, beams and slabs) of the building.
60 The results showed that the software presented differences in the effective steel area. In general, the
61 CypeCad (CYPE, 2016) software obtained results close to Manual Calculus while Eberick (AltoQi,
62 2015) and TQS (TQS Informática, 2017) presented larger effective steel areas.

63 **KEYWORDS:** CypeCad, Eberick, TQS, Reinforced Concrete, Comparison.

64 1. INTRODUÇÃO

65 O cálculo estrutural de um edifício corresponde à concepção, análise, dimensionamento e
66 detalhamento de uma estrutura de maneira que ela possa sustentar todas as cargas pré-estabelecidas
67 e transmiti-las para o solo através da fundação.

68 A concepção estrutural, ou simplesmente estruturação, segundo Pinheiro L.M. (2003) consiste
69 em escolher os elementos a serem utilizados na estrutura, definindo suas posições de modo a formar

70 um sistema estrutural eficiente, capaz de absorver os esforços oriundos das ações atuantes e
71 transmiti-los ao solo de fundação.

72 A análise estrutural constitui-se no cálculo e análise dos deslocamentos e esforços solicitantes
73 nos pilares, nas vigas e nas lajes que compõe o edifício. É uma etapa importante, pois enxerga-se o
74 comportamento da estrutura como todo, sendo o dimensionamento e detalhamento realizados com
75 base nos seus resultados.

76 O Dimensionamento é a etapa que as armaduras necessárias dos elementos estruturais são
77 dimensionadas de acordo com as solicitações calculadas durante a análise estrutural. Posteriormente
78 é realizado o detalhamento destes elementos onde é possível verifica-los e edita-los, pois existem
79 diversas condições que não são consideradas pelos softwares de forma automática.

80 O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise comparativa entre os resultados obtidos com
81 auxílio de diferentes softwares de estruturas presentes no mercado e por meio de cálculos manuais,
82 através de um estudo de caso, em que foi dimensionado um edifício de concreto armado de sete
83 pavimentos, composto por lajes, vigas e pilares. Os softwares utilizados neste trabalho foram o
84 CypeCad (CYPE, 2016), Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017), pois trata-se dos
85 programas mais utilizados para dimensionamento de estruturas no Brasil.

86 O primeiro software, CypeCad versão 2016 da CYPE é um programa para projeto estrutural
87 em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto e aço que engloba as etapas de
88 lançamento de projeto, análise estrutural por meio de pórticos espaciais, dimensionamento e
89 detalhamento final dos elementos.

90 O segundo, Eberick V10 da AltoQi, é um software utilizado para elaboração de projetos
91 estruturais em concreto armado moldado in-loco e concreto pré-moldado que engloba as etapas de
92 lançamento, análise da estrutura por meio do método de analogia de grelhas e pórticos espaciais,
93 dimensionamento e o detalhamento final dos elementos.

94 O terceiro software, TQS V19 da empresa TQS Informática Ltda é capaz de fazer projetos
95 estruturais em concreto armado e alvenaria estrutural com análise de esforços através de pórtico
96 espacial e analogia de grelhas. Assim como os outros programas, ele também possui um conjunto
97 de ferramentas para o cálculo, dimensionamento, detalhamento final dos elementos.

98 É importante ressaltar que neste trabalho todos os cálculos manuais, assim como os softwares
99 utilizados, estão de acordo com as seguintes normas brasileiras: ABNT NBR 6118:2014 - Projetos
100 de Estruturas de concreto- Procedimento; ABNT NBR 6120:1980 - Cargas para o cálculo de
101 estruturas de edificações; ABNT NBR 7480:1996 - Barras e Fios de aço destinados a armaduras
102 para concreto armado; ABNT NBR 6123:1988 - Forças devidas ao vento em edificações e ABNT
103 NBR 8681:2002 - Ações e segurança nas estruturas- Procedimento.

104

105 **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

106 Um estudo de caso realizado por Vergutz e Custódio (2010) pela Universidade Federal do
107 Paraná, cujo tema foi “Análise comparativa de resultados obtidos em softwares de
108 dimensionamento de estruturas em concreto armado”, mostrou resultados comparando as cargas que
109 chegam á fundação e consumo de aço pelos três softwares utilizado neste estudo e o cálculo manual
110 conforme mostrado nas Tabelas 1 e 2 respectivamente.

111 Tabela 1 - Cargas na fundação de três pilares (VERGUTZ e CUSTÓDIO, 2010).

Pilar	Seção (cm)	Estimada	TQS	Eberick	CypeCad
P1	15 x 30	13,90	17,80	20,70	18,4
P2	15 x 30	13,90	33,10	30,70	30,3
P3	15 x 30	11,40	17,40	22,20	20,6

112 Tabela 2 - Comparativo do consumo de aço em um pilar (VERGUTZ e CUSTÓDIO, 2010).

Programa	Nd (tf)	As, calculado (cm ²)	As, adotado (cm ²)	As, efetiva (cm ²)
Eberick	26,90	12,60	16 Φ10 mm	12,57
TQS	28,10	20,10	10 Φ16 mm	20,11
CypeCad	24,92	10,00	6 Φ16 mm	12,06
Manual	26,90	5,89	8 Φ10 mm	6,28

113 Freitas et al. (2014) em “Cálculos Estruturais em Concreto Armado: Comparativo entre o
114 cálculo manual e com auxílio de software” também faz um comparativo entre o Eberick (AltoQi,
115 2010) e o cálculo manual conforme mostrado na Tabela 3.

116 Tabela 3 - Comparativo do consumo de aço nas vigas (FREITAS et al., 2014).

Viga	Eberick As (cm ²)	Manual As (cm ²)
V1	3,66	3,47
V2	2,79	2,69
V3	2,97	2,82
V4	3,66	3,47
V5	2,79	2,69
V6	4,62	4,44
V7	1,91	1,86

117 **2.1 Modelo estrutural**

118 Kimura (2007) define modelo estrutural como um protótipo que procura simular um edifício
119 real no computador. Existem inúmeros modelos estruturais que podem ser empregados na análise de
120 edifícios em concreto armado sendo alguns mais simples e outros mais complexos.

121 Alguns modelos estão citados a seguir de maneira resumida para que se entenda melhor como
122 é feito a análise estrutural.

123 **2.1.1 Métodos aproximados com vigas contínuas**

124 Trata-se de um modelo estrutural simples, de fácil compreensão e que permite uma
125 visualização muito clara do percurso das cargas verticais aplicadas ao edifício até as fundações. No
126 entanto possui algumas aproximações que limitam seu uso para cálculo de estruturas mais
127 complexas. Uma dessas limitações é que o modelo estrutural não considera torção nas vigas, isto é,
128 desconsidera o efeito da torção.

129 Segundo Kimura (2007) a análise estrutural baseada neste modelo é realizada da seguinte
130 maneira:

- 131 • Os esforços e as flechas nas lajes são calculados a partir de tabelas baseadas em
132 diversos métodos aproximados.
- 133 • As cargas das lajes são transferidas para as vigas por área de influência.
- 134 • Os esforços e as flechas nas vigas são calculados por meio do modelo clássico de viga
135 contínua com apoios simples que simulam os pilares.
- 136 • A reação vertical obtida nos apoios das vigas é transferida como carga concentrada
137 nos pilares.

138 **2.1.2 Grelha de vigas e lajes**

139 Este modelo é utilizado para análise estrutural de um pavimento sendo assim denominado
140 como análise de pavimentos por “analogias de grelhas”. Kimura (2007) fala que o modelo é
141 composto por elementos lineares dispostos no plano horizontal do piso que simulam as vigas e
142 lajes, formando uma malha de barras submetidas a cargas verticais. Os pilares são representados por
143 apoio simples.

144 Nesse modelo, a interação entre todas as lajes e vigas do pavimento é considerada de forma
145 bastante precisa. Uma vez que aplicada as cargas verticais nos elementos, a distribuição dos
146 esforços nas lajes é feita automaticamente de acordo com a rigidez de cada barra. O esforço migrará
147 automaticamente para as regiões de maior rigidez.

148 **2.1.3 Pórtico Plano**

149 De acordo com Kimura (2007), este modelo é destinado à análise do comportamento global
150 de um edifício e não apenas de um pavimento. Uma parte da estrutura é analisada por barras

151 dispostas num mesmo plano vertical que representam um conjunto de vigas e pilares presentes em
152 um mesmo alinhamento do edifício.

153 Cada nó entre os elementos lineares possui três graus de liberdade (duas translações e uma
154 rotação), possibilitando a obtenção dos deslocamentos e esforços em todas as vigas e pilares. A
155 interpretação e análise dos resultados são simples, principalmente quando se dispõe de recursos
156 gráficos em um sistema computacional.

157 **2.1.4 Pórtico espacial**

158 Segundo Kimura (2007), o modelo estrutural de pórtico espacial é um modelo tridimensional,
159 composto por barras que representam os pilares e vigas presentes num edifício, o que possibilita
160 uma avaliação bastante completa e eficiente do comportamento global da estrutura. Este modelo
161 admite a aplicação simultânea de ações verticais e horizontais, podendo ser avaliado o
162 comportamento em todas as direções e sentidos.

163 Cada nó entre os elementos lineares possui seis graus de liberdade (três translações e três
164 rotações), possibilitando a obtenção dos deslocamentos e esforços em todas as vigas e pilares.

165 **2.1.5 Elementos finitos**

166 Kimura (2007) apresenta o Método dos Elementos Finitos (MEF) como um método numérico
167 consagrado e eficiente que pode ser plenamente utilizado na análise de inúmeros tipos de estruturas
168 de concreto armado. Cada elemento finito possui um comportamento particular pré-definido que,
169 uma vez superposto aos demais elementos da malha, simulam a estrutura analisada.

170 Kimura (2007) ainda fala que assim como o método com grelhas de vigas e lajes, um modelo
171 composto por elementos finitos de placa pode ser utilizado na análise de pavimentos. As vigas são
172 representadas por barras como na grelha. Porém, as lajes não são simuladas por elementos lineares,
173 mas sim elementos bidirecionais chamados de placas. Cada placa é subdividida ou discretizada em
174 diversas placas menores.

175 **2.2 Ação do Vento**

176 Para Chust e Carvalho (2011) a formação do vento depende de uma série de fenômenos
177 meteorológicos e é um fator muito importante para se levar em conta no cálculo estrutural. Por essa
178 razão, o projetista deve considerar na análise estrutural a direção do vento que seja mais
179 desfavorável para a estrutura.

180 A ABNT NBR 6118:2014 prescreve que os esforços devido à ação do vento devem ser
181 determinados de acordo com a ABNT NBR 6123:1988, forças devidas ao vento em edificações.
182 Segundo esta norma técnica a pressão que o vento exerce em um edifício pode ser calculada pelas
183 Equações 1 e 2 a seguir.

$$184 \quad q_{vento} = 0,613 \cdot V_k^2 \quad \text{Eq. (1)}$$

185
$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$
 Eq. (2)

186 em que:

187 q_{vento} = Pressão de obstrução causada pelo vento (kN/m²);

188 V_k = Velocidade característica utilizada em projeto (m/s);

189 V_0 = Velocidade básica do vento (m/s);

190 S_1 = Fator que depende da topografia (fator topográfico);

191 S_2 = Fator de rugosidade do terreno (dimensões e altura da edificação);

192 S_3 = Fator estatístico.

193 2.3 Estabilidade global

194 A ABNT NBR 6118:2014 define estruturas de nós fixos como aquelas em que os
195 deslocamentos horizontais dos nós são pequenos e com isso pode-se desprezar os efeitos globais de
196 segunda ordem passando a considerar apenas os efeitos locais de primeira ordem. Já as estruturas de
197 nós móveis são aquelas em que os deslocamentos horizontais não são pequenos e, em decorrência,
198 os efeitos globais de segunda ordem são importantes e devem ser considerados.

199 “Os efeitos de 2ª ordem são aqueles que se somam aos obtidos em uma análise de primeira
200 ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial),
201 quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada.
202 Estes efeitos cuja determinação deve ser considerado o comportamento não linear dos
203 materiais, podem ser desprezados sempre que não representarem acréscimo superior a 10 %
204 nas reações e nas solicitações relevantes na estrutura. (ABNT NBR, 2014, p. 100).”

205 O item 15.5 da ABNR NBR 6118:2014, “*Dispensa da consideração dos esforços globais de*
206 *2ª ordem*” prescreve as condições para que os efeitos globais de segunda ordem possam ser
207 dispensados, sendo uma delas o coeficiente γ_z . Este é válido para estruturas reticuladas de no
208 mínimo quatro andares e por meio dele podemos avaliar a importância dos esforços de segunda
209 ordem. Considera-se que a estrutura é de nós fixos se o coeficiente γ_z for menor que 1,1. O valor de
210 γ_z é determinado utilizando Equação 3.

211
$$\gamma_z = \frac{1}{1 - \frac{\Delta M_{tot,d}}{M_{1,tot,d}}}$$
 Eq. (3)

212 em que:

213 γ_z = Coeficiente de avaliação dos efeitos globais da estrutura;

214 $\Delta M_{tot,d}$ = Soma dos produtos de todas as forças verticais atuantes na estrutura (kN.m);

215 $M_{1,tot,d}$ = Soma dos momentos de todas as forças horizontais em relação à base da estrutura
216 (kN.m).

217 O item 15.7.3 da ABNT NBR 6118:2014, “*Consideração aproximada da não linearidade*
218 *física*”, diz que pode ser considerada a não linearidade física de maneira aproximada tomando-se
219 como rigidez dos elementos estruturais os seguintes valores:

- 220 • Lajes: $(EI)_{sec} = 0,3 \cdot E_{ci} I_c$;
- 221 • Vigas: $(EI)_{sec} = 0,4 \cdot E_{ci} I_c$ para $A_s \neq A'_s$ e
222 $(EI)_{sec} = 0,4 \cdot E_{ci} I_c$ para $A_s = A'_s$
- 223 • Pilares: $(EI)_{sec} = 0,8 \cdot E_{ci} I_c$;

224 em que:

225 $(EI)_{sec}$ = Rigidez secante;

226 E_{ci} = Módulo de deformação tangente inicial do concreto;

227 I_c = Momento de inércia da seção do concreto;

228 A_s = Área da seção transversal da armadura longitudinal de tração;

229 A'_s = Área da seção transversal da armadura longitudinal de compressão;

230 3 METODOLOGIA

231 3.1 Dados do projeto

232 Com o objetivo de realizar um comparativo entre os três softwares e o cálculo manual, o
233 projeto piloto foi lançado de forma similar entre eles buscando uma análise, dimensionamento e
234 detalhamento correto. É importante antes de começar um projeto estrutural fazer uma análise
235 criteriosa no projeto arquitetônico já elaborado previamente.

236 No Apêndice A encontra-se a planta baixa do pavimento tipo do projeto piloto utilizado neste
237 trabalho. O projeto piloto trata-se de uma edificação multifamiliar com sete pavimentos.

238 Para facilitar o cálculo manual este estudo não considerou escadas, reservatórios e fundações
239 no comparativo. Todos os pavimentos são de laje maciça e possuem pé direito de 3,0 metros. O
240 concreto utilizado foi o C25 para lajes, pilares e vigas. O coeficiente de ponderação no Estado
241 Limite Último (ELU) de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 para o concreto é de 1,4. Os tipos de
242 aço utilizados foram CA-50 e CA-60 com coeficiente desfavorável de 1,15 no ELU. A ação do
243 vento será considerada visto que o edifício possui 21 m de altura.

244 3.2 Cálculo manual

245 O cálculo manual foi realizado com o auxílio de planilhas Excel (Microsoft, 2016), AutoCAD
246 (Autodesk, 2015), Ftool (CTC PUC-RIO, 1992), P-Calc (TQS Informática, 2017) e as
247 recomendações sobre dimensionamento apresentadas por Bastos (2013) e Chust (2011).

248 Primeiramente foram calculadas as lajes e as vigas. Uma vez que estes dois elementos foram
249 dimensionados então já foi possível calcular os pilares. Toda estrutura foi lançada no software Ftool
250 (CTC PUC-RIO, 1992) na forma de pórticos planos longitudinais e transversais a fim de obter os

251 esforços solicitantes. Chust e Carvalho (2011) dizem que quando a estrutura é composta de diversos
252 pórticos e está submetida à ação do vento, as ações nos elementos podem ser calculadas através de
253 um pórtico tridimensional. Porém em algumas situações é possível simplificar o problema e
254 considerar o vento atuando em uma associação de pórticos bidimensionais conforme mostrado no
255 Apêndice I.

256 O estado-limite considerado no cálculo do edifício foi o estado limite último e as
257 combinações das ações foram feitas de forma a obter os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura.
258 Assim a verificação da segurança foi feita em função de combinações últimas representadas a
259 seguir:

- 260 • Combinação 1: $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_q \cdot (Q_k + \Psi_0 \cdot W_x) = 1,4 \cdot G_k + 1,4 \cdot Q_k + 0,84 \cdot W_x$
- 261 • Combinação 2: $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_q \cdot (Q_k + \Psi_0 \cdot W_y) = 1,4 \cdot G_k + 1,4 \cdot Q_k + 0,84 \cdot W_y$
- 262 • Combinação 3: $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_q \cdot (W_x + \Psi_0 \cdot Q_k) = 1,4 \cdot G_k + 1,4 \cdot W_x + 0,70 \cdot Q_k$
- 263 • Combinação 4: $\gamma_G \cdot G_k + \gamma_q \cdot (W_y + \Psi_0 \cdot Q_k) = 1,4 \cdot G_k + 1,4 \cdot W_y + 0,70 \cdot Q_k$

264 Em que:

265 G_k = Peso próprio (kN/m);

266 Q_k = Sobrecarga (kN/m);

267 W_x = Vento Longitudinal (kN/m);

268 W_y = Vento Transversal (kN/m);

269 Ψ_0 = Fator da redução de combinação para ELU;

270 γ_G = Coeficiente de majoração do peso próprio;

271 γ_q = Coeficiente de majoração da sobrecarga.

272 As planilhas e os arquivos DWG's com todo o dimensionamento das lajes, vigas, pilares,
273 cálculo do vento, coeficiente γ_z , e as cargas na fundação encontram-se nos Apêndice B, C, D, E, F e
274 G, respectivamente.

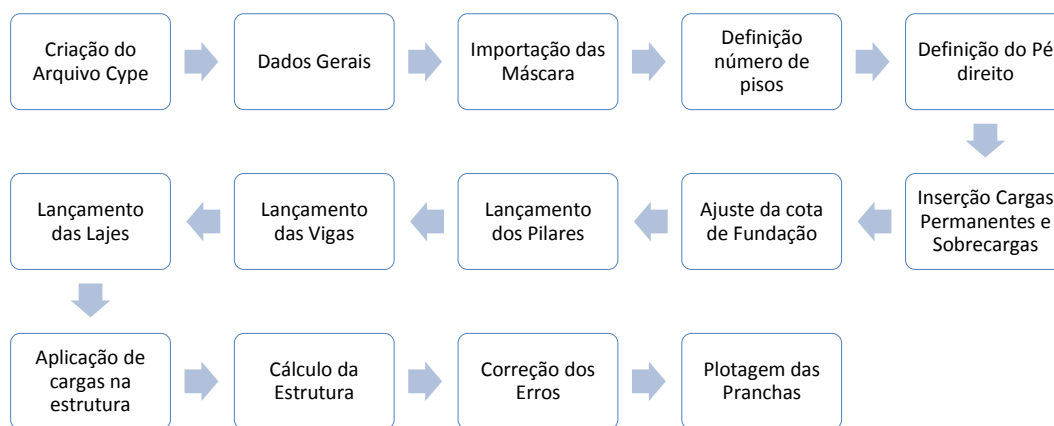
275 **3.3 Cálculo pelo software CypeCad**

276 Neste software a análise da estrutura é feito por meio de pórticos espaciais que utilizam
277 métodos matriciais de rigidez. Desta forma em cada nó da estrutura são considerados 6 graus de
278 liberdade que permite obter a flexibilidade, translação e rotação do sistema estrutural. Assim é
279 possível obter a deformabilidade do plano de cada pavimento, considerando o comportamento
280 rígido das lajes.

281 Para o lançamento dos elementos, o programa possui uma plataforma CAD que ajuda no
282 lançamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) sobre as máscaras (moldes) que são
283 importadas como arquivos DWG ou DXF.

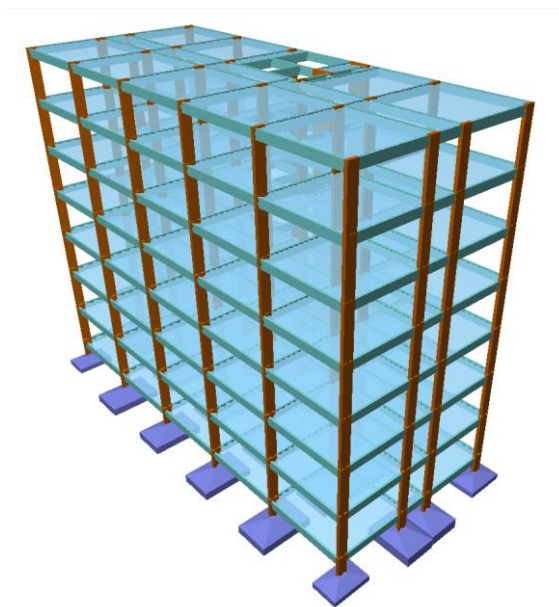
284 É importante configurar alguns coeficientes que futuramente irão fazer diferença no
285 processamento da estrutura sendo os principais o de engastamento e flambagem. O coeficiente de
286 engastamento varia de 0,0 a 1,0 ajustando a proporcionalidade de engastamento estrutural. Para este
287 estudo foi considerado o coeficiente de engastamento igual a 1,0 para engaste de pilares com vigas,
288 lajes e vigas internas. Nas vigas de contorno das lajes adotou-se 0,0. No caso do coeficiente de
289 flambagem dos pilares utilizou-se 1,0 e para os demais elementos foram mantidos os valores pré-
290 definidos do programa.

291 De maneira geral as etapas para o lançamento da estrutura no CypeCad (CYPE, 2016) são
292 feitas conforme o fluxograma da Figura 1. Na Figura 2 pode-se visualizar a imagem 3D do modelo
293 estrutural.



294
295

Figura 1 - Fluxograma CypeCad (CYPE, 2016).



296
297

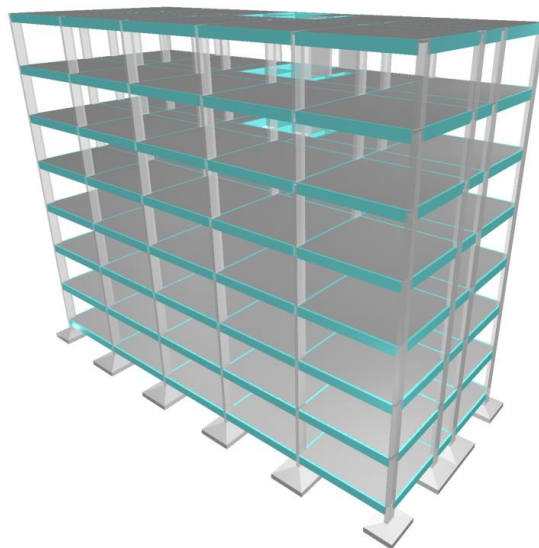
Figura 2 - Estrutura 3D no software CypeCad (CYPE, 2016).

298 3.4 Cálculo pelo software Eberick

299 O lançamento da estrutura no software Eberick (AltoQi, 2015) é semelhante ao do CypeCad
300 (CYPE, 2016). Os tipos de engastamento adotados foram os mesmos utilizados no CypeCad

301 (CYPE, 2016) a fim de simular uma situação semelhante para fazer o comparativo no final. A
302 análise estrutural é feita através de pórticos espaciais e para conhecer o comportamento das lajes
303 utiliza-se o método de analogia de grelhas.

304 Depois de seguir todas as etapas de lançamento foi possível visualizar a imagem 3D do
305 edifício conforme a Figura 3.



306

307

Figura 3 - Estrutura 3D no software Eberick (AltoQi, 2015).

308

3.5 Cálculo pelo software TQS

309

310

311

312

O dimensionamento pelo software TQS (TQS Informática, 2017) é realizado com base em uma série de informações e arquivos que devem ser criados antes do lançamento. A máscara (molde) no qual os elementos vão ser lançados como referência deve ser criada em um arquivo DWG específico do software.

313

314

315

O TQS (TQS Informática, 2017) assim como os demais softwares, possui um modelo estrutural composto por grelhas e pórticos espaciais que funcionam em conjunto permitindo que se faça a análise estrutural e o cálculo de forma mais realista.

316

317

318

319

320

Com a criação da base de dados do edifício feita é possível fazer o lançamento dos dados gerais, a inserção da máscara em arquivo DWG/TQS, lançamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes) e cargas adicionais de paredes para o pavimento tipo. Em seguida, este pavimento é copiado para os demais e então o programa realiza a análise estrutural e o dimensionamento dos elementos estruturais.

321

322

323

Alguns erros são apresentados pelo programa e devem ser corrigidos para a organização das pranchas e posteriormente começar plotagem. Após seguir estas etapas já é possível visualizar o 3D do edifício conforme mostrado na Figura 4.

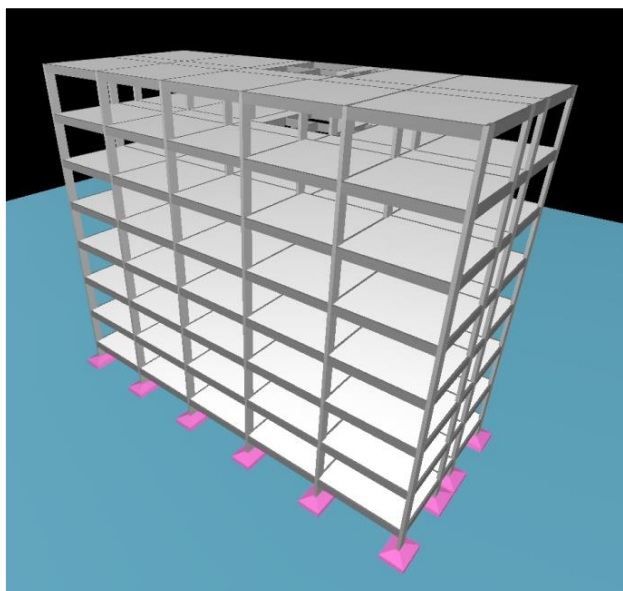


Figura 4 - Estrutura 3D no software TQS (TQS Informática, 2017).

324

325

326 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

327 Os resultados mostrados a seguir foram extraídos das planilhas de dimensionamento do
328 cálculo manual do edifício e dos relatórios gerados pelos softwares CypeCad (CYPE, 2016),
329 Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017). Como o edifício possui 25 pilares, 17 lajes
330 e 18 vigas por pavimento optou-se por fazer a análise em três pilares sendo um de canto, um lateral
331 e um central. Para análise das vigas e lajes foram escolhidas duas vigas e as dezessete lajes do
332 quinto pavimento.

333 4.1 Cargas na fundação

334 Ao comparar os valores das cargas que chegam à fundação do edifício levou-se em conta a
335 forma como cada elemento foi dimensionado, bem como as combinações que foram consideradas.
336 Na Figura 5 mostram-se os resultados obtidos para a carga individualizada de cada pilar que
337 descarrega na sua fundação. Os softwares Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017)
338 apresentaram, na maioria dos casos, valores de cargas maiores em relação ao cálculo manual e ao
339 CypeCad (CYPE, 2016).

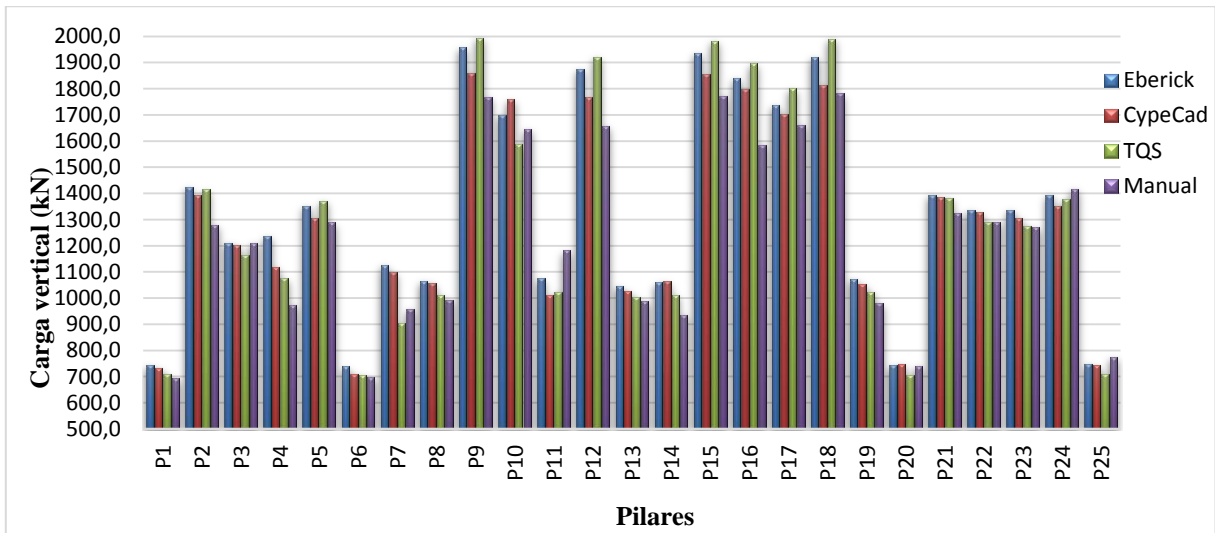


Figura 5 - Cargas na fundação.

4.2 Vento

Ao calcular os esforços do vento nas duas direções constatou-se que os valores obtidos no cálculo manual foram bastante próximos aos dos softwares, como pode ser verificado nas Figuras 6 e 7. Os esforços na direção Y foram superiores a direção X como esperado devido a sua área de influência ser maior. Como o primeiro pavimento está acima da fundação ele recebe pouca força do vento e por isso os valores são nulos ou próximos de zero. Já o oitavo pavimento obteve esforços dos ventos menores devido a sua área de influência ser apenas a metade do sétimo pavimento.

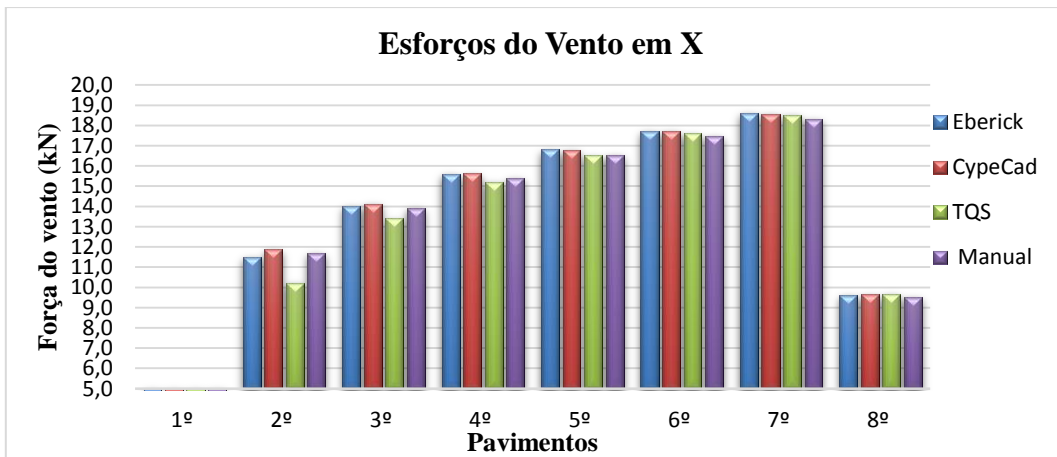


Figura 6 - Esforços do vento em X.

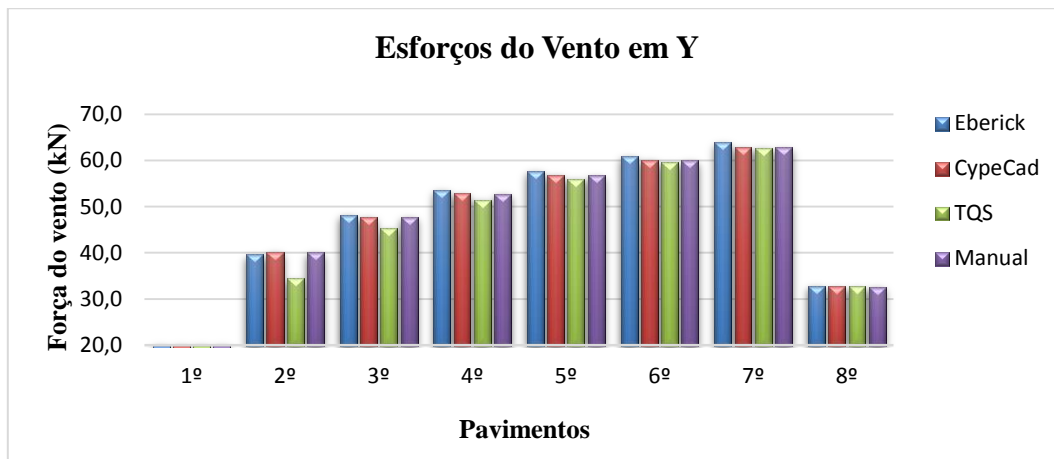


Figura 7 - Esforços do vento em Y.

4.3 Pilares

351

352

353

354

355

356

357

358

359

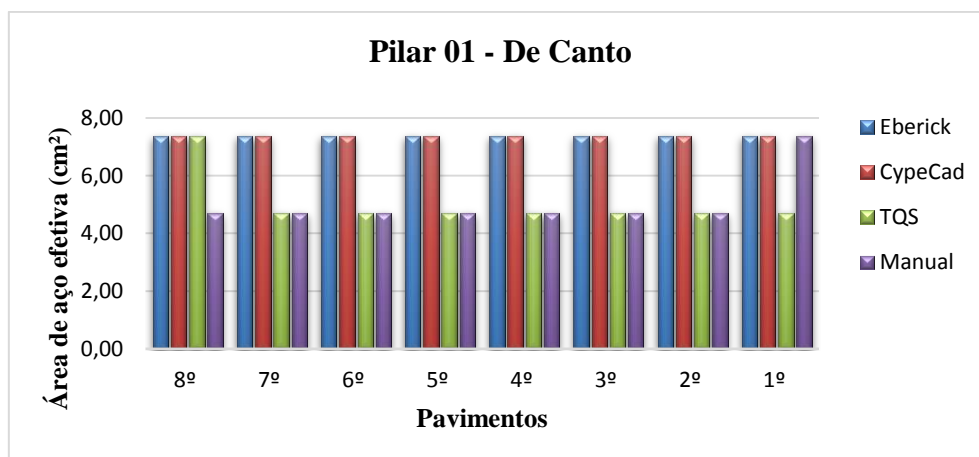
360

361

362

Tendo em vista os resultados obtidos do cálculo manual e por meio dos softwares observa-se que houve certa diferença na área de aço efetiva dos pilares, conforme mostrado nas Figuras 8, 9 e 10. O pilar 01, que é um pilar de canto, obteve-se uma área de aço efetiva menor quando comparada aos pilares 02 (lateral) e 09 (central). Isso já era esperado, uma vez que os pilares centrais tendem a receber mais esforços das lajes e vigas devido aos caminhos das cargas.

Os softwares Eberick (AltoQi, 2015) e CypeCad (CYPE, 2016) apresentaram áreas de aço efetivas maiores para os pilares 01 e 02 na maioria dos pavimentos. Já o TQS (TQS Informática, 2017) obteve valores próximos ao cálculo manual, com algumas elevações da área de aço no primeiro e segundo pavimento para os pilares 02 e 09.



363

364

Figura 8 - Área de aço efetiva do pilar 01.

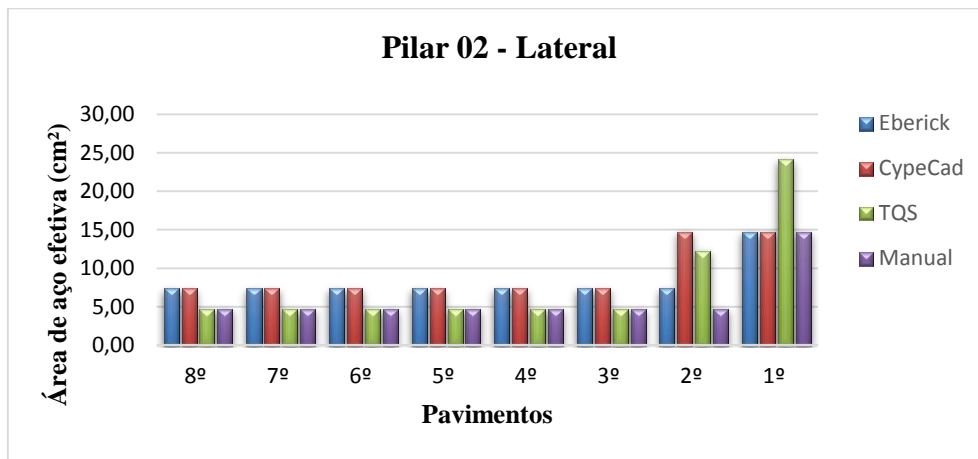


Figura 9 - Área de aço efetiva do pilar 02.

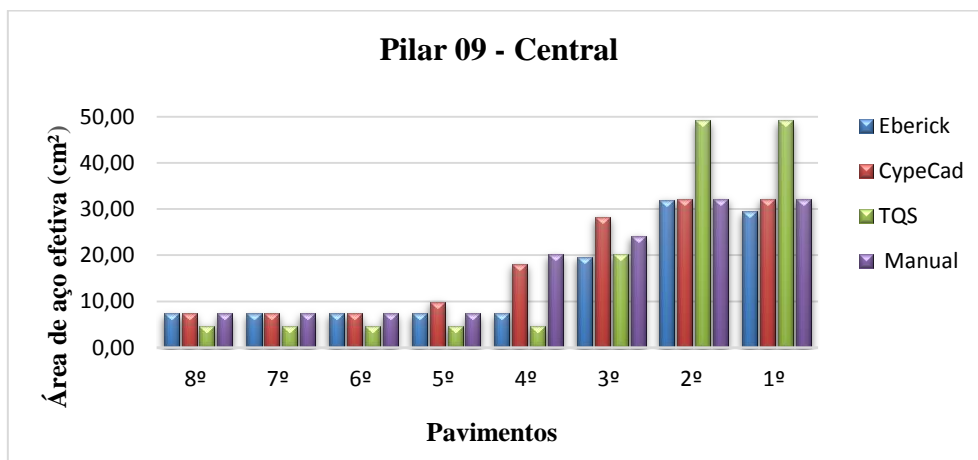


Figura 10 - Área de aço efetiva do pilar 09.

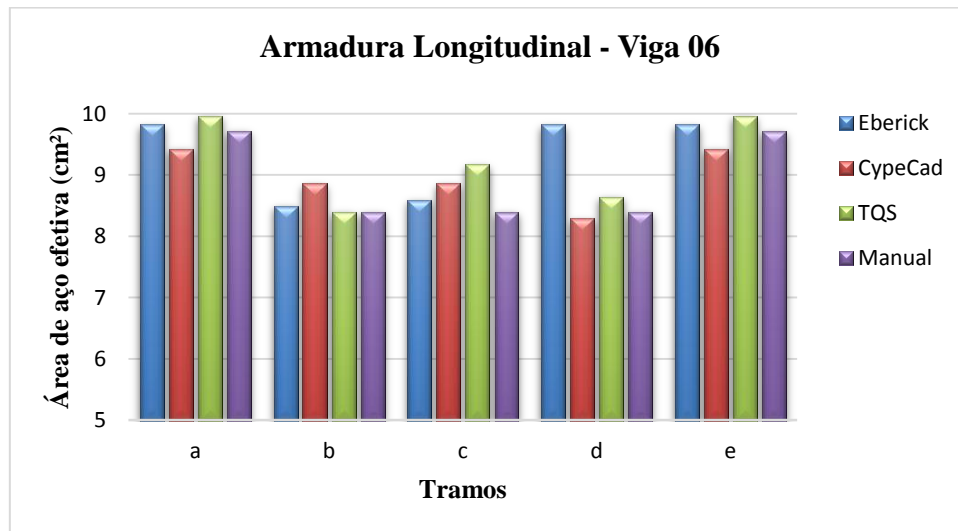
4.4 Vigas

As vigas 06 e 09 do quinto pavimento, que foram escolhidas para análise, apresentaram algumas diferenças quanto à sua área de aço efetiva. A armadura longitudinal da viga 06 obteve alta quantidade de aço nas suas extremidades. Os softwares TQS (TQS Informática, 2017) e Eberick (AltoQi, 2015) foram os que mais apresentaram área de aço efetiva. A taxa de aço da armadura transversal variou entre dois a oito centímetros quadrados e, neste caso, o cálculo manual apresentou os menores valores em todos os tramos.

Para a viga 09 obteve resultados próximos entre o cálculo manual e os três softwares. A área de aço efetiva da armadura longitudinal variou entre sete e dez centímetros quadrados. Da mesma forma que na viga 06, a área de aço efetiva das armaduras transversais também foi maior nos softwares Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017).

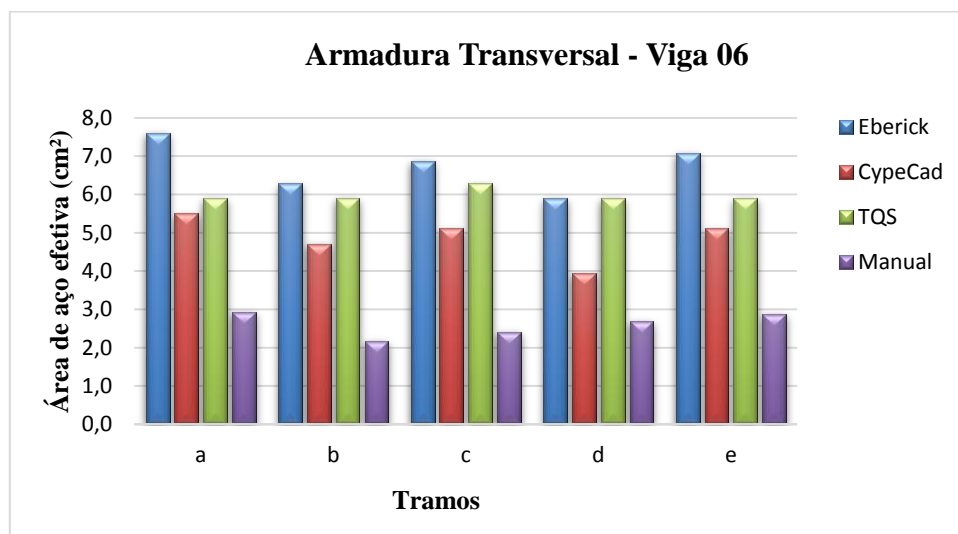
Como as vigas são dimensionadas em função dos seus esforços solicitantes, o Apêndice H mostra a sobreposição dos diagramas de momento fletor e esforço cortante dos três softwares e o cálculo manual para entender melhor o comportamento das vigas e comparar os resultados.

383 Observa-se que o software CypeCad (CYPE, 2016) tem o seu momento fletor máximo nas
384 extremidades um pouco antes dos outros softwares. Isso ocorre porque a medida que a viga acaba e
385 começa o pilar, o programa transmite os esforços para o pilar aliviando a viga. Já o Eberick (AltoQi,
386 2016) e o TQS (TQS Informática, 2017) vão com o momento fletor até o eixo central do pilar
387 gerando maiores momentos fletores e consequentemente maior área de aço efetiva. Nas Figuras 11,
388 12, 13 e 14 mostram-se o comparativo da área de aço efetiva das duas vigas.



389
390

Figura 11 - Armadura longitudinal da viga 06.



391
392

Figura 12 - Armadura transversal da viga 06.

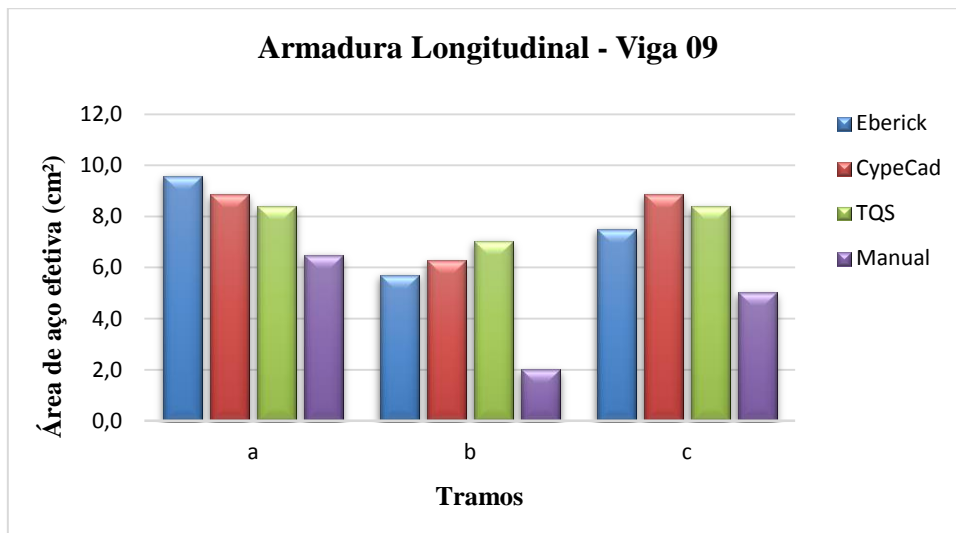


Figura 13 - Armadura longitudinal da viga 09.

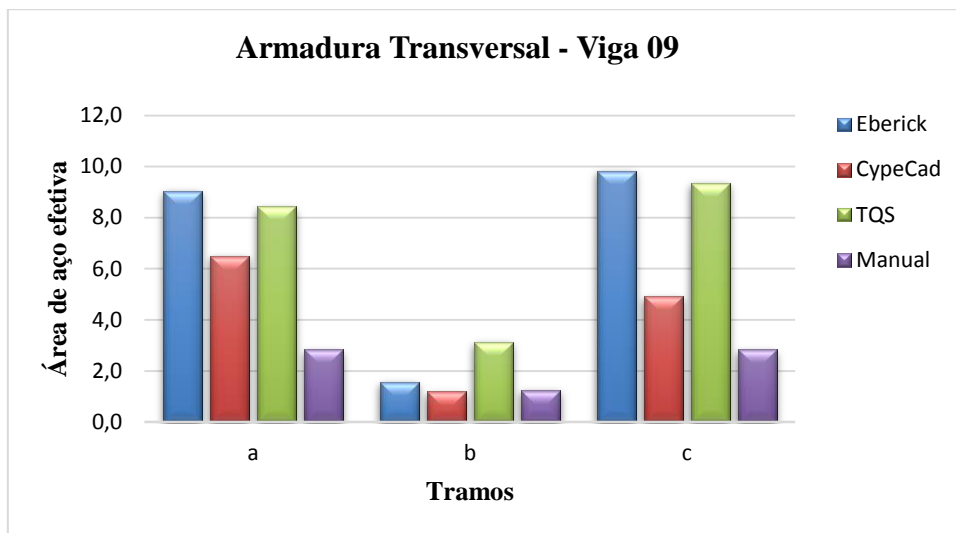
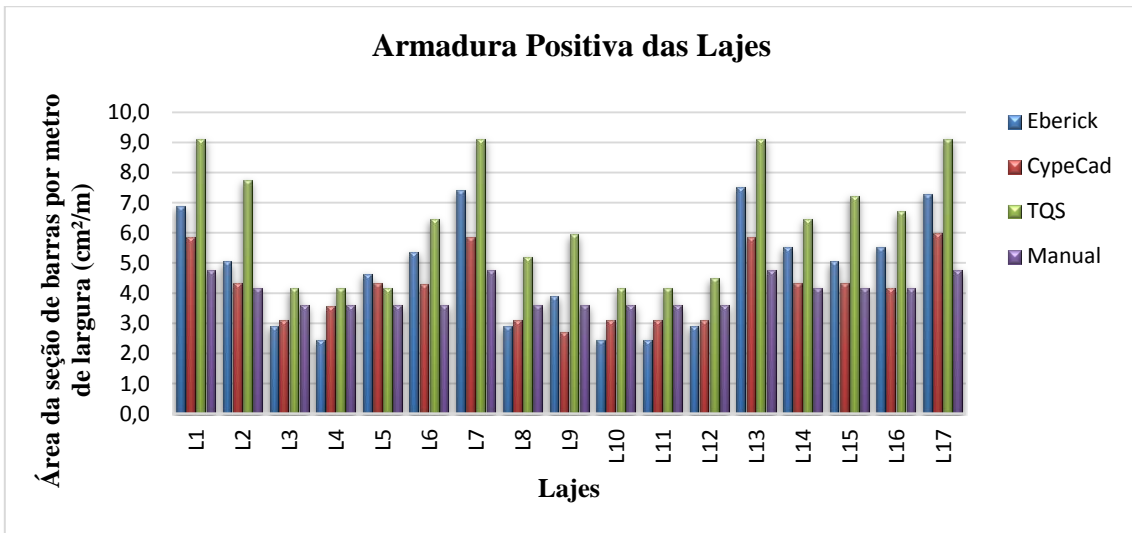


Figura 14 - Armadura transversal da viga 09.

4.5 Lajes

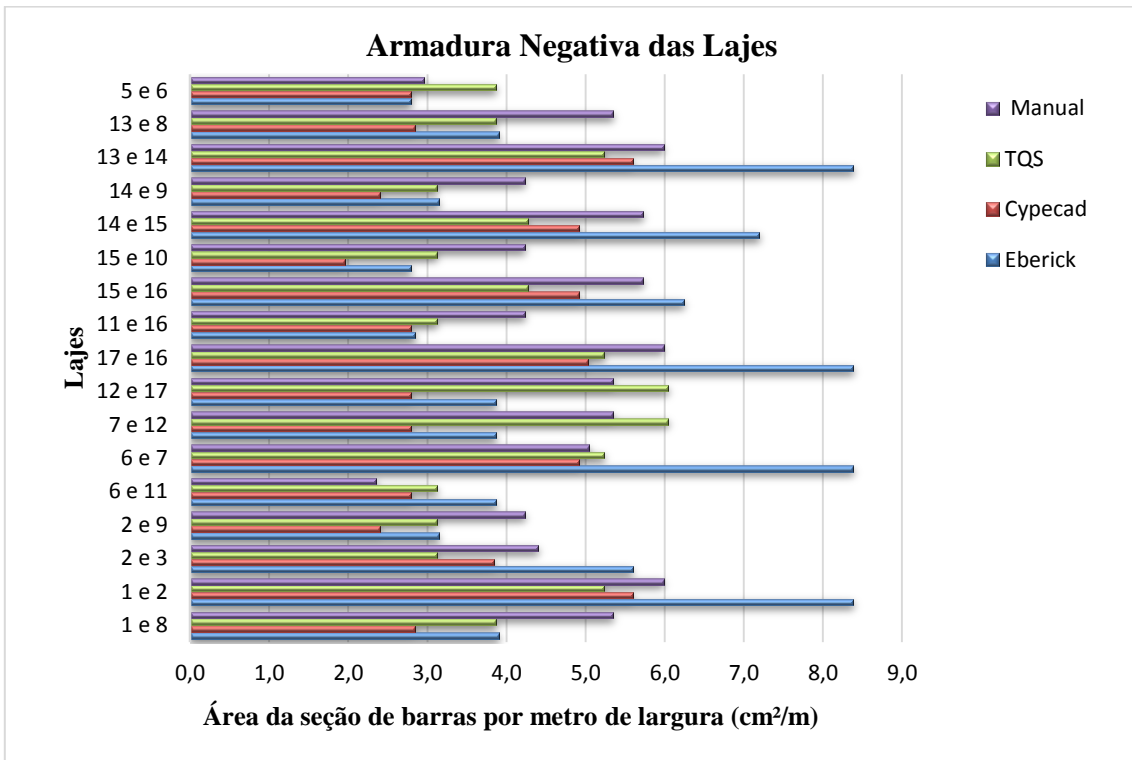
Após realizado o dimensionamento das lajes do quinto pavimento e lançado nos três programas observou-se que o software TQS (TQS Informática, 2017) obteve maior taxa (cm²/m) de armadura positiva e o software Eberick (AltoQi, 2015) de armadura negativa. O software CypeCad (CYPE, 2016) obteve resultados próximos ao cálculo manual na maioria das lajes, tanto para armadura positiva, quanto para a negativa, conforme exibido nas Figuras 15 e 16.



403

404

Figura 15 - Armadura positiva das lajes do 5º pavimento.



405

406

Figura 16 - Armadura negativa das lajes do 5º pavimento.

4.6 Coeficiente γ_z

407

408

409

410

411

412

413

Os valores obtidos do coeficiente γ_z foram bastante coerentes e próximos entre os softwares e o cálculo manual conforme mostrado na Figura 17. De acordo com o item 15.5 da ABNT NBR 6118:2014, dispensa-se os esforços globais de 2ª ordem se o coeficiente γ_z for inferior a 1,1, então pode-se dizer que para o edifício em estudo estes esforços devem ser considerados. Uma forma de diminuir os deslocamentos horizontais e consequentemente o coeficiente γ_z é deixar a estrutura mais rígida, a partir da inserção de pilares paredes e caixa de elevador no edifício, por exemplo.

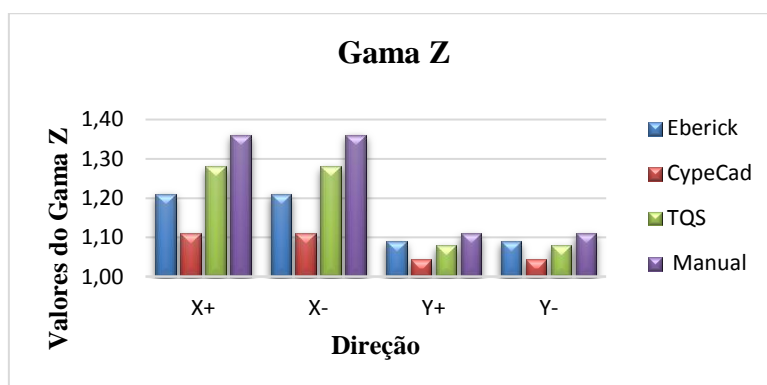


Figura 17 – Coeficiente gama Z.

414
415

416 5 CONCLUSÃO

417 É fato que a informatização nos processos de cálculo de um edifício traz muitas vantagens
418 obtendo eficiência e menos tempo na elaboração de um projeto estrutural em comparação com o
419 cálculo manual. Isto só foi possível depois de anos de estudos e aperfeiçoamentos para que a
420 tecnologia mais uma vez se tornasse aliada do homem.

421 De acordo com os objetivos impostos por este estudo, chegou-se aos resultados esperados
422 para fazer o comparativo no dimensionamento do edifício utilizando o cálculo manual e os
423 softwares CypeCad (CYPE, 2016), Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017).

424 A escolha de qual programa utilizar é relativa, pois cada um tem suas vantagens desde o
425 lançamento dos elementos estruturais até a geração das pranchas. O tempo de processamento deles
426 são diferentes com os softwares Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017) demorando
427 mais que o CypeCad (CYPE, 2016) para processar toda estrutura do edifício. Os elementos
428 analisados apresentaram diferenças de área de aço. No geral o software CypeCad (CYPE, 2016)
429 obteve área de aço menor que os softwares Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017).
430 As cargas na fundação foram semelhantes entres os três softwares e o cálculo manual.

431 Os resultados mostraram que o software CypeCad (CYPE, 2016) obteve valores próximos ao
432 cálculo manual e que os softwares Eberick (AltoQi, 2015) e TQS (TQS Informática, 2017)
433 apresentaram valores maiores evidenciando um possível superdimensionamento dos elementos
434 estruturais do edifício. No geral os resultados foram bastante satisfatórios e coerentes.

435 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

438 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o**
439 **cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 1980.

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

442 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480: Barras e fios de**
443 **aço destinados a armadura para concreto armado**. Rio de Janeiro, 1996.

444 ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e**
445 **segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2002.

446 BASTOS, P.S.S. **Dimensionamento de vigas de concreto armado ao esforço cortante.**
447 **Disciplina 1309 – Estruturas de Concreto II**. Bauru/SP, Departamento Engenharia Civil,
448 Faculdade de Engenharia - Universidade Estadual Paulista - UNESP, mar/2006, 55p. Disponível
449 em: <www.feb.unesp.br/bastos>. Acesso em: Outubro de 2017

450 BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2013. 98 f. **Estruturas de**
451 **Concreto I, Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade**
452 **Estadual Paulista – UNESP**, Campus de Bauru, 2013.

453 CARVALHO, Roberto Chust; Figueiredo Filho, Jasson Rodrigues. **Cálculo e Detalhamento de**
454 **Estruturas de Concreto Armado**. 6ª reimpressão. Ed. UFSCar, 2013.

455 CARVALHO, Roberto Chust; PINHEIRO, Libânio Miranda. **Cálculo e detalhamento de**
456 **estruturas usuais de concreto armado: Volume 2**. 4a. Edição São Paulo: Editora Pini Ltda, 2011.

457 KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios**
458 **com o uso de sistemas computacionais**. São Paulo: PINI, 2007.

459 MARTHA, Luiz Fernando; **Método dos elementos finitos: modelos de elementos finitos para**
460 **análise estrutural**. Rio de Janeiro: PUC-Rio. 1994. 52 p.

461 TQS INFORMÁTICA. **Sistema CAD/TQS – Manual do Usuário**. São Paulo, 2017.

462 MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. CYPECAD – **Manual do Usuário**. São Paulo, 2016.

463 ALTOQI INFORMÁTICA. AltoQi Eberick – **Manual do Usuário**. Florianópolis, Santa Catarina,
464 2000.

465 PINHEIRO, L.M.; BARALDI, L.T.; POREM, M.E. **Concreto Armado: Ábacos para flexão**
466 **oblíqua**. São Carlos, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São
467 Carlos – USP, 1994.

468 VERGUTZ, Juliano André; CUSTÓDIO, Ricardo. **Análise comparativa de resultados obtidos em**
469 **softwares de dimensionamento de estruturas em concreto**. Universidade Federal do Paraná.
470 Curitiba, 2010. Disponível em:<dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/31/Tfc_2010_juliano_ricardo.pdf>
471 Acesso em: Fevereiro de 2017

472 FREITAS, Antônio H. C.; SANTOS, Diogo M.; MORAES, Guilherme H. S. CURY, Igor S.
473 **Cálculos estruturais em concreto armado: Comparativo entre o cálculo manual e com auxílio**
474 **de software**. Revista Pensar Engenharia, v.2, n.2, Jul/2014. Disponível em: <[revistapensar.com.](http://revistapensar.com.br/engenharia/artigo/no=a141.pdf)
475 [br/engenharia/artigo/no=a141.pdf](http://revistapensar.com.br/engenharia/artigo/no=a141.pdf)>. Acesso em: Fevereiro de 2017

476