

**MAYARA APARECIDA DA CUNHA MARIANO**

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE EBERICK EM  
UM PROJETO RESIDENCIAL POPULAR**

**MAYARA APARECIDA DA CUNHA MARIANO**

**APLICAÇÃO E ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE EBERICK EM  
UM PROJETO RESIDENCIAL POPULAR**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva

M333a Mariano, Mayara Aparecida da Cunha  
Aplicação e análise da utilização do software Eberick em um projeto residencial popular. / Mayara Aparecida da Cunha Mariano – Guaratinguetá : [s.n], 2014.  
80 f. : il.  
Bibliografia : f. 57-60  
Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.  
Orientador: Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva  
1. Teoria das estruturas 2. colunas 3. Vigas 4. Lajes I. Título

CDU 624.04

**MAYARA APARECIDA DA CUNHA MARIANO**

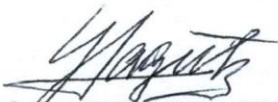
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA DA SILVA  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. ENOS ARNEIRO NOGUEIRA DA SILVA  
Orientador/UNESP-FEG

  
Prof. Dr. YZUMI TAGUTI  
UNESP-FEG

  
Prof. ALUIZIO DE FRANÇA PEREIRA NETO  
UNESP-FEG

**Fevereiro de 2015**

## **DADOS CURRICULARES**

**Mayara Aparecida da Cunha Mariano**

**NASCIMENTO** 21.03.1989 – SÃO PAULO / SP

**FILIAÇÃO** Nivaldo Gomes Mariano  
Margarida Maria da Cunha

**2004/2006** Curso Técnico em Eletroeletrônica no Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Guaratinguetá.

**2009/2014** Curso de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Guaratinguetá.

À minha mãe Margarida, que foi grande incentivadora para que eu fizesse o curso e lutasse por meus objetivos.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus, que está sempre presente na minha vida me dando força, saúde, e está sempre cuidando de mim, da minha família e dos meus amigos.

À minha amada, *Margarida*, que esteve sempre ao meu lado incentivando os meus estudos, se dedicando da melhor forma possível e me apoiando incondicionalmente.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva* que jamais deixou de me incentivar. Sem a sua orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Ao meu *Luciano*, obrigada por todos os conselhos e incentivos; e à *Maria Helena* obrigada por todo o apoio dado.

Aos meus amigos de curso *Larissa, Denise, Cláudio* e *Vinícius* o que fizeram as aulas, as noites de estudos e o intercâmbio mais divertidos; e à *Camila*, que após o retorno do intercâmbio, se tornou uma grande amiga.

À *Ana Beatriz* e sua família, em especial, que sempre me acolheu com alegria em sua casa durante os meus cinco anos em Guaratinguetá,

E por fim, ao engenheiro *Mario Roberto Natharangeli* pelas dúvidas tiradas, muito obrigada.

“Live each season as it passes, breathe the air, drink the drink, taste the fruit and resign yourself to the influences of each.”

Henry David Thoreau

MARIANO, M. A. C. **Aplicação e análise da utilização do software Eberick em um projeto residencial popular**. 2015. 80 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

## **RESUMO**

Devido aos grandes avanços tecnológicos no setor da engenharia civil e à grande competitividade no mercado atual, cada vez mais aumenta a procura de programas computacionais para a elaboração de projetos estruturais de concreto armado de forma rápida e eficiente. Este trabalho apresenta um estudo baseado em um programa computacional de cálculo estrutural, o Eberick, e este software foi aplicado a uma residência popular. Ao realizar o cálculo estrutural manualmente, é possível comparar e analisar os critérios que o Eberick utiliza para o dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais (pilares, vigas e lajes). Ao entender o funcionamento do software, o profissional o utilizará com segurança e de maneira criteriosa, explorando todos os recursos e vantagens que o programa proporciona.

**PALAVRAS CHAVES:** Eberick. Software. Cálculo estrutural. Pilar. Viga. Laje.

MARIANO, M. A. C. **Use and analysis of Eberick software in a low cost residence project.** 2015. 80 f. Graduat Work (Graduate in Civil Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

### **ABSTRACT**

Due to new technologies in civil engineering and the competition of the market, the demand for computer programs for the elaboration of structural projects of reinforced concrete is raising in a quick and efficient manner. This paper presents a study based on Eberick, a structural calculation software, and this software was applied to a low cost residence project. By performing structural calculation manually, it is possible to compare and analyze the criteria that Eberick uses for the design and detailing of structural elements like columns, beams and slabs. As the software functionality becomes clear, the engineer will use it careful and safely, exploring all of its resources and advantages.

**KEYWORDS:** Eberick. Software. Structural Calculation. Column. Beam. Slab.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação geométrica dos elementos estruturais. ....	19
Figura 2 – Características dos carregamentos nas placas e nas chapas. ....	20
Figura 3 – Características dos carregamentos nas placas e nas chapas. ....	21
Figura 4 – Módulos do Eberick V9. ....	25
Figura 5 – Configuração das características dos materiais para cada elemento. ....	26
Figura 6 – Personalização do sistema de unidade de medidas. ....	26
Figura 7 – Criação de trechos rígidos na ligação dos pilares com vigas. ....	27
Figura 8 – Pórtico espacial para visualização dos esforços da estrutura. ....	27
Figura 9 – Modelo de grelha 3D para cálculo das lajes. ....	28
Figura 10 – Solver para maior velocidade de processamento. ....	28
Figura 11 – CAD próprio. ....	31
Figura 12 – Vazio na laje. ....	32
Figura 13 – Vaga de garagem. ....	32
Figura 14 – Liberdade na definição dos apoios da escada. ....	33
Figura 15 – Tabelas para complementar a planta de formas. ....	33
Figura 16 – Otimização da sobreposição de textos na planta de forma. ....	34
Figura 17 – Corte esquemático. ....	35
Figura 18 – Visualização da estrutura em 3D. ....	35
Figura 19 – Comando para otimização das prumadas dos pilares. ....	36
Figura 20 – Detalhamento da viga. ....	36
Figura 21 – Detalhamento dos pilares. ....	37
Figura 22 – Detalhamento da laje. ....	37
Figura 23 – Diversas opções de apresentação das pranchas do projeto. ....	38
Figura 24 – Resumo de materiais de todo o projeto. ....	38
Figura 25 – Crescimento da AltoQi. ....	39
Figura 26 – Interface do AutoCAD 2010 na versão clássica. ....	40
Figura 27 – Interface do QiCAD Viewer V4. ....	41
Figura 28 – Planta baixa. ....	43
Figura 29 – Locação dos pilares, vigas e lajes. ....	47
Figura 30 – Criação dos pavimentos. ....	48
Figura 31 – Janelas do processamento da estrutura. ....	49
Figura 32 – Carga distribuída e gráfico da cortante na viga V1. ....	66

Figura 33 – Carga distribuída e gráfico da cortante na viga V9.....	66
Figura 34 – Vão efetivo da viga. ....	67
Figura 35 – Esquema estático para o pilar.....	68
Figura 36 – Vão efetivo. ....	72
Figura 37 – Momentos fletores nas lajes L1 e L2. ....	77
Figura 38 – Momentos fletores corrigidos na laje L1. ....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dimensionamento da armadura longitudinal e transversal do pilar P2. ....	51
Tabela 2 – Dimensionamento da armadura longitudinal da viga V1. ....	52
Tabela 3 – Dimensionamento da armadura transversal da viga V1. ....	52
Tabela 4 – Dimensionamento da armadura positiva na laje L1. ....	53
Tabela 5 – Dimensionamento da armadura negativa na laje L1. ....	53
Tabela 6 – Valores do coeficiente adicional $\gamma_n$ para pilares e pilares-parede. ....	62
Tabela 7 – Valores do coeficiente adicional $\gamma_n$ para para lajes em balanço ....	63
Tabela 8 – Pré-dimensionamento dos pilares ....	64
Tabela 9 – Pré-dimensionamento das vigas do pavimento baldrame. ....	64
Tabela 10 – Pré-dimensionamento das vigas do pavimento térreo (cobertura) ....	65
Tabela 11 – Pré-dimensionamento das lajes. ....	65

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	17
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	18
<b>4</b>	<b>ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO</b> .....	19
4.1	PILARES .....	20
4.2	VIGAS .....	20
4.3	LAJES.....	21
<b>5</b>	<b>A INFORMÁTICA NO BRASIL</b> .....	23
5.1	SOFTWARE.....	24
<b>6.</b>	<b>O EBERICK</b> .....	24
6.1	CONCEITOS BÁSICOS DO SOFTWARE.....	25
6.2	CRITÉRIOS DE CÁLCULOS DO EBERICK .....	29
<b>6.2.1</b>	<b>Quanto aos pilares</b> .....	30
<b>6.2.2</b>	<b>Quanto as vigas</b> .....	30
<b>6.2.3</b>	<b>Quanto as lajes</b> .....	30
6.3	RECURSOS.....	31
6.4	VANTAGENS PARA O PROFISSIONAL DA ÁREA .....	36
6.5	CUSTO DO SOFTWARE E EXPANSÃO DO MERCADO .....	39
6.6	SOFTWARES AUXILIARES.....	40
<b>6.6.1</b>	<b>O AutoCAD</b> .....	40
<b>6.6.2</b>	<b>QiCAD Viewer</b> .....	41
<b>7</b>	<b>ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA POPULAR NA CIDADE DE LORENA</b> ..	42
7.1	DESCRIÇÃO DO PROJETO .....	42
7.2	METODOLOGIA DO PROCESSO DOS CÁLCULOS.....	44
<b>7.2.1</b>	<b>Pré-dimensionamento dos pilares</b> .....	44
<b>7.2.2</b>	<b>Pré-dimensionamento das vigas</b> .....	45
<b>7.2.3</b>	<b>Pré-dimensionamento das lajes</b> .....	46
7.3	LANÇAMENTO DA ESTRUTURA NO SOFTWARE EBERICK.....	48
7.4	CÁLCULO MANUAL DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS .....	49
<b>8</b>	<b>COMPARAÇÃO DO CÁLCULO ESTRUTURAL ATRAVÉS DO MÉTODO MANUAL E ATRAVÉS DO SISTEMA COMPUTACIONAL – DADOS OBTIDOS</b> ...	50
8.1	QUANTO AO PILAR P2 .....	51

8.2	QUANTO A VIGA V1.....	52
8.3	QUANTO A LAJE L1.....	53
8.5	O TEMPO DE EXECUÇÃO DO MÉTODO MANUAL E DO SISTEMA COMPUTACIONAL.....	54
<b>9</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>55</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>61</b>
	<b>ANEXO A.....</b>	<b>62</b>
	<b>ANEXO B.....</b>	<b>64</b>
	<b>ANEXO C.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da informática até os dias atuais, passamos por uma grande evolução tecnológica: o acesso à internet, a comunicação através de e-mails, a produção de processadores cada vez mais velozes e o desenvolvimento de sistemas computacionais cada vez mais robustos.

Essa evolução tecnológica atingiu vários setores da Engenharia Civil melhorando o seu desempenho com a inserção de novos métodos de cálculo estrutural, o desenvolvimento de novos materiais, o desenvolvimento de programas – softwares de uso comum e específico para o cálculo estrutural, gerenciamento e gestão de obras, instalação hidráulica e elétrica, entre outros.

Atualmente, todas as etapas presentes no projeto de um edifício, desde o lançamento dos dados, passando pela análise estrutural, dimensionamento e detalhamento dos elementos, até a impressão de desenhos, de alguma forma, são influenciadas pela rapidez e precisão que a informática proporciona. Um edifício inteiro é processado em minutos e todos os seus dados armazenados em um pequeno “pen-drive” (KIMURA, 2007, p. 24).

Vale lembrar que a informática veio para auxiliar o engenheiro, tornando mais práticas as atividades desenvolvidas no dia a dia, e jamais irá substituí-lo.

Após a descoberta do concreto armado o cálculo estrutural era realizado manualmente e também se recorria à régua de cálculo e posteriormente a calculadora. Calculava-se um grupo de elementos estruturais semelhantes (pilares, vigas e lajes), sendo que às vezes era necessário calcular apenas um elemento estrutural, ou seja, apenas um pilar, ou uma viga, com dimensões específicas.

No Brasil dois acontecimentos históricos provocaram e incentivaram a expansão da utilização do concreto armado nas obras de engenharia. Eles são o desenvolvimento das cidades, que se deu por volta da década de 1950 com o crescimento do êxodo rural e a procura por construções em concreto armado de edifícios de vários andares.

A partir de 1960 e 1970 surgem os primeiros softwares para auxiliar os engenheiros nos cálculos estruturais, e estes programas, com o passar dos anos, vem sofrendo constantes modernizações e inovações, e alterando significativamente a relação custo-benefício e tempo de execução dos cálculos estruturais, facilitado e interferido na produtividade dos métodos de cálculos estruturais e assegurando maior precisão.

Segundo KIMURA (2007) os softwares destinados à elaboração de projetos estruturais podem ser classificados como: de análise, de desenho, de dimensionamento e sistema integrado. O primeiro, de análise, é responsável pelo cálculo de esforços e deslocamentos de

uma determinada estrutura; ele não executa o dimensionamento das armaduras e também não gera as plantas finais. O segundo, de desenho, serve para gerar desenhos genéricos. São os softwares do tipo CAD e não são utilizados exclusivamente na engenharia civil. O terceiro, de dimensionamento, além de dimensionar um elemento (pilar, viga ou laje) de forma isolada, é ideal para fazer rápidas verificações destes elementos estruturais. O quarto, de sistema integrado, é o software mais utilizado para projetar edifícios de concreto, pois abrange todas as etapas do projeto desde o cálculo estrutural, do dimensionamento e detalhamento das armaduras, até a impressão dos desenhos finais.

Neste trabalho serão utilizados os softwares Eberick, AutoCAD e QiCAD Viewer. O Eberick é um software para projeto estrutural em concreto armado moldado in-loco e concreto pré-moldado, desenvolvido pela AltoQi, uma empresa de tecnologia aplicada a engenharia que atua no Brasil há mais de 25 anos e está presente no dia-a-dia de mais de 35 mil profissionais e deve ser utilizado com outros softwares em conjunto. Ele suporta arquivos no formato DWG/DXF que são gerados pelo AutoCAD e o QiCAD Viewer faz a importação e exportação dos arquivos. Faz o lançamento completo de uma estrutura (pilares, vigas, lajes), tomando como referência a própria arquitetura considerando pavimento por pavimento. Após a finalização do lançamento de dados estruturais, analisa-se os resultados obtidos no processamento, o dimensionamento dos elementos estruturais e a confecção das plantas finais de detalhamento.

A utilização de um programa de computador em situações reais de projeto de estruturas exige responsabilidade e experiência por parte do engenheiro. Devendo ser manuseado somente por profissionais qualificados, utilizando-o apenas como uma ferramenta de auxílio ao projeto e não como uma “solução fechada”<sup>1</sup>.

Este trabalho está dividido em 10 capítulos, incluindo os objetivos, a justificativa e a metodologia.

A partir do capítulo 4, inicia-se a revisão bibliográfica, o qual se remete a definição dos elementos estruturais e sua classificação, nele também é feita uma breve explicação dos elementos estruturais os quais são comuns nas construções: os pilares, as vigas e as lajes.

O capítulo 5 trata da informática no Brasil e explica o que é um software.

O software Eberick é estudado no capítulo 6, onde são descritas as características do programa, alguns conceitos básicos, critérios de cálculos, recursos e suas vantagens.

---

<sup>1</sup> Refere-se a solução que o software dá ao usuário, sem analisar se está correta ou errada.

No capítulo 7 é feito o “estudo de caso” de uma residência popular na cidade de Lorena. A aplicação do estudo de caso foi feita no capítulo 8, e foram comparados os resultados do cálculo estrutural através do método manual e do sistema computacional. Por fim, no capítulo 9 estão explicitadas as conclusões.

## **2 OBJETIVO**

Tem-se como objetivo principal realizar o cálculo estrutural através do software Eberick e por cálculos manuais para uma residência popular de 6 cômodos, com dois dormitórios, um banheiro completo, uma área de serviço e uma cozinha integrada com a sala.

Verificar o tempo de execução de cálculos estruturais através do método manual e através do sistema computacional, bem como constatar eventuais discrepâncias entre os resultados dos dois métodos citados acima.

Analisar a utilização do software Eberick, de forma a conhecer os benefícios de suas ferramentas para o profissional da área.

O estudo de caso foi feito em cima do software AltoQi Eberick, com o intuito de explorar e aprimorar ferramentas que facilite e agilize o cálculo estrutural.

### **3 METODOLOGIA**

Realizou-se um levantamento bibliográfico a fim de obter informações teóricas. Consultou-se também artigos acadêmicos, artigos de revistas técnicas, livros que tratavam do tema “softwares na engenharia civil”, livros e normas técnicas relativas ao dimensionamento de estruturas de concreto armado. Pesquisou-se em manuais e sites do fabricante dos programas citados. Por fim, a autora conversou com diversos profissionais que trabalham com cálculos estruturais.

Selecionou um projeto de uma casa popular para realizar o estudo de caso.

#### 4 ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO ARMADO

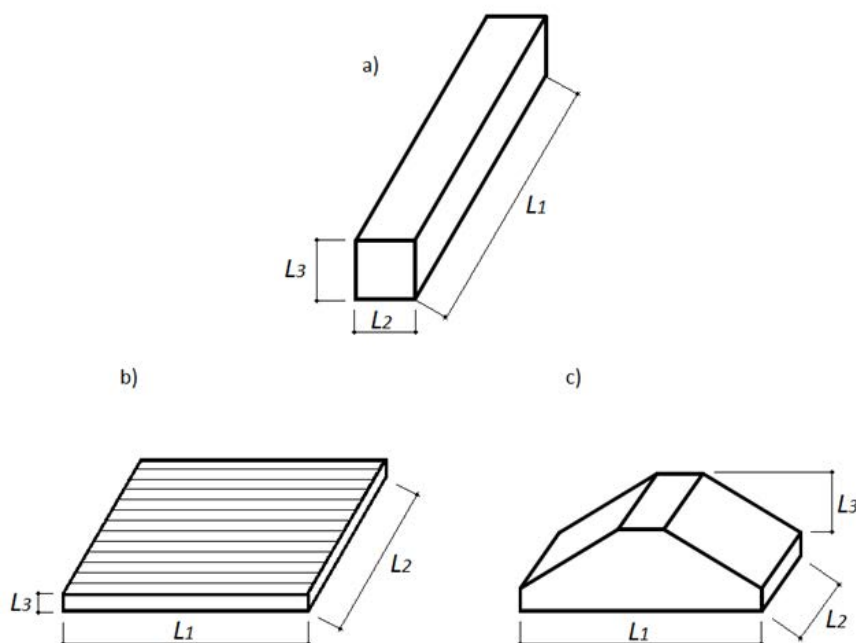
A maioria das construções de concreto armado são compostas pelo conjunto dos elementos estruturais, e estes, podem ser classificados e definidos de acordo com a sua geometria, dimensões e função estrutural.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, item 14.4.1, p.83 os elementos lineares (Figura 1a) “são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras”. São as vigas, pilares, tirantes e arcos.

Os elementos bidimensionais também chamados de elementos de superfície (Figura 1b) são aqueles “em que uma dimensão, usualmente chamada de espessura, é relativamente pequena em face as demais” (ANBT NBR 6118:2014, item 14.4.2, p.84) podendo ser placas (ou lajes), chapas, cascas e pilares-parede. As cascas possuem superfícies curvas e as placas ou chapas possuem superfícies planas (Figura 2), sendo que o que os diferenciam são as direções dos carregamentos. Nas placas o carregamento está perpendicular ao seu plano (Figura 2a) e nas chapas o carregamento está contido no plano de superfície (Figura 2b).

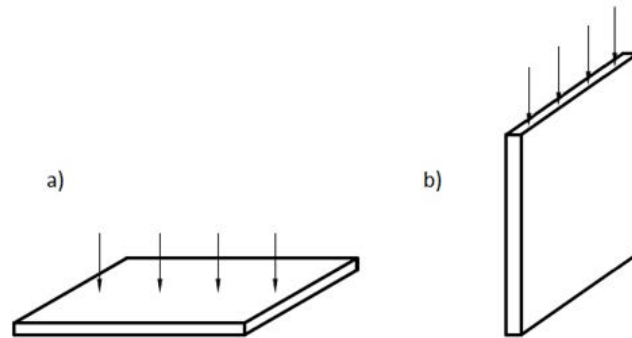
Os elementos tridimensionais também chamados de elementos de volume (Figura 1c) são aqueles onde as três dimensões têm a mesma ordem de grandeza. São os blocos, sapatas de fundação, etc.

Figura 1 – Classificação geométrica dos elementos estruturais.



Fonte: FUSCO (1976 apud BASTOS, 2006) Adaptado.

Figura 2 – Características dos carregamentos nas placas e nas chapas.



Fonte: BASTOS (2006).

A seguir serão descritos de forma resumida os três elementos estruturais que são bastante comuns nas construções: os pilares, as vigas e as lajes, elementos estes, que juntos compõem o sistema de contraventamento responsável pela estabilidade global dos edifícios às ações horizontais e verticais.

#### 4.1 PILARES

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 (item 14.4.1.2, p.84), pilares são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderadas”.

Os pilares geralmente recebem as ações das vigas e lajes e as transmitem às fundações e aos outros elementos de apoio. Eles são os elementos estruturais de fundamental importância na construção civil, servindo de apoio as vigas e as lajes.

A seção transversal dos pilares deve respeitar as dimensões mínimas definidas pela NBR 6118:2014, não podendo apresentar dimensão menor que 19 cm. As exceções podem ser feitas de acordo com a norma, referenciada no anexo A.1.

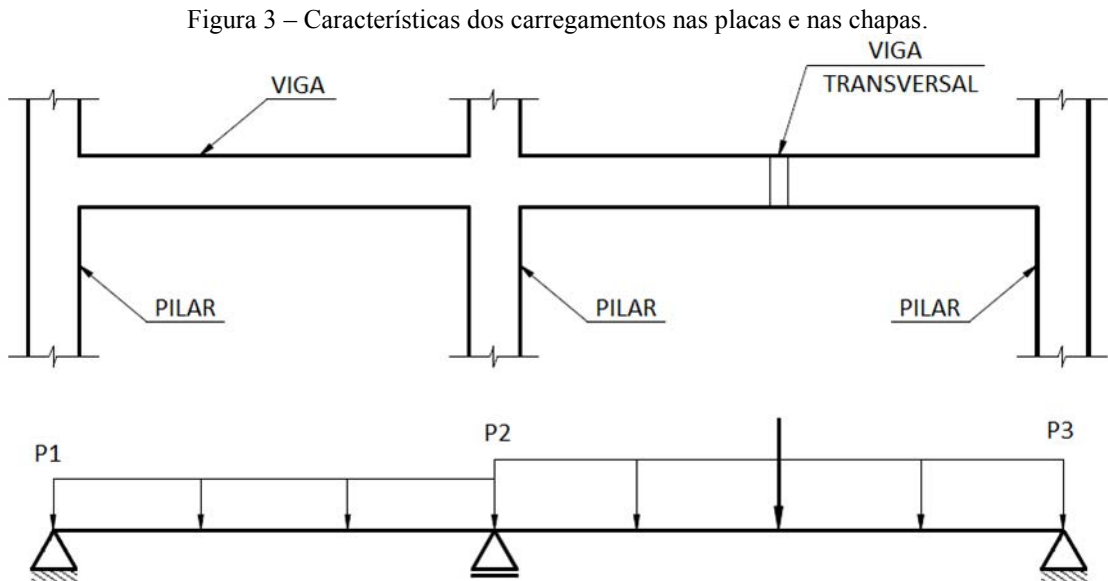
#### 4.2 VIGAS

Vigas são “elementos lineares em que a flexão é preponderante” (ANBT NBR 6118:2014, item 14.4.1.1, p.83).

Elas estão submetidas a diversos esforços como de compressão, tração, flexão, torção e cisalhamento. Estes esforços devem ser levados em consideração para o dimensionamento das armaduras de acordo com a norma. Na maioria dos casos elas possuem dois tipos de

armaduras, a longitudinal (barras longitudinais) e a transversal (estribos) distribuídas ao longo das vigas.

Os carregamentos nelas existentes são oriundos das lajes, de outras vigas, de pilares, etc., como mostrado na Figura 3 e sua principal função é vencer os vãos e transmitir aos pilares as cargas recebidas.



Fonte: BASTOS (2006). Adaptado.

A largura da seção transversal das vigas não pode ter dimensão menor que 12 cm, mas este limite pode ser diminuído respeitando as condições descritas na NBR 6118:2014 (ver anexo A.2).

#### 4.3 LAJES

Lajes ou placas de concreto são “elementos de superfície plana, sujeitos principalmente a ações normais a seu plano” (ANBT NBR 6118:2014, item 14.4.2.1, p.84).

Sua principal função é servir de piso ou cobertura nas construções civis e receber as ações perpendiculares aplicadas ao plano da laje que são transmitidas para as vigas apoiadas nas bordas da laje ou diretamente para os pilares.

Segundo BASTOS (2004) as ações podem ser distribuídas e concentradas. As ações distribuídas se subdividem em distribuídas na área que são o peso próprio, o contrapiso, o revestimento na borda inferior, etc. e distribuídas linearmente que são as cargas de parede

apoiada na laje, etc. As ações concentradas, por exemplo, são as cargas do pilar apoiado na laje.

As lajes de concreto armado podem ser construídas de diferentes formas, podendo ser maciças, nervuradas, pré-moldadas, treliçada, lisa e cogumelo.

Lajes maciças são totalmente preenchidas por concreto e as armaduras são embutidas nela e apoiadas em uma parte ou ao longo de seu perímetro. É comum utilizá-las em construções de grande porte como edifícios, escolas, hospitais, etc. não sendo aplicadas em pequenas construções devido ao seu alto custo e possuir uma montagem mais complexa em comparação a laje nervurada, que são “lajes moldadas no local ou com nervura pré-moldadas, cuja zona de tração para momentos positivos esteja localizada nas nervuras entre as quais pode ser colocado material inerte” (ABNT NBR 6118:2014, item 14.7.7. p.97).

A espessura das lajes maciças não deve ser inferior a 7 cm para laje de cobertura e 8 cm para laje de piso. Lajes em balanço, lisas ou que suportem um peso específico, possuem outras dimensões mínimas, podem ser encontradas na NBR 6118:2014, referenciada no anexo A.3.

Para efeitos de cálculos, na residência popular do município de Lorena, foi utilizado a laje maciça mesmo não sendo o tipo de laje indicado para essa situação.

## 5 A INFORMÁTICA NO BRASIL

No Brasil em meados da década de 1950 surge a informática como forma de investimento do então presidente, Juscelino Kubitschek, que tinha como finalidade desenvolver o Brasil em todas as esferas tecnológicas.

Um grande parceiro do Brasil foi os Estados Unidos da América que forneceu os primeiros computadores os quais eram muitos simples, capazes apenas de fazer pequenos cálculos como subtração, soma, divisão e multiplicação. Alguns anos depois, eles foram sofrendo uma evolução sendo usado para o uso militar, em centros de pesquisas e nas universidades.

Com a chegada do computador IBM 1620 à São Paulo em meados de 1962, o engenheiro civil Victor de Souza Lima, formado pela Escola Politécnica da USP, acompanhou este processo, e logo se inscreveu num curso de programação na empresa IBM – International Business Machines.

Em 1964, apresentou a tese de livre-docência, utilizando pela primeira vez no Brasil o computador para a solução de problemas relacionados à análise estrutural. [...] Também realizou inovações, ao levar esse conhecimento para solucionar problemas enfrentados pelas grandes empresas de consultoria de engenharia. (MOTOYAMA, 2006, p. 407).

Havia outros engenheiros automatizando os cálculos estruturais através do computador, como o Prof. Waldyr Muniz Oliva e o Prof. Valdemar Setzer, da computação, criaram em 1965/67 o primeiro programa de cálculo de edifício para computador, um programa que obtinha as cargas nos pilares e as reações das vigas e lajes.

Nos anos de 1967/68 no Instituto Tecnológico Aeronáutico, ITA, o grupo do Prof. Fernando Venâncio Filho criou o primeiro programa de elementos finitos feito no Brasil, e em 1968, o Prof. Victor de Souza Lima junto ao engenheiro Francisco Brasiliense Fusco desenvolveram um programa de elementos finitos que era restrito à empresa Hidroservice.

A partir de então, a utilização do computador para solução de problemas estruturais disparou.

Até a década de 70 os computadores utilizados no Brasil eram importados dos EUA, e apenas em 1972, foi produzido pela USP – Universidade de São Paulo – e PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – o primeiro computador nacional. Em 1979, criou-se a Secretaria Especial de Informática (SEI) com a finalidade de gerenciar os assuntos pertinentes a informática e disseminar a informática no Brasil.

Após a criação da SEI (1979) foi lançado o primeiro computador totalmente produzido no Brasil: o Cobra 530, pela empresa Computadores Brasileiros S.A., o qual foi largamente comercializado na década de 80 sendo possível comprá-los nas lojas de departamento.

Com o sucesso do Cobra 530, veio um importante passo da Política Federal com a criação da Política Nacional de Informática etapa importante para suprir a defasagem tecnológica brasileira. Esta ação por si só provocou um aumento de venda na área da informática em torno de 30% ao ano.

No governo do presidente Fernando Collor de Mello deu-se início as mudanças tecnológicas do setor com incentivos fiscais, no entanto, com um atraso enorme em relação aos países de capitalismo avançado como Japão e EUA tidos como inovadores de tecnologia e informação (meio técnico-científico-informacional).

## 5.1 SOFTWARE

De acordo com Pressman (2011, p. 32):

Software consiste em: (1) instruções (programas de computador) que, quando executadas, fornecem características, funções e desempenho desejados; (2) estruturas de dados que possibilitam aos programas manipular informações adequadamente; e (3) informação descritiva, tanto na forma impressa como na virtual, descrevendo a operação e o uso de programas.

Cabe ao programador desenvolver o software para determinada atividade, mas antes precisa-se realizar um estudo, onde será feito um acompanhamento sobre o processo da atividade a qual será informatizada e para tanto necessita-se coletar informações em campo.

O software passa por alterações durante a sua vida útil, podendo ocorrer erros que pode ser do próprio projeto ou de um processo que foi trazido em código de máquina executável, e não existem peças para a reposição de software. Através das atualizações pode-se corrigir estes erros.

Os softwares em sua maioria são adquiridos com suas funções pré-definidas.

## 6. O EBERICK

A AltoQi foi fundada em 1989 por profissionais formados na Universidade Estadual de Santa Catarina. Os Analistas de Sistema acompanharam o cálculo e detalhamento de vigas de um edifício de concreto armado, realizado por um Engenheiro Civil, e desenvolveram o primeiro software da AltoQi – o PROVIGA – desenvolvido para o sistema operacional MS-

DOS. Em seguida, outros softwares foram criados como o PROPILAR, PROLAJE e PROINFRA, também desenvolvidos para o sistema operacional MS-DOS. Somente em 1996 que foi desenvolvido um novo software para o sistema operacional Microsoft Windows – o Eberick – que integrava, em um único sistema, todos os softwares lançados anteriormente.

O Eberick [...] que engloba as etapas de lançamento, análise da estrutura, dimensionamento e o detalhamento final dos elementos. Possui um poderoso sistema gráfico de entrada de dados, associado à análise da estrutura em um modelo de pórtico espacial, e a diversos recursos de dimensionamento e detalhamento dos elementos, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, além de visualização tridimensional da estrutura modelada. (ALTOQI, 2014).

O Eberick atualmente está disponível na versão Eberick V9, atualizada recentemente em novembro de 2004, e foi desenvolvida para o sistema operacional Microsoft Windows 7 e 8 de 32 e 64 bits.

Com a finalidade de atender as necessidades de cada usuário, a AltoQi criou os módulos (Figura 4) adicionais que poderão ser escolhidos livremente para complementar os recursos do Eberick.

Figura 4 – Módulos do Eberick V9.

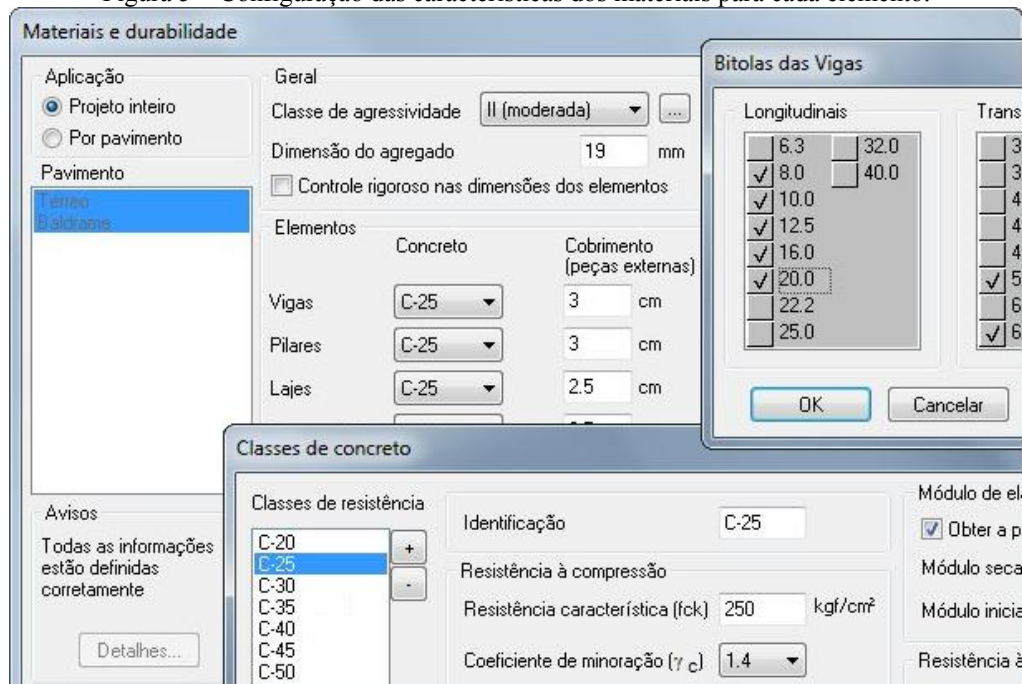


Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

## 6.1 CONCEITOS BÁSICOS DO SOFTWARE

Antes de iniciar o lançamento dos elementos, o Eberick permite a configuração das propriedades dos materiais de cada elemento e pavimento, a configuração de dimensionamento e detalhamento dos elementos e a personalização do sistema de unidade de medidas podem ser observados na Figura 5 e 6.

Figura 5 – Configuração das características dos materiais para cada elemento.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 6 – Personalização do sistema de unidade de medidas.



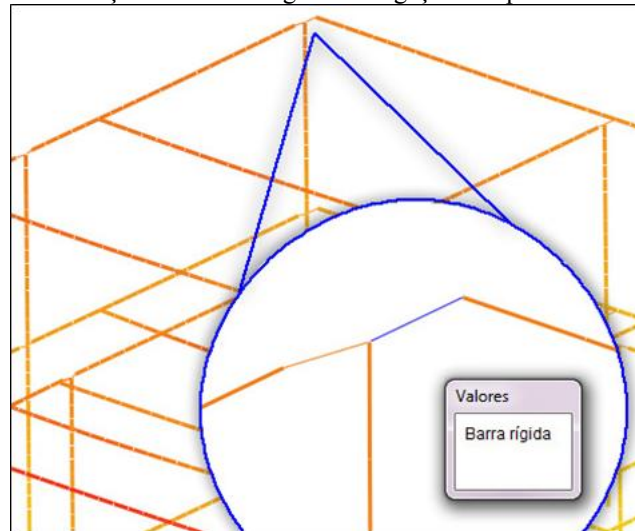
Fonte: Do próprio autor.

O lançamento de elementos como pilares, vigas e lajes é feita por pavimento, sendo possível importar os pilares e vigas ou só pilares para os outros pavimentos, evitando problemas de prumada na construção do pórtico.

“O Eberick utiliza o modelo de pórtico espacial e grelha 3D para análise dos esforços e deslocamentos utilizados no dimensionamento dos elementos estruturais” (ALTOQI, 2014).

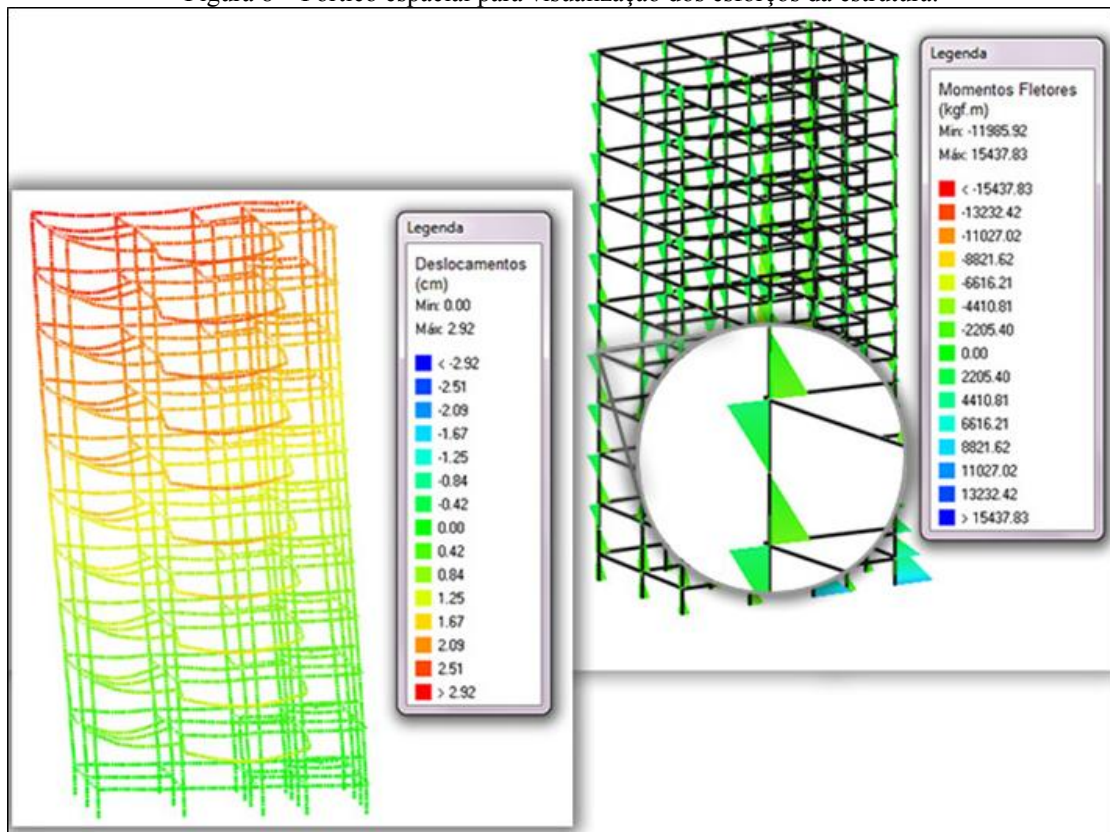
Os pilares e vigas são representados por barras, e nas ligações destes, são criados trechos rígidos formando o pórtico espacial como mostrado na Figura 7. Os esforços e deslocamentos são visualizados num pórtico tridimensional unifilar (Figura 8).

Figura 7 – Criação de trechos rígidos na ligação dos pilares com vigas.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

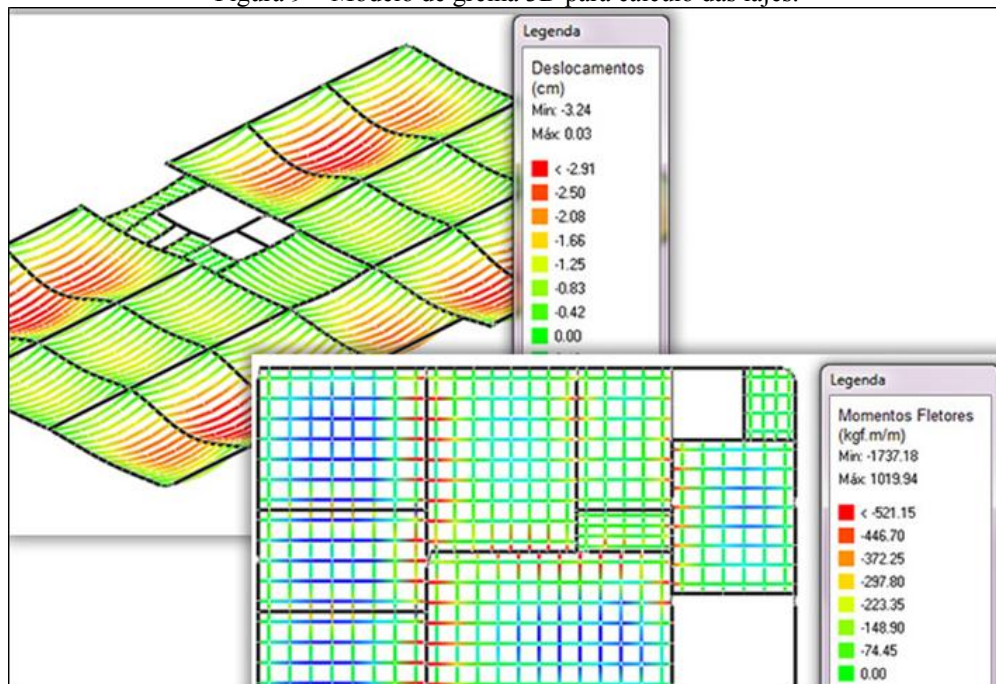
Figura 8 – Pórtico espacial para visualização dos esforços da estrutura.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

As lajes são analisadas através de grelhas (Figura 9) que são formadas pelo painel de vigas e lajes. Os esforços e deslocamentos são distribuídos através das deformações das lajes nas vigas, onde estas se apoiam.

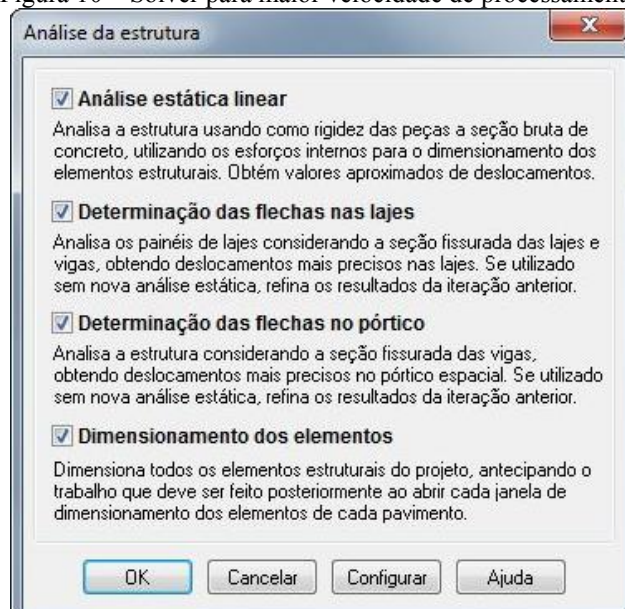
Figura 9 – Modelo de grelha 3D para cálculo das lajes.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

O Eberick possui um solver<sup>2</sup>, para maior velocidade de processamento (Figura 10), tornando rápido e automatizado o processo de cálculo dos esforços.

Figura 10 – Solver para maior velocidade de processamento.



Fonte: Do próprio autor.

Assim que todas as condições de equilíbrio são satisfeitas, inicia-se a análise da estrutura. Ela é “feita pelo método matricial da rigidez direta, cujo objetivo é determinar os

<sup>2</sup> Algoritmo, operação ou processo de cálculo, para a análise da estrutura.

efeitos das ações na estrutura para que possam ser feitas as verificações dos estados limites últimos e de utilização” (ALTOQI, 2008, p.19), determinando os deslocamentos nodais, os esforços internos e as reações nos apoios.

Caso necessário após o processamento da estrutura, todos os resultados deverão ser analisados e alterados. Para isso, o profissional deve ter conhecimento e experiência para explorar todas as ferramentas que o software proporciona, para que o projeto tenha a solução mais adequada.

## 6.2 CRITÉRIOS DE CÁLCULOS DO EBERICK

Segundo a documentação técnica do software Eberick, os processos de cálculo na qual se baseia é a de modelar a estrutura através de um pórtico espacial composto pelos pilares e vigas da edificação, onde estes elementos são representados por barras ligadas umas às outras por nós. Os pilares e as vigas são compostos por barras, onde são obtidos os esforços solicitantes para o dimensionamento; e as lajes são calculadas de forma independente.

O cálculo da estrutura é feito da seguinte forma:

Os painéis de lajes são montados e calculados, de acordo com o processo que estiver configurado e as reações das lajes são transmitidas às vigas onde estas se apoiam. É montado o pórtico espacial da estrutura, recebendo o carregamento calculado pelas lajes. O pórtico é processado e os esforços solicitantes são utilizados para o detalhamento dos elementos estruturais. (ALTOQI, 2008, p.19).

Além do pórtico espacial, no Eberick está disponível um outro modelo de cálculo, pavimentos isolados, onde cada pavimento pode ser calculado de forma independente. São mantidos os efeitos de grelha e as vinculações entre as vigas e pilares. As vantagens deste processo é a redução no tempo do processamento da estrutura. Mas como este modelo é simplificado em relação ao do pórtico espacial, apresenta desvantagens na limitação de sua formulação e pode resultar em erros relevantes nos resultados finais, em determinados tipos de obras. Segundo a documentação técnica, por ser um modelo de cálculo mais simples, pode ser utilizado pelos usuários antes de se adaptar ao pórtico espacial.

O dimensionamento dos elementos estruturais é feito pelo método dos estados limites últimos (ELU) de acordo com a NBR 6118 e suas hipóteses básicas são: “as seções permanecem planas após a deformação, os elementos são representados pelos seus eixos longitudinais, e o comprimento é calculado pelo centro dos apoios ou pelo cruzamento com o eixo de outro elemento” (ALTOQI, 2008, p.87)

### 6.2.1 Quanto aos pilares

Os pilares são dimensionados, conforme as normas vigentes, a esforços de flexo-compressão reta ou oblíqua, sem a consideração das cargas aplicadas ao longo da barra.

Ele também é dimensionado pelo *processo da linha neutra*, que se baseia na obtenção dos momentos resistentes e solicitantes de cálculo de uma seção transversal com base na armadura previamente dimensionada, garantindo a segurança do pilar.

### 6.2.2 Quanto as vigas

O cálculo das vigas é feito pelas combinações últimas e de utilização, dos quais são obtidos os dimensionamentos das armaduras de cisalhamento, torção e flexão simples. Através das combinações últimas dimensiona-se e verifica-se as tensões atuantes no estado limite último, e através das combinações de utilização determina-se as flechas e verifica-se o estado limite de fissuração excessiva.

De forma simplificada, de acordo com a documentação técnica, o dimensionamento das vigas é baseado entre cada vão e sobre os apoios, onde são tomados momentos fletores máximos. Assim é calculado a armadura necessária para resistir a estes momentos máximos.

### 6.2.3 Quanto as lajes

O dimensionamento das lajes é feito de acordo com as combinações últimas, e a partir destas, é possível determinar cada esforço máximo ao adotar o valor mais crítico dos momentos positivos e negativos, e os esforços cortantes máximos em cada laje. Através dos esforços, as armaduras nas lajes são calculadas a partir dos momentos positivos máximos nos vãos, e os momentos negativos máximos nos apoios.

O cálculo dos painéis de lajes é feito pelo processo de analogia de grelha, onde todo o conjunto é discretizado em um modelo de grelha plana, utilizando a rigidez real das vigas de apoio. É pressuposto que a laje é dividida em faixas, “cujas propriedades físicas e geométricas passam a ser representadas através de um reticulado de barras que compõem uma grelha” (ALTOQI, 2008, p.35).

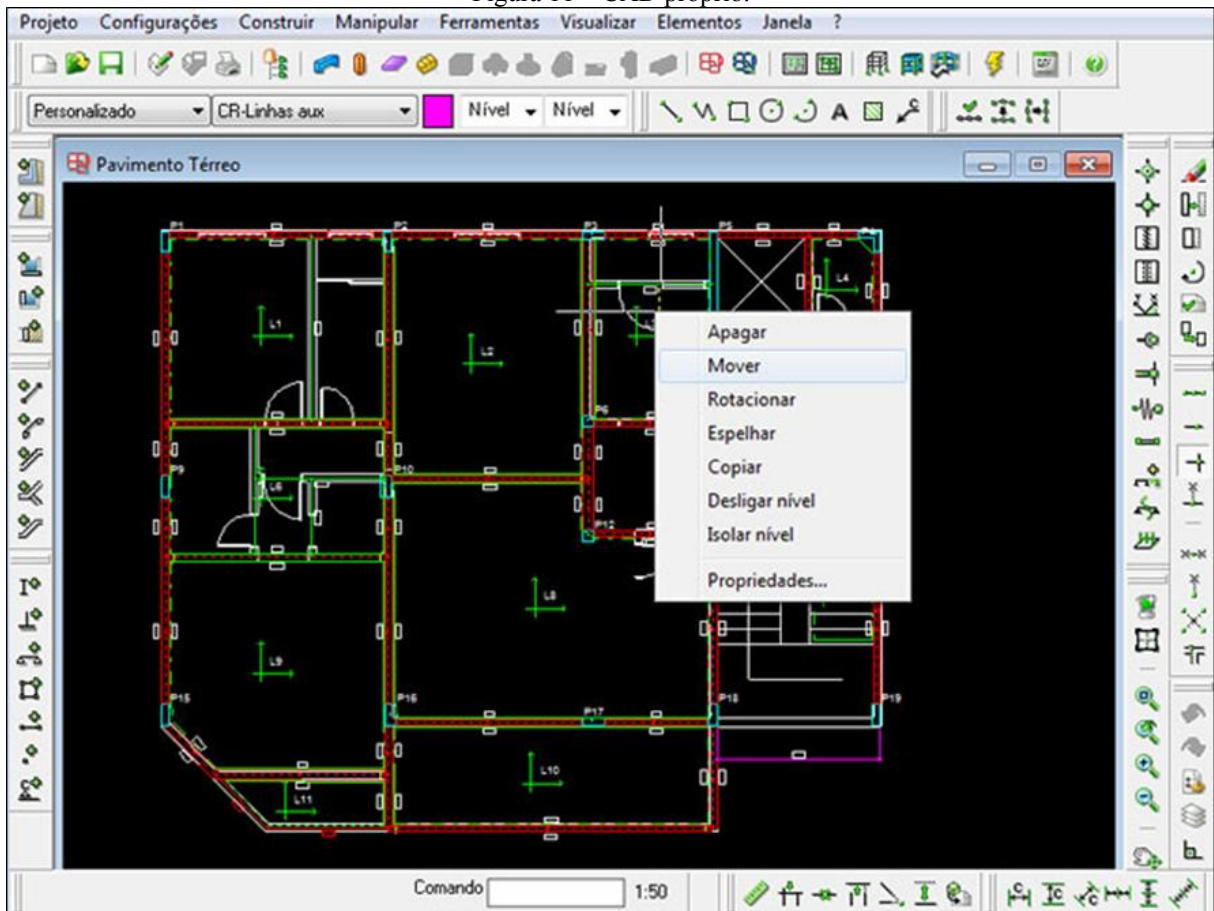
Também é possível dimensionar os painéis através do processo de *grelhas isoladas*, onde as lajes serão calculadas isoladamente e os apoios (as vigas) são tidos como indeformáveis. Este modelo é simplificado em relação ao processo por analogia de grelha.

### 6.3 RECURSOS

Os recursos criados para o Eberick V9 foram baseados na última atualização da NBR 6118, datada de 2014 e desenvolvidas de acordo com as necessidades do projeto. A seguir são listados alguns recursos disponíveis no software.

O Eberick possui um CAD próprio (Figura 11) que permite a utilização de algumas ferramentas básicas, necessárias para realização dos lançamentos dos elementos estruturais na planta de arquitetura importada do AutoCAD. Isso dispensa o usuário de marcar as posições dos elementos estruturais na arquitetura antes de importar o arquivo para o Eberick.

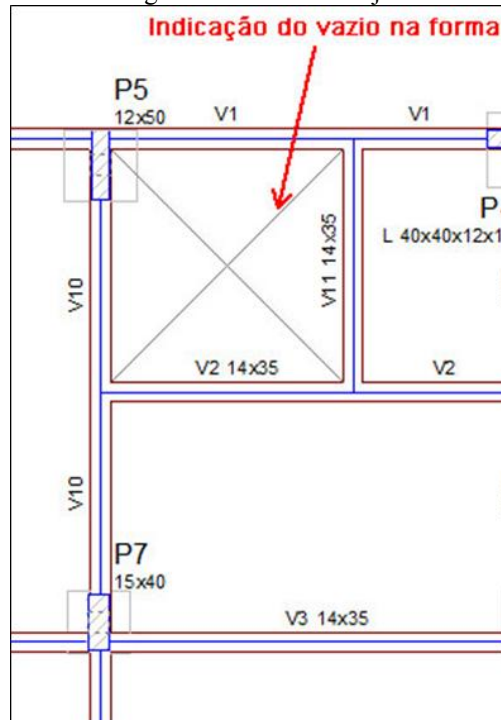
Figura 11 – CAD próprio.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

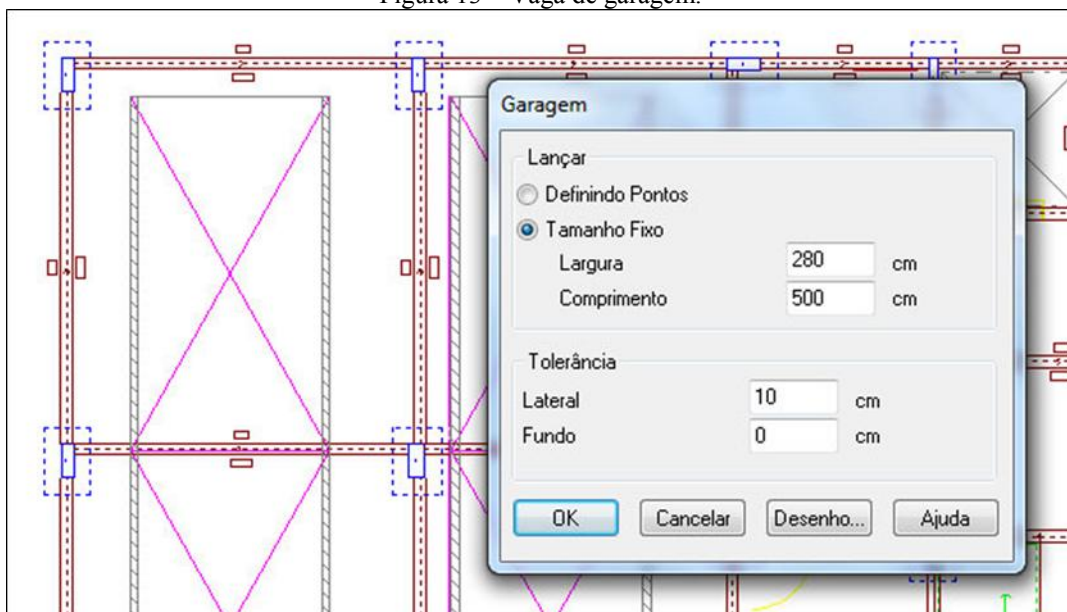
Após finalizado o lançamento dos elementos estruturais, é possível lançar cargas concentradas e lineares nos pilares, vigas e lajes, cargas distribuídas nas lajes, apoiar parcialmente o pilar em viga, engastar lajes em vigas ou em lajes, indicar vazios na forma (Figura 12) evitando o lançamento incorreto de lajes, definir a garagem para que os pilares não a ocupem como mostrado na Figura 13.

Figura 12 – Vazio na laje.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014. Adaptado.)

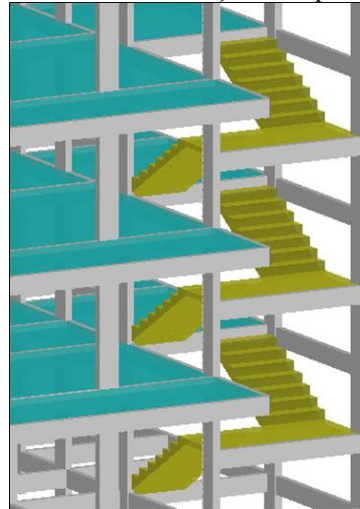
Figura 13 – Vaga de garagem.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

As escadas podem ser lançadas na estrutura em formato U ou L, com um único lance ou com vários patamares definidos em qualquer nível. Os lances de escadas são adicionados na estrutura de forma otimizada, através de pontos de referência como linhas da arquitetura, vigas ou barras já lançadas (Figura 14).

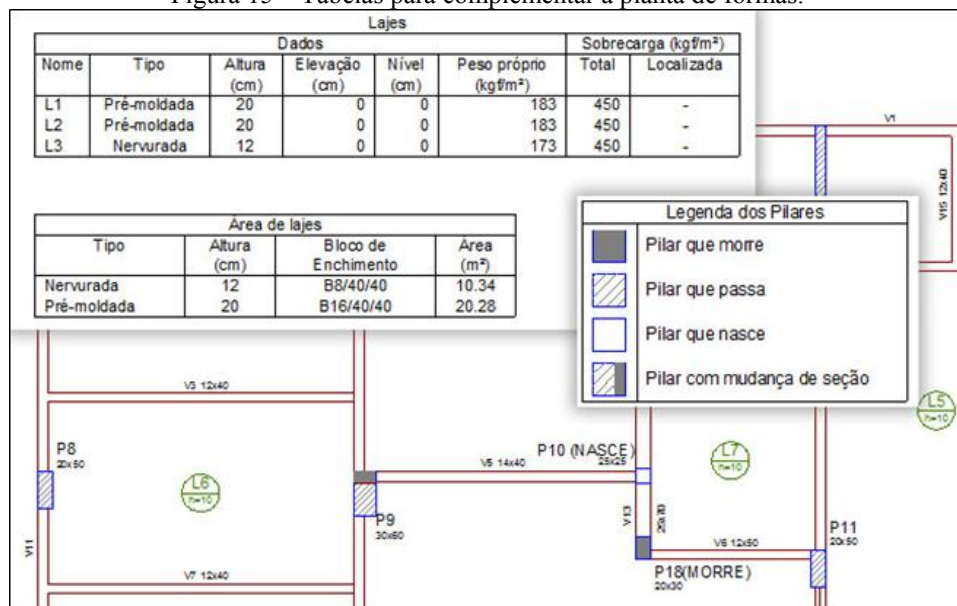
Figura 14 – Liberdade na definição dos apoios da escada.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014. Adaptado.)

Pode-se incluir diversas tabelas e informações automaticamente para complementar a planta de forma (Figura 15) com hachuras para mostrar o desnível das lajes e para indicar se o pilar nasce, morre, passa ou sofre mudança na seção; tabelas com dimensões e cargas na laje; desenhos das cargas, fundações e eixos de locação.

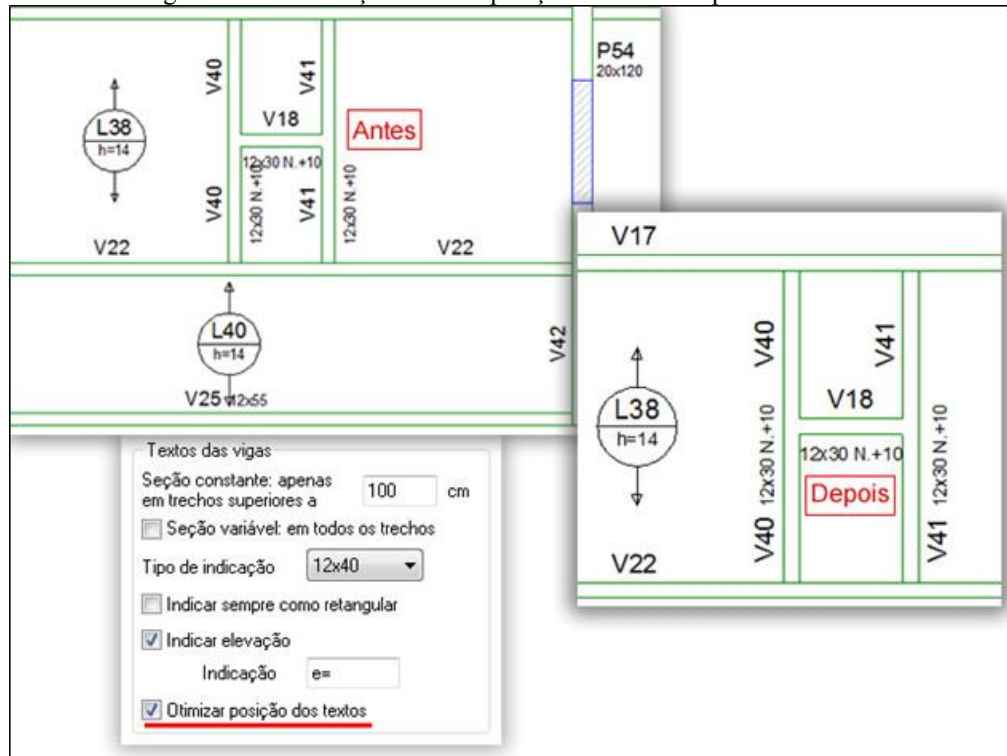
Figura 15 – Tabelas para complementar a planta de formas.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

Pode-se otimizar a sobreposição de textos (Figura 16), este recurso deixa os desenhos com grande qualidade de acabamento e resulta em significativa produtividade, uma vez que o usuário não terá que arrumar pequenos detalhes

Figura 16 – Otimização da sobreposição de textos na planta de forma.

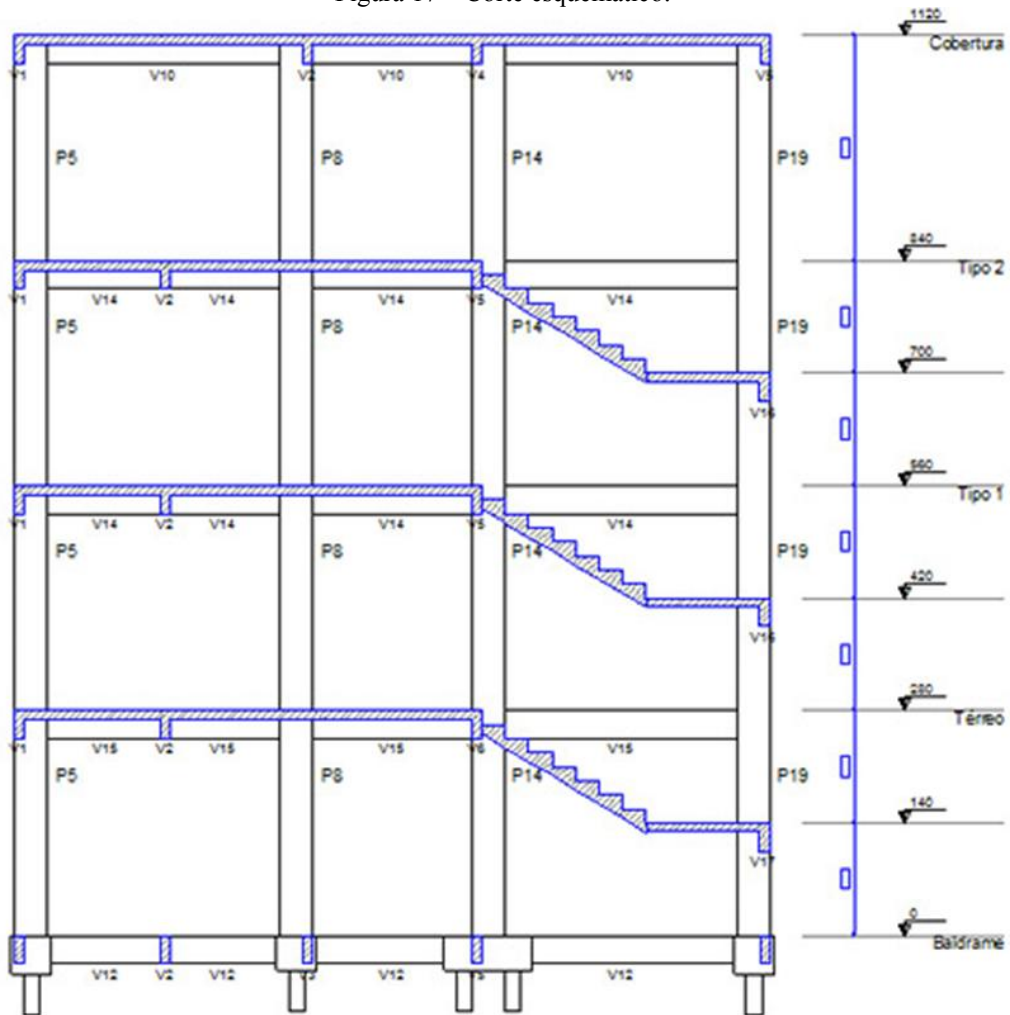


Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

Através da geração de cortes em qualquer direção e posição de acordo com a necessidade do projetista pode-se detalhar e mostrar situações específicas para a apresentação final do projeto (Figura 17).

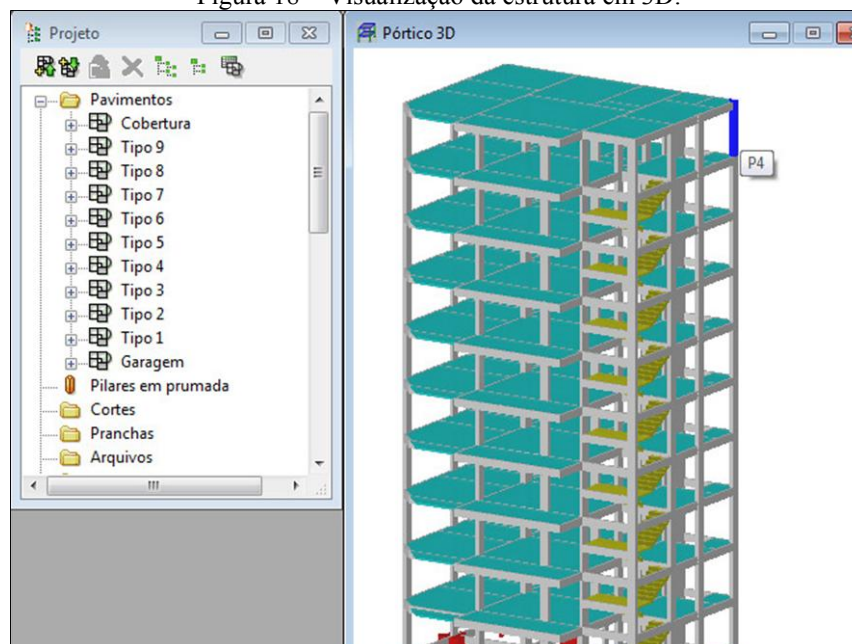
Através do pórtico 3D (Figura 18) é possível visualizar o pórtico espacial reticulado construído pelo software, assim como visualizar os cortes e vistas do projeto e destacar elementos para possível entendimento. Também pode-se acessar dados globais como o esforço em cada barra e deformações da estrutura, visualizando o comportamento espacial da estrutura frente aos carregamentos existentes.

Figura 17 – Corte esquemático.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

Figura 18 – Visualização da estrutura em 3D.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: nov. 2014.)

## 6.4 VANTAGENS PARA O PROFISSIONAL DA ÁREA

Segundo Kimura (2007), a utilização de uma ferramenta computacional, quando feita de maneira responsável e criteriosa, traz vantagens à elaboração de um projeto, tais como produtividade, qualidade e segurança.

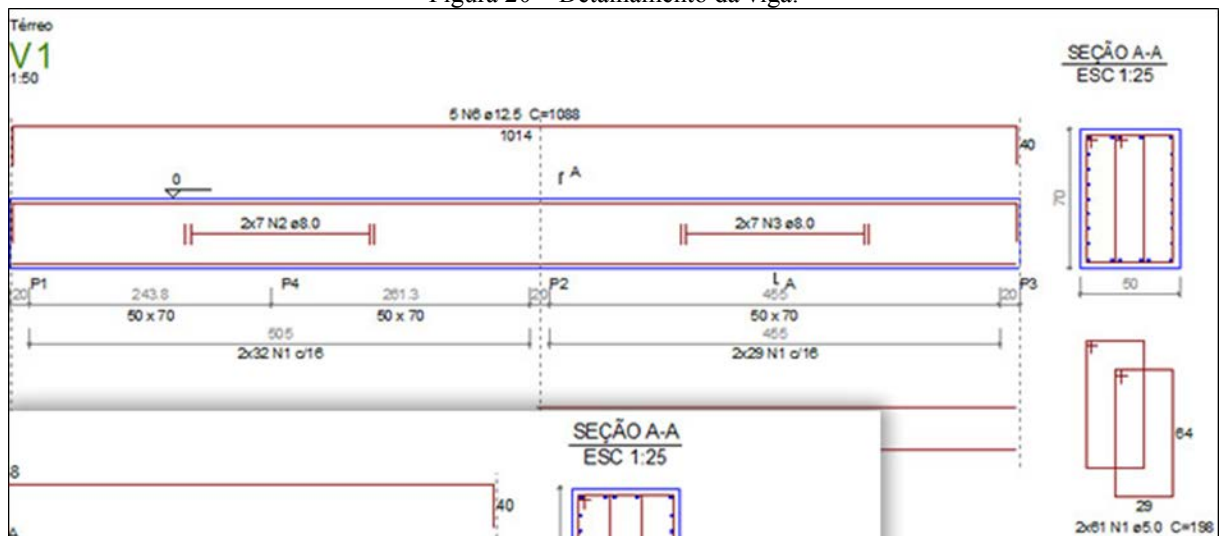
Outra vantagem é que o Eberick gera automaticamente os detalhamentos dos elementos estruturais adequando os desenhos ao gosto do usuário. É possível alterar as armaduras sugeridas pelo programa (Figura 19) e gerar detalhamentos individuais (Figura 20, 21 e 22).

Figura 19 – Comando para otimização das prumadas dos pilares.

Pilares do projeto		Lance	Pavimento	Armadura Anterior	Armadura B	Armadura H	As Efetivo Anterior	As Efetivo	Dif As	
1	P1									
2	P2	1	L9		2 e 10.0	2 e 10.0		3.14		
3	P3	2	L8		2 e 10.0	3 e 10.0		4.71		
4	P4	3	L7		2 e 10.0	3 e 10.0		4.71		
5	P5	4	L6		2 e 10.0	7 e 10.0		11.00		
6	P6	5	L5	Tipo 1	2+6 e 10.0	2 e 10.0	7 e 10.0	9.42	11.00	1.57
7	P7	6	L4	Térreo	2+6 e 12.5	2 e 12.5	7 e 12.5	14.73	17.18	2.45
8	P8	7	L3	Inferior		2 e 12.5	7 e 12.5		17.18	
9	P9									
10	P10	9								
11	P11	10								
12	P12	11								
13	P13	12								
		13								

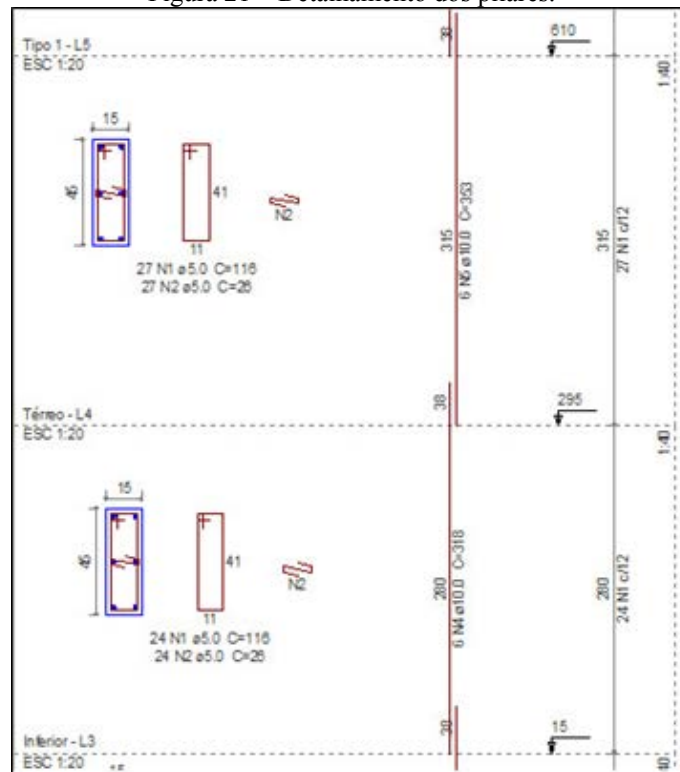
Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: dez. 2014. Adaptado.)

Figura 20 – Detalhamento da viga.



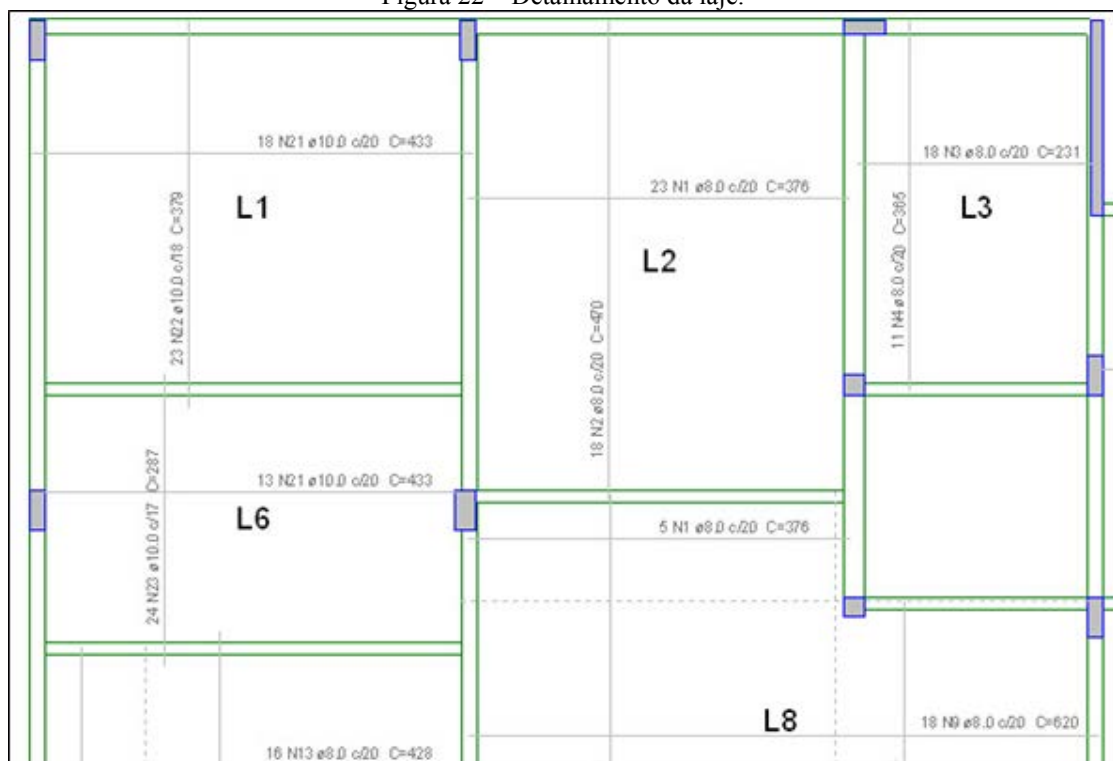
Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: dez. 2014.)

Figura 21 – Detalhamento dos pilares.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: dez. 2014.)

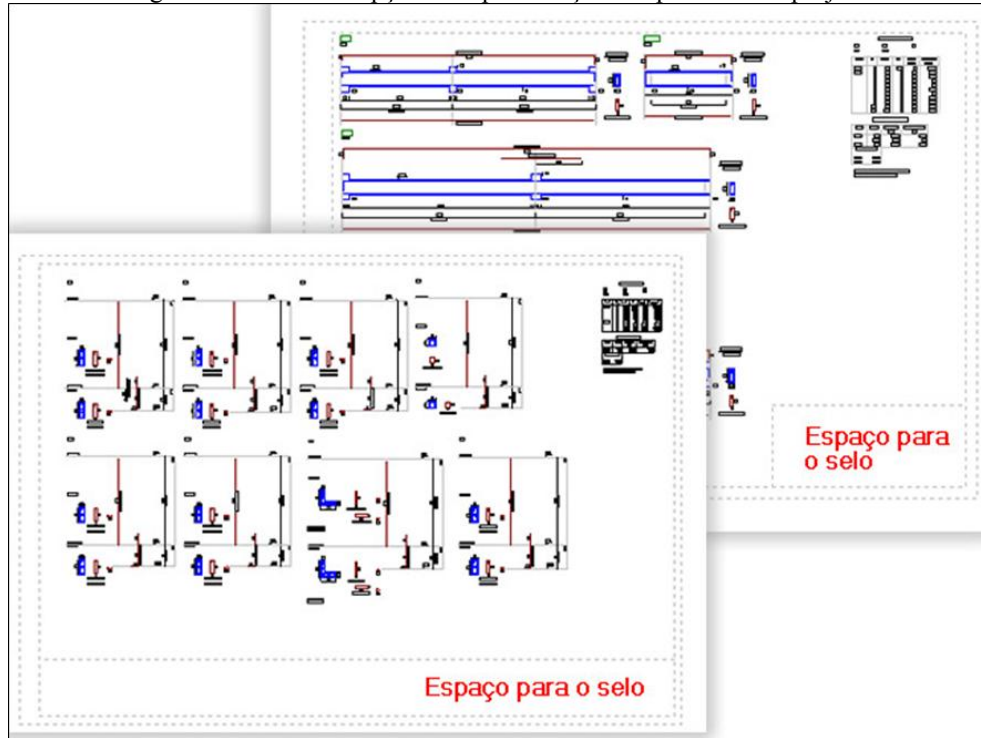
Figura 22 – Detalhamento da laje.



Fonte: (Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br>>. Acesso em: dez. 2014.)

O Eberick permite que as pranchas do projeto sejam apresentadas com o selo da empresa (Figura 23), gera relatórios de cálculo, de estabilidade da estrutura e de resumo dos materiais (Figura 24), listando o volume de concreto, peso de aço, área de forma, entre outros.

Figura 23 – Diversas opções de apresentação das pranchas do projeto.



Fonte: (Disponível em: <http://www.altoqi.com.br>. Acesso em: dez. 2014.)

Figura 24 – Resumo de materiais de todo o projeto.



Tutorial básico

### Resumo de Materiais

Pavimento	Elemento	Peso do aço +10 % (kg)	Volume de concreto (m³)	Área de forma (m²)	Consumo de aço (kg/m²)
COBERTURA_ATICO	Vigas	1778.0	16.6	299.8	107.3
	Pilares	1422.5	17.1	190.3	83.0
	Lajes	0.0	33.4	0.0	0.0
	Pré-moldados	690.0	0.0	0.0	0.0
	Escadas	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fundações				
PISO_ATICO	Reservatórios				
	Muros				
	Total				
	Vigas				
	Pilares				
	Lajes				
Pré-moldados					
Escadas					
Fundações					

Resumo de materiais						
Pavimento	Vigas	Pilares	Lajes	Fundações	Reservatórios	Muros
COBERTURA_ATICO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
PISO_ATICO	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TIPO 2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TIPO 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
GARAGEM	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

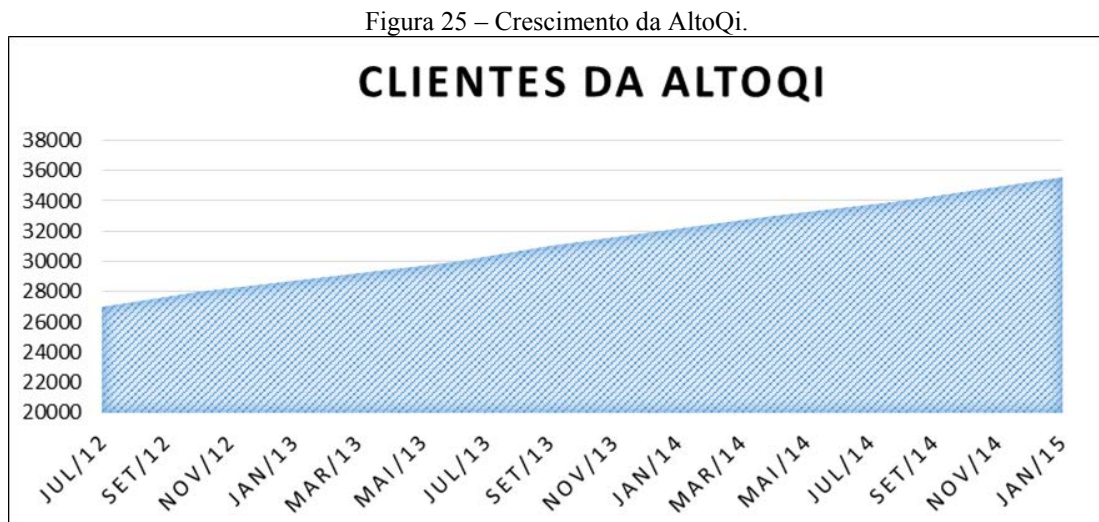
Fonte: (Disponível em: <http://www.altoqi.com.br>. Acesso em: dez. 2014.)

Outra vantagem que o software traz para o usuário é a redução de prazos e custos, obtendo mais tempo para a concepção estrutural e por consequência tendo uma estrutura muito mais eficiente e otimizada.

## 6.5 CUSTO DO SOFTWARE E EXPANSÃO DO MERCADO

A enorme competitividade existente no mercado atual exige um nível de produtividade bastante elevado. A elaboração de projetos precisa ser eficiente. E, por isso, sem sombra de dúvidas, a influência do software se tornará cada vez maior. Saber manipular um programa computacional irá, certamente, auxiliar a conquista de uma posição no mercado de trabalho. No entanto, o conhecimento de Engenharia é o que precisa, acima de tudo, ser tomado como meta. (KIMURA, 2007, p. 55).

Através do perfil da empresa nas redes sociais, foi possível montar o gráfico (Figura 25) com a quantidade de clientes que vem adquirindo os produtos da AltoQi desde 2012, e através deste foi possível visualizar como está o crescimento da marca no mercado.



Fonte: Do próprio autor.

O custo do software é acessível e possui 4 pacotes de comercialização. Inicia-se por volta de R\$ 3000,00 (três mil reais)<sup>3</sup> com o aumento gradativo entre os pacotes, sendo observado ainda a adição de módulos, de acordo com necessidade do cliente, alterando o valor final do produto.

A compra de um software não termina após o pagamento. Serão necessárias outras particularidades, como a disponibilidade de manuais completos, a existência de treinamentos além de um suporte técnico eficiente.

<sup>3</sup> Valor pesquisado no dia 15 de janeiro de 2015, fornecido pela própria empresa, podendo sofrer variação sem aviso prévio, nesta data o dólar estava cotado a R\$ 2,61 (dois reais e sessenta e um centavos).

## 6.6 SOFTWARES AUXILIARES

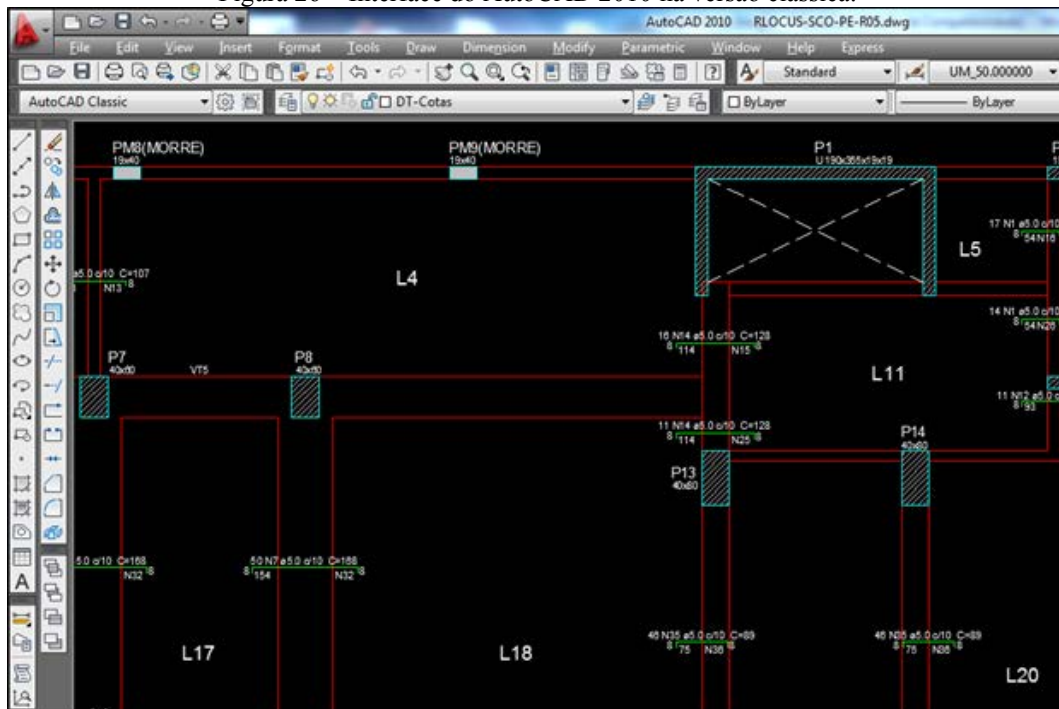
Para que seja possível utilizar o Eberick, é necessário utilizar outros softwares em conjunto. Ele suporta arquivos no formato DWG/DXF, que são gerados pelo software AutoCAD. A importação e exportação dos arquivos através do Eberick é feita pelo software QiCAD Viewer.

### 6.6.1 O AutoCAD

O AutoCAD foi criado em 1982 e é comercializado pela Autodesk Ink., empresa líder em software de design, engenharia e entretenimento 3D. É um software do tipo CAD – Computer Aided Design, ou seja, desenho auxiliado pelo computador – e é um dos mais importantes para a elaboração de desenhos técnicos em duas dimensões e para a criação de modelos tridimensionais. É uma ferramenta amplamente utilizada em arquitetura, engenharia civil, mecânica e elétrica, geoprocessamento, vários ramos da indústria, etc. Sua interface pode ser vista na Figura 26.

Atualmente está disponível na versão AutoCAD 2015, atualizada em agosto de 2014, e foi desenvolvida para o sistema operacional Microsoft Windows 7 e 8 de 32 e 64 bits.

Figura 26 – Interface do AutoCAD 2010 na versão clássica.



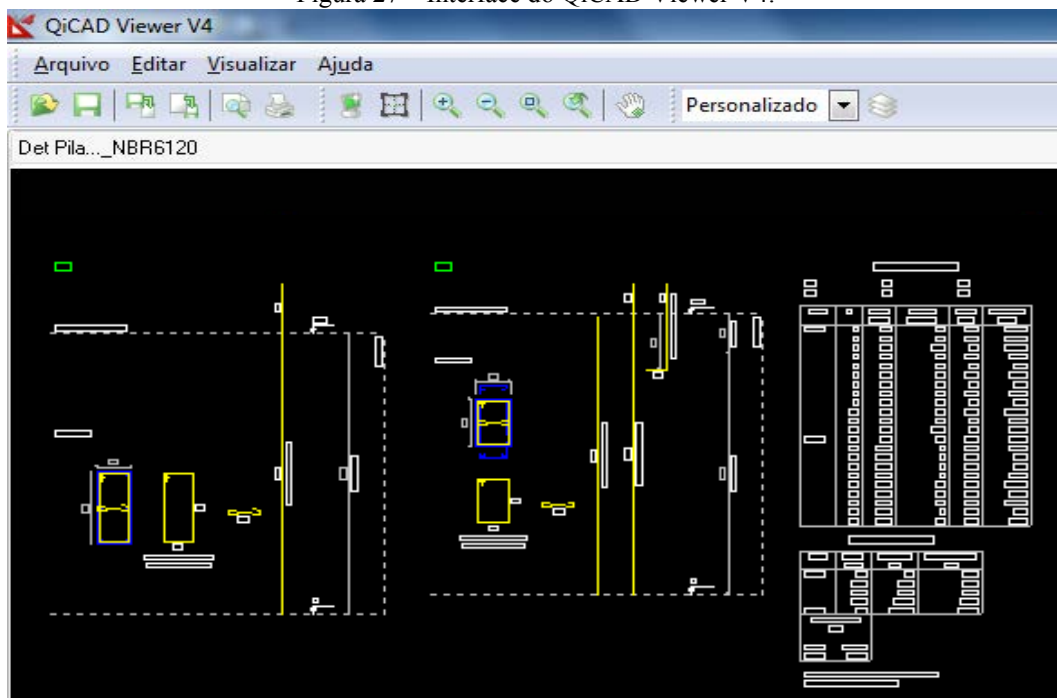
Fonte: Do próprio autor.

### 6.6.2 QiCAD Viewer

O software QiCAD Viewer é o sistema de CAD da AltoQi, que pode ser usado e distribuído livremente. Ele permite abrir arquivos DWG e DXF, visualizá-los, imprimi-los e gravá-los em outros formatos, facilitando o processo de importação e exportação nos softwares da AltoQi.

Atualmente ele está disponível na versão QiCAD Viewer V4, atualizada em novembro de 2007 e sua interface pode ser vista na Figura 27.

Figura 27 – Interface do QiCAD Viewer V4.



Fonte: Do próprio autor.

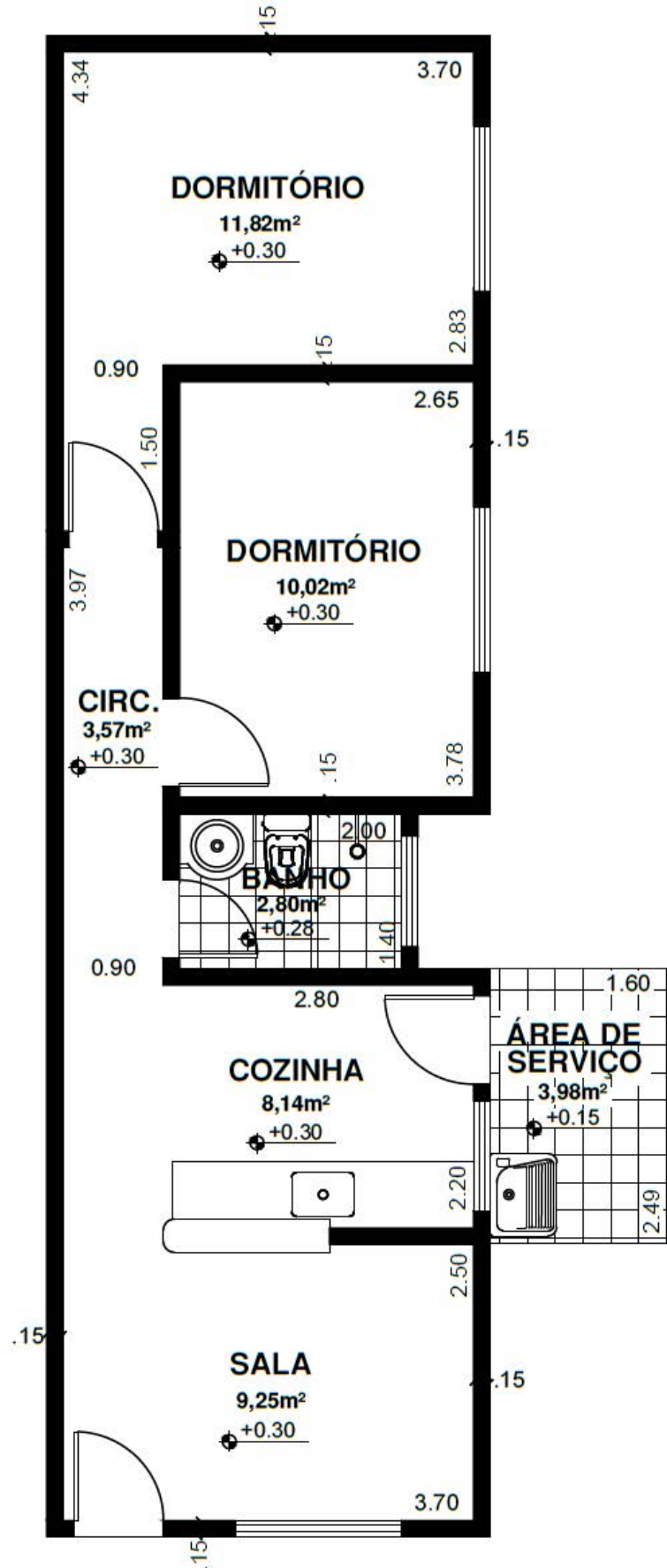
## **7 ESTUDO DE CASO: RESIDÊNCIA POPULAR NA CIDADE DE LORENA**

O projeto é de uma residência popular situada no bairro da Olaria da cidade de Lorena. Por meio dele realizou-se o cálculo estrutural em concreto armado dos elementos estruturais pilares, vigas e lajes.

### **7.1 DESCRIÇÃO DO PROJETO**

A residência foi projetada para abrigar uma família de três pessoas, sendo que tem um dormitório para o casal de 11,82 m<sup>2</sup>, um dormitório de 10,02 m<sup>2</sup> para o filho, um banheiro completo de 2,80 m<sup>2</sup>, uma área de serviço de 3,98 m<sup>2</sup> e uma cozinha integrada com a sala, com 8,14 m<sup>2</sup> de cozinha e 9,25 m<sup>2</sup> de sala (Figura 28). Todas as medidas dos cômodos foram feitas de acordo com o código de obras do município de Lorena.

Figura 28 – Planta baixa.



Fonte: Projeto do Engenheiro Célio Melilo (2014).

## 7.2 METODOLOGIA DO PROCESSO DOS CÁLCULOS

Para que o lançamento dos pilares, vigas e lajes no software Eberick fosse realizado, primeiramente foi feito o pré-dimensionamento destes elementos e posteriormente ele foi utilizado para o cálculo manual. No pré-dimensionamento foram utilizadas fórmulas empíricas ou práticas, que são produtos do engenheiro calculista.

### 7.2.1 Pré-dimensionamento dos pilares

O processo de pré-dimensionamento dos pilares foi feito pelo critério da tensão admissível.

A espessura da parede na arquitetura é de 15 cm, então adotou-se 14 cm para um dos lados do pilar. Para se obter aproximadamente a carga ( $N_k$ ) nos pilares, calculou-se as áreas de influência (AI) de cada pilar.

Segundo TERNI (2013), a carga média ( $q_{med}$ ) do piso residencial de um edifício em concreto armado é de aproximadamente 12,5 kN/m<sup>2</sup> e a contribuição da cobertura é de 75% da carga do piso, ou seja, a carga na cobertura ( $q_{cob}$ ) é de 7,5 kN/m<sup>2</sup>.

Utilizou-se a seguinte expressão 1 para o cálculo da carga no pilar:

$$N_k = ((n \times q_{cob}) + q_{med}) AI \quad (1)$$

Onde:

$n$  é o número de pavimentos tipos, como se trata de uma casa térrea,  $n=0$ .

$q_{cob}$  é a carga na cobertura, para este caso adotou-se 7,5 kN/m<sup>2</sup>.

$q_{med}$  é a carga média do piso, para este caso adotou-se 12,5 kN/m<sup>2</sup>.

$AI$  é a área de influência.

A área da seção transversal ( $A_c$ ) foi definida através da expressão 2 adaptada:

$$A_c = \frac{\beta \times \gamma_n \times N_k}{\sigma_{adm}} \quad (2)$$

Onde:

$\beta$  é o fator de ponderação que leva em conta as excentricidades da carga. Adota-se  $\beta=1$  para pilar interno,  $\beta=1,2$  para pilar de extremidade e  $\beta=1,4$  para pilar de canto.

$\gamma_n$  é o coeficiente adicional, referenciado no anexo A.1. Adotou-se nesse caso  $\gamma_n = 1,25$ .

$N_k$  é carga compressiva do pilar.

$\sigma_{adm}$  é a tensão admissível.

Adotou-se 25 MPa para a resistência característica à compressão do concreto ( $f_{ck}$ ) e calculou-se a tensão admissível através da expressão 3:

$$\sigma_{adm} = 0,55 \times f_{ck} = 1,38 \quad (3)$$

Segundo a NBR 6118:2014, referenciada no Anexo A.1, não permitiu pilares com seção transversal de área inferior a 360 cm<sup>2</sup>.

Os resultados dos cálculos do pré-dimensionamento dos pilares estão contidos no anexo B.1.

### 7.2.2 Pré-dimensionamento das vigas

Como o projeto é uma residência térrea, o pré-dimensionamento das vigas foi feito para as vigas do pavimento térreo (cobertura) e as vigas do pavimento baldrame.

A espessura da parede na arquitetura é de 15 cm, então adotou-se 14 cm para um dos lados da viga do pavimento térreo. As vigas baldrame tem a função de travar a estrutura e suportar as paredes, assim adotou-se 20 cm.

Segundo BASTOS (2005), para concretos de resistência de 20 e 25 Mpa, uma indicação prática para a estimativa da altura ( $h$ ) das vigas de concreto armado foi dada pela expressão 4:

$$h = \frac{L}{12} \quad (4)$$

Onde:

$L$  é a distância de eixo a eixo entre os apoios (pilares).

A altura mínima indicada para a viga é de 25 cm e por recomendações, adotou-se uma altura modulada de 5 em 5 cm.

Os resultados dos cálculos do pré-dimensionamento das vigas estão contidos no anexo B.2.

### 7.2.3 Pré-dimensionamento das lajes

Segundo BASTOS (2005) o processo de pré-dimensionamento das lajes é feito através da expressão empírica 5 onde a sua altura útil ( $d$ ) foi estimada.

$$d = (2,5 - 0,1n) l^* \quad (5)$$

Onde:

$n$  é o número de bordas engastadas da laje.

$l^*$  é a menor dimensão entre  $l_x$  e  $0,7 \times l_y$ , com  $l_x$  (menor vão da laje)  $\leq l_y$  (maior vão da laje).

No caso onde as lajes que não tem continuidade ao longo de toda a borda comum, o critério para se considerar a vinculação foi descrito na expressão 6:

$$\begin{aligned} \text{Se } a &\geq \frac{2}{3}L && \text{considerou as lajes engastadas.} \\ \text{Se } a &\leq \frac{2}{3}L && \text{considerou as lajes apoiadas.} \end{aligned} \quad (6)$$

Onde:

$a$  é o comprimento da borda engastada.

$L$  é o comprimento total da borda.

Com a altura útil, calculou-se a altura ( $h$ ) da laje através da expressão 7:

$$\begin{aligned} h &= d + cob + \emptyset/2 && (7) \\ \text{Como } \emptyset/2 &\approx 0 \\ \text{Adota-se } h &= d + cob \end{aligned}$$

Onde:

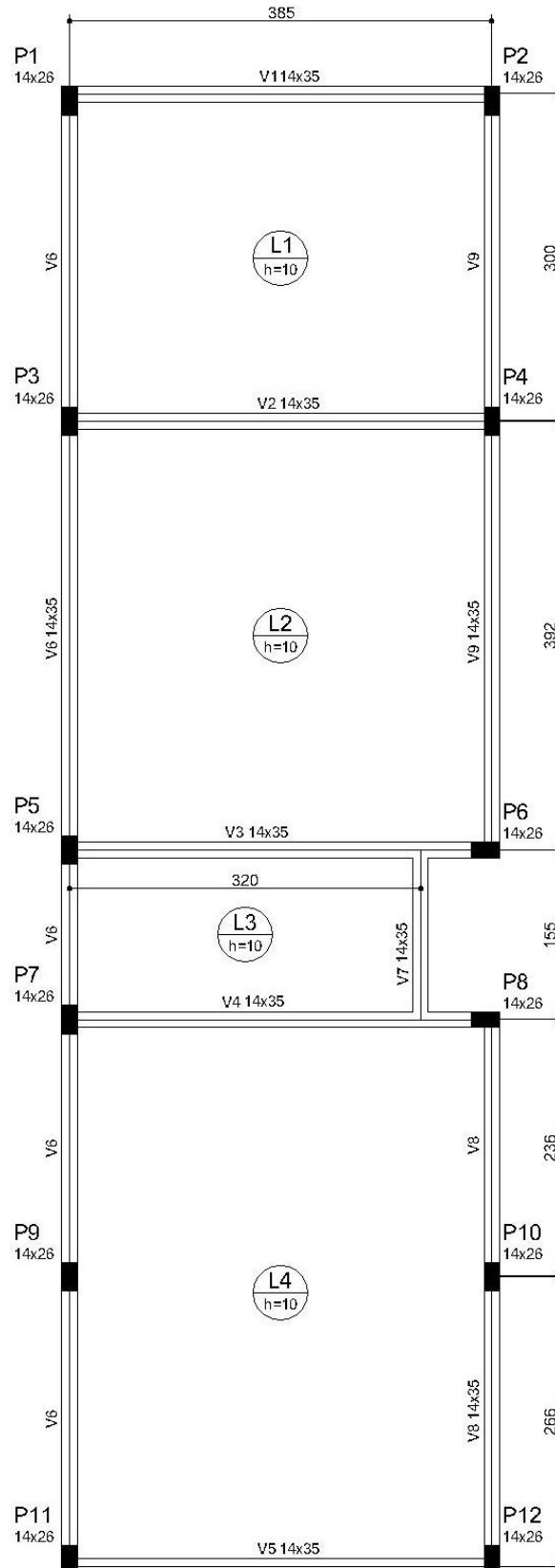
$d$  é a altura útil da laje.

$cob$  é o cobrimento. Para esse caso adotou-se 2,5 cm, com classe de agressividade ambiental II.

Os resultados dos cálculos do pré-dimensionamento das lajes estão contidos no anexo B.3.

A locação dos pilares, vigas e lajes são mostrados na Figura 29.

Figura 29 – Locação dos pilares, vigas e lajes.



Fonte: Do próprio autor.

### 7.3 LANÇAMENTO DA ESTRUTURA NO SOFTWARE EBERICK

Para o lançamento da estrutura, definiu-se o número de pisos, bem como a sua nomenclatura, altura e nível (Figura 30).

Figura 30 – Criação dos pavimentos.

	Pavimento	Altura (cm)	Nível (cm)	Lance
1	Térreo	300.00	300.00	2
2	Baldrame	150.00	0.00	1
3				
4				
5				
6				
7				

Nível inferior: 0 cm  
 Nível solo: 100 cm  
 Lance inicial: 1

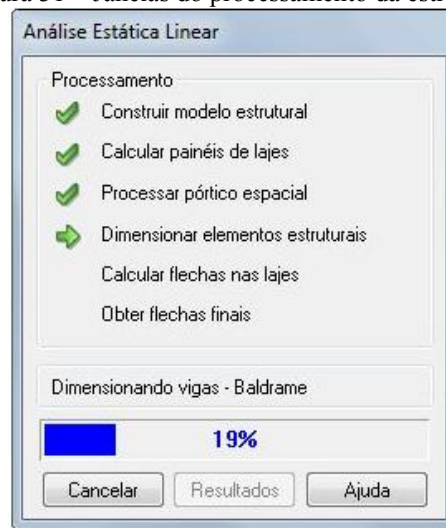
Fonte: Do próprio autor.

Importou-se a arquitetura no formato DWG, e a partir desta, lançou-se no nível térreo (cobertura) os pilares com dimensões de 14x26 cm, as vigas com dimensões de 14x35 cm e as lajes com 10 cm de espessura, sobrecarga de 150 kgf/m<sup>2</sup> e revestimento de 75 kfg/m<sup>2</sup>. Engastou-se todas as lajes. Copiou-se os pilares para o nível baldrame para evitar problemas de prumada na construção do pórtico, e lançou-se as vigas com dimensões de 20x35 cm com carga de parede de 563 kgf/m.

Configurou-se as propriedades dos materiais de cada elemento e pavimento, selecionou-se a opção de pórtico espacial e iniciou-se o processamento da estrutura (Figura 31).

Cronometrou-se o tempo gasto no processo descrito acima.

Figura 31 – Janelas do processamento da estrutura.



Fonte: Do próprio autor.

#### 7.4 CÁLCULO MANUAL DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIIS

Realizou-se o cálculo estrutural manualmente do pilar P2, da viga do pavimento térreo (cobertura) V1 e da laje L1 e estes cálculos estão referenciados no anexo C.1, C.2 e C.3 respectivamente.

Cronometrou-se o tempo gasto no cálculo estrutural de cada elemento citado a cima.

## **8 COMPARAÇÃO DO CÁLCULO ESTRUTURAL ATRAVÉS DO MÉTODO MANUAL E ATRAVÉS DO SISTEMA COMPUTACIONAL – DADOS OBTIDOS**

O presente trabalho apresentou dois métodos de cálculo estrutural: o método através do sistema computacional Eberick e o método manual. Para analisar os dois métodos foram selecionados 1 pilar, 1 viga e 1 laje para que fosse representar as considerações que o software Eberick utiliza no dimensionamento e detalhamento do elemento estrutural.

O pilar e a viga foram calculados manualmente de forma isolados e no software, foram calculados como um pórtico estrutural.

O pórtico espacial é um modelo estrutural mais completo, que representa de forma mais fiel a estrutura real. Através dele, determinam-se momentos de flexão e torção, e esforços cortantes e normais de todos os elementos. Seu uso é adequado para análise de carregamentos horizontais e verticais, inclusive com assimetria. A solidariedade entre vigas e pilares é considerada. A interação é efetivada mediante o emprego de coeficientes de engastamento. (CORRÊA, 1991 apud BERNARD, 2007 p.20).

As hipóteses simplificadas do pórtico espacial consideram , segundo NUNES (1998, p.16), "que a seção transversal do elemento não se altera com as deformações" e que "o elemento visto como um todo, esteja sujeito apenas as translações e rotações do corpo rígido".

De acordo com BITTENCOURT (2002) no calculo manual das vigas, as hipóteses admitidas são: a seção é mantida plana; existe uma aderência perfeita entre o concreto e armadura que as envolve; a seção sujeita a deformação de alongamento tem tensão nula no concreto; e é considerado o diagrama de tensão-deformação, de cálculo, na armadura.

Para os pilares que são calculados de forma isolada, LONGO (2000) fala que as hipóteses a serem consideradas nos métodos aproximadas para se determinar a excentricidade de segunda ordem são: as barras retas, com seção transversal, têm simetria constante; a força normal é constante ao longo do seu comprimento sob flexo-compressão; e a configuração é fletida de forma senoidal.

As lajes foram calculadas manualmente de forma isolada, utilizando a tabela de Czerny e no software, foi calculada por analogia de grelha.

As hipóteses de cálculos admitidas no cálculo manual dos esforços atuantes nas lajes são: as lajes e as vigas são calculadas separadamente; as vigas são consideradas como apoios indeslocáveis; e as reações das lajes nas vigas são distribuídas uniformemente. BITTENCOURT et al (2001).

No software Eberick as lajes são calculadas isoladamente, mas "presença na estrutura é considerada através de uma hipótese de diafragma rígido. Esta hipótese considera as lajes

infinitamente rígidas no seu plano, garantindo um comportamento mais real da estrutura no tocante aos deslocamentos horizontais.” (ALTOQI, 2008, p.56).

### 8.1 QUANTO AO PILAR P2

Os resultados do dimensionamento da armadura longitudinal do pilar foram comparados na tabela 1.

Tabela 1 – Dimensionamento da armadura longitudinal e transversal do pilar P2.

ARMADURA LONGITUDINAL		EBERICK	MANUAL
	N <sub>d</sub> (tf)	2,91	2,74
	N	0,04	0,04
DIR. X	Esbeltez	74,14	74,23
	M <sub>d,topo</sub> (kgf m)	240	156
	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	1,57 (2 ϕ 10,0)	1,46 (2 ϕ 10,0)
DIR. Y	Esbeltez	39,92	39,97
	M <sub>d,topo</sub> (kgf m)	221	282
	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	1,57 (2 ϕ 10,0)	1,46 (2 ϕ 10,0)
ARMADURA TRANSVERSAL		EBERICK	MANUAL
	Estribo	ϕ 5,0 c/ 12	ϕ 5,0 c/ 12

OBS:

De acordo com a NBR 6118, a força normal adimensional ( $\nu$ ) é calculada

através da formulação: 
$$\nu = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}}$$

Fonte: Do próprio autor.

Analisando a Tabela 1, vemos que as forças normais de cálculo possuem uma pequena diferença entre seus valores, e esta pode ser explicada pelos carregamentos que o Eberick atribuiu ao pilar P2, já que o cálculo das vigas e pilares foram feitos através de um pórtico espacial.

No cálculo manual, referenciada no anexo C.1, o pilar foi calculado isoladamente e foram consideradas as reações do pilar P2 nas vigas V1 e V9 e o peso próprio da laje, o que acabou ocasionando diferenças nos esforços. Se as forças normais são diferentes,

consequentemente, os momentos de cálculo serão diferentes, já que estes dependem do carregamento da viga.

Contudo, essa diferença não interferiu no resultado final do dimensionamento da armadura longitudinal do pilar, pois as cargas são muito baixas.

## 8.2 QUANTO A VIGA V1

Os resultados do dimensionamento da armadura longitudinal e transversal da viga foram comparados na tabela 2 e 3 respectivamente.

Tabela 2 – Dimensionamento da armadura longitudinal da viga V1.

ARMADURA LONGITUDINAL	EBERICK	MANUAL
$M_d$ (kgf m)	921	848
$A_s$ (cm <sup>2</sup> )	0,74 (2 $\phi$ 8,0)	0,74 (2 $\phi$ 8,0)
$d_{real}$ (cm)	31,10	31,10

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 3 – Dimensionamento da armadura transversal da viga V1.

ARMADURA TRANSVERSAL	EBERICK	MANUAL
$V_d$ (tf)	0,68	0,63
$V_{Rd2}$ (tf)	18,89	18,89
$V_c$ (tf)	3,35	3,35
$A_{sw/s}$ (cm <sup>2</sup> )	1,44 ( $\phi$ 5,0 c/ 18 cm)	1,44( $\phi$ 5,0 c/ 18 cm)
número de ramos	2	2

Fonte: Do próprio autor.

Analisando a Tabela 2, vemos que os momentos fletores de cálculo se mostram diferentes, e esta pode ser explicada pelos carregamentos que o Eberick atribuiu a viga V1, já que o cálculo das vigas e pilares foram feitos através de um pórtico espacial, e manualmente a viga foi calculada de forma isolada, ocasionando diferenças nos esforços.

No cálculo manual, referenciada no anexo C.2, foram consideradas o peso próprio da viga e a reação da laje na viga através da tabela de Czerny.

Consequentemente, se os esforços considerados na viga V1 são diferentes, as forças cortantes de cálculo (Tabela 3) também serão diferentes.

Contudo, essa pequena diferença não interferiu no resultado final do dimensionamento da armadura longitudinal e transversal da viga, pois tanto manualmente como através do software foi adotada a armadura mínima, já que os esforços eram muito pequenos.

Para as vigas biapoiadas, no cálculo de pórtico espacial, os momentos negativos são calculados nos apoios, e calculando a viga isoladamente, não tem momento negativo.

### 8.3 QUANTO A LAJE L1

Os resultados do dimensionamento da armadura positiva e negativa na laje L1 foram comparados na Tabela 4 e 5 respectivamente.

Tabela 4 – Dimensionamento da armadura positiva na laje L1.

ARMADURA POSITIVA	EBERICK	MANUAL
$M_{d,posit\ eixo\ x}$ (kgf m/m)	472	472
$A_{s,posit\ eixo\ x}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,56 (φ 6,3 c/ 19 cm)	1,56 (φ 6,3 c/ 20 cm)
$M_{d,posit-eixo\ y}$ (kgf m/m)	288	286
$A_{s,posit\ eixo\ y}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,56 (φ 5,0 c/ 12 cm)	1,57 (φ 5,0 c/ 12 cm)

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 5 – Dimensionamento da armadura negativa na laje L1.

ARMADURA NEGATIVA	EBERICK	MANUAL
$M_{d,negat-eixo\ y}$ (kgf m/m)	445	659
$A_{s,negat\ eixo\ y}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,50 (φ 6,3 c/ 20 cm)	2,21 (φ 6,3 c/ 12 cm)

Fonte: Do próprio autor.

Analisando a Tabela 4 percebemos que os momentos fletores de cálculo positivos no eixo x e y possuem resultados iguais. Já na Tabela 5 os momentos negativos possuem discrepâncias de resultados devido as considerações que são feitas no cálculo manual através das tabelas de Czerny e no cálculo computacional pelo método da grelha.

Segundo OLIVEIRA (2003) no cálculo utilizando as tabelas de Czerny, as lajes são consideradas painéis isolados, engastadas perfeitamente e apoiadas em vigas indeformáveis,

ou seja, não são levadas em consideração a rigidez à torção. No método das grelhas, tem-se como idéia principal a substituição do pavimento por uma grelha equivalente e considera-se a rigidez à torção e à flexão das lajes e a rigidez à flexão e à torção das vigas.

Analisando o momento negativo no eixo y sobre a viga V2, percebemos uma diferença muito alta entre os resultados uma vez que no cálculo manual é considerado que as lajes são perfeitamente engastadas, ao contrário do que acontece pelo método da grelha, onde existe uma continuidade. Ou seja, pelo método da grelha tem-se uma melhor redistribuição dos momentos fletores, resultando em um momento negativo e uma taxa de armadura menor.

## 8.5 O TEMPO DE EXECUÇÃO DO MÉTODO MANUAL E DO SISTEMA COMPUTACIONAL

O tempo de execução do cálculo estrutural pelos dois sistemas obtiveram resultados já esperados. O tempo gasto no software foi igual ao tempo utilizado no cálculo de um elemento estrutural, ou seja, de um pilar ou de uma viga ou de uma laje.

Assim, ao utilizar o computador, economizou-se 2/3 do tempo que levaria para calcular os três elementos pilar P2, viga V1 e laje L1.

Outra observação que pode ser feita, é que e as pranchas com os detalhamentos são gerados em poucos minutos, enquanto manualmente é necessário que um desenhista cadista faça os desenhos.

## 9 CONCLUSÃO

A vantagem de se utilizar o software Eberick, uma ferramenta computacional de sistema integrado, é que este gera automaticamente os detalhamentos dos elementos estruturais adequados ao gosto do usuário, permitindo a inserção do selo da empresa nesta mesma prancha detalhada. Assim há uma economia no tempo da produção das pranchas e não há a necessidade de contratar um profissional especializado em AutoCAD para realizar os desenhos dos detalhamentos dos elementos e as formas das lajes. Outra vantagem é que o software constrói uma planilha com os gastos de materiais do projeto, listando o volume do concreto, o peso do aço e a área de forma, podendo conseqüentemente facilitar o construtor na sua planilha de orçamento.

Como já esperado, o cálculo computacional foi muito mais rápido do que o manual. Mesmo em uma construção de pequeno porte, é interessante utilizar o software, pois ele gerará as pranchas que serão mandadas para a obra em poucos minutos, evitando que o engenheiro use o programa AutoCAD para desenhar todos os detalhamentos e formas do projeto estrutural, economizando tempo.

Através do software Eberick pôde-se avaliar a contribuição que ele traz anteriormente a execução da obra e seu efeito na qualidade do serviço prestado, já que a visualização do pórtico 3D permitiu uma visão global do projeto e assim diagnosticar eventuais distorções do projeto. Também observou-se uma facilidade em manipular os resultados, já que é possível otimizar a estrutura diminuindo, quando possível, as seções dos seus elementos e visando a economia da obra, pois sabe-se que o pré-dimensionamento é superdimensionado.

Então o uso do software, quando feita de maneira responsável e criteriosa, traz vantagens à elaboração de um projeto, como produtividade, qualidade e segurança.

Dialogando com a empresa AltoQi obteve-se o valor do software Eberick, e este investimento é acessível a grande maioria dos engenheiros. A utilização do Eberick traz grandes benefícios, otimizando o trabalho da equipe e auxiliando no processo de conquista de mercado de trabalho.

É fundamental saber que o software destina-se a elaboração dos projetos estruturais, entre tanto, é apenas uma ferramenta auxiliar. O engenheiro deverá conhecer a sua utilização e interpretar as informações recebidas do programa, pois ele pode ser alimentado incorretamente, e é função do engenheiro analisar e perceber que o software está apresentando uma resposta incorreta. Para se ter um bom resultado final, durante a manipulação do software são adotadas uma série de decisões técnicas, desde a definição do tipo de aço, concreto,

cargas a serem adotados até ao engastamento, rotulamento dos elementos. É importante salientar que todo o software possui limitações de cálculo, no caso do Eberick por exemplo, o não dimensionamento de pilares paredes, e estes devem ser calculadas separadamente pelo engenheiro.

Ao realizar o cálculo estrutural manualmente, percebeu-se de forma aproximada quais os critérios que o software Eberick utiliza para realizar os cálculos. Percebeu-se também uma pequena discrepância de resultados nas considerações das cargas no pilar e na viga devido aos processos de cálculos e hipóteses adotados – elementos isolados e pórtico espacial. Para as vigas biapoiadas, no cálculo de pórtico espacial, os momentos negativos são calculados nos apoios, e calculando a viga isoladamente, ela não tem momento negativo. Observou-se que para as vigas e as lajes, o resultado da armadura através do cálculo manual foi igual ao gerado pelo software, pois como se trata de uma construção de pequeno porte, os esforços são pequenos, o que resultou na utilização da armadura mínima no detalhamento. No dimensionamento da laje pôde-se perceber que houve uma grande diferença de resultados no cálculo da armadura negativa, já que os métodos de cálculo adotados manualmente e pelo software foram diferentes. Com o software é possível analisar o comportamento do pavimento como um todo, aproximando-o da realidade. No processo de analogia de grelha considera-se a continuidade entre as lajes e o seu momento máximo positivo é maior que o momento no centro da laje. A tabela de Czerny, método utilizado manualmente, considera as lajes perfeitamente engastadas. Faz-se a compatibilização dos momentos fletores entre lajes conjugadas, e a laje é tratada de forma isolada, apoiada em vigas indeformáveis, gerando um momento máximo positivo no centro e outro negativo na borda com uma taxa de armadura maior que no método da grelha.

Antes de utilizar o software, é necessário calcular manualmente o pré-dimensionamento dos elementos para poder alimentar o programa. Outra opção muito empregada é adotar valores para as seções transversais dos elementos de acordo com a prática que o engenheiro obteve durante a sua carreira.

Mediante este trabalho pode-se avaliar a importância do aprendizado do cálculo estrutural feito manualmente, pois ele deu a oportunidade de conhecer as origens do cálculo estrutural, para assim poder operar uma máquina com o devido conhecimento teórico e específico da disciplina Estruturas I e II.

## REFERÊNCIAS

ALTOQI. **Eberick V6: Documentação Técnica: Módulo Master**. Florianópolis, 2008.

ALTOQI. Sobre o AltoQi Eberick V9. **AltoQi: Tecnologia aplicada à engenharia**. Florianópolis, jul. 2014. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br/software/projeto-estrutural/eberick-v9>>. Acesso em: nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

BASTOS, P. S. S. Notas de aula: Elementos estruturais – Capítulo 4. **Universidade Estadual Paulista: Faculdade de Engenharia de Bauru – Departamento de Engenharia Civil**. Bauru, 2004. 16 p. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Elem.%20Estrut.pdf>>. Acesso em: dez. 2014.

BASTOS, P. S. S. Notas de aula: Vigas e lajes de concreto armado. **Universidade Estadual Paulista: Faculdade de Engenharia de Bauru – Departamento de Engenharia Civil**. Bauru, 2005. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/Sistemas%20Estruturais/Sistemas2.pdf>>. Acesso em: jan. 2015.

BERNARDI, D. F. **Estudo comparativo entre o modelo de viga contínua e o modelo de pórtico espacial para uma estrutura de concreto armado de pequeno porte**. 2007. 59 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. [Orientador: Prof. Dr. Américo Campos filho]. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/26029/000755001.pdf?..>>. Acesso em: jan 2015.

BITTENCOURT, T. N. et al. Notas de aula: Exemplo de um projeto completo de um edifício de concreto armado – Aula 4: Lajes. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações**. São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es13/ES013Aula4.pdf>>. Acesso em: fev 2015.

BITTENCOURT, T. N. Notas de aula: Exemplo de um projeto completo de um edifício de concreto armado – Aula 6: Cálculo e detalhamento das vigas. **Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações**. São Paulo, 2002. Disponível em: <[http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es13/ES013Aula6\\_7\\_8.pdf](http://www.lem.ep.usp.br/gpse/es13/ES013Aula6_7_8.pdf)>. Acesso em: fev 2015.

KIMURA, Alio. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais**. 1 ed. São Paulo: Pini, 2007. 624 p.

MOTOYAMA, Shozo. **USP 70 Anos: imagens de uma história vivida**. 1 ed. São Paulo: Edusp, 2006. 701 p.

LONGO, H. I. Notas de aula: Pilares de concreto armado. **Universidade Federal do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro, 2000. 32 p. 3ª ed.

NUNES, C. C. **Análise não linear geométrica de pórtico espacial com dependência generalizada entre deslocamento.** 1998. 96 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: <[http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/doc\\_download/648-claudio-cruz-nunes-doutorado?Itemid=>](http://www.coc.ufrj.br/index.php/component/docman/doc_download/648-claudio-cruz-nunes-doutorado?Itemid=>)>. Acesso em: fev 2015.

OLIVEIRA, J C A.O.; LIMA, E. C.; JUNIOR, B. F. R. C. Estudo comparativo de cálculo de laje analogia de grelha x tabela de Czerny. **Universidade Católica de Goiás.** Goiás, 2003. Disponível em: <[http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Byl\\_Farney\\_Junior.pdf](http://www2.ucg.br/nupenge/pdf/Byl_Farney_Junior.pdf)>. Acesso em: jan. 2015.

PRESSMAN, Roger S. **Engenharia de software: uma abordagem profissional.** 7 ed. Porto Alegre: Bookmn, 2011. 780 p.

TERNI, A. W. Notas de aula: Pilares de concreto armado. **Universidade Estadual Paulista: Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – Departamento de Engenharia Civil.** Guaratinguetá, 2013.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALTOQI. A AltoQi está sempre perto de você. **AltoQi: Tecnologia aplicada à engenharia.** Florianópolis. Disponível em: <<http://www.altoqi.com.br/institucional>>. Acesso em: nov. 2014.
- AUTODESK. **Autodesk do Brasil.** São Paulo. Disponível em: <<http://www.autodesk.com.br>>. Acesso em: out. 2014.
- AUTODESK. Company. **Autodesk.** Califórnia. Disponível em: <<http://usa.autodesk.com/company>>. Acesso em: dez. 2014.
- BASTOS, P. S. S. Notas de aula: Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado. **Universidade Estadual Paulista: Faculdade de Engenharia de Bauru – Departamento de Engenharia Civil.** Bauru, 2006. Disponível em: <[http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798\\_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf](http://www.deecc.ufc.br/Download/TB798_Estruturas%20de%20Concreto%20I/HIST.pdf)>. Acesso em: jan. 2014.
- BERTONCELLO, A. O. S. **Ferramentas computacionais voltadas à gestão de projetos na construção civil.** 2006. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006. [Orientador: Prof. Dr. Wilson Shoji Iyomasa]. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-01.pdf>>. Acesso em: nov. 2014.
- CASAS, E. B. L. Notas de aula: Método dos Elementos Finitos. **Universidade Federal de Minas Gerais – Centro Avançado de Desenvolvimento Tecnológico e Ensino da Computação Gráfica.** Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.cadtec.dees.ufmg.br/NucleoEAD/Forum/Arquivos/cap3.PDF>>. Acesso em: dez. 2014.
- FEIL, M. S. **Possibilidades e limites do software AltoQi Eberick como ferramenta de apoio para o ensino das disciplinas de estruturas do curso de Engenharia Civil da INIJIÚ.** 2002. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UNIJIÚ Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2002. [Orientador: Luís Eduardo Modler]. Disponível em: <<http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Matias-Sausen-Feil.pdf>>. Acesso em: out. 2014.
- FERRARI, C. G. M. R. S. O surgimento da informática e sua chegada ao Brasil. **Portal da Educação.** Campo Grande, mai. 2013. Disponível em: <<http://www.portaleducacao.com.br/iniciacao-profissional/artigos/47410/o-surgimento-da-informatica-e-sua-chegada-ao-brasil>>. Acesso em: nov. 2014.
- MATOS, L. R. **Softwares para engenharia civil.** 2009. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006. [Orientador: Prof. MSc Fernando José Relvas]. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-09/civil-26.pdf>>. Acesso em: out. 2014.

MUSEU DO COMPUTADOR. História dos computadores no Brasil. **Universidade Estadual do Maringá – Departamento de Informática**. Maringá. Disponível em: <[http://www.din.uem.br/museu/hist\\_nobrasil.htm](http://www.din.uem.br/museu/hist_nobrasil.htm)>. Acesso em: nov. 2014.

PINHEIRO, L. M.; SCADELAI M. A. Notas de aula: Estruturas de concreto – Capítulo 16: pilares. **Universidade de São Paulo**. São Carlos, 2005. 32 p.

SÜSSEKIND, José. C. **Curso de análise estrutural**. Vol 1. 6 ed. Porto Alegre / Rio de Janeiro: Globo, 1981. 366 p.

SÜSSEKIND, José. C. **Curso de análise estrutural**. Vol 2. 4 ed. Porto Alegre: Globo, 1980. 310 p.

VERGUTZ, J. A.; CUSTÓDIO R. **Análise comparativa de resultados obtidos de softwares de dimensionamento de estruturas de concreto**. 2010. 207 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. [Orientador: Prof. Cláudio L. Curotto]. Disponível em: <[http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/31/Tfc\\_2010\\_juliano\\_ricardo.pdf](http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/3/31/Tfc_2010_juliano_ricardo.pdf)>. Acesso em: out. 2014.

**ANEXOS**

## ANEXO A

As informações a seguir foram retiradas da ABNT NBR 6118:2014

### A.1 DIMENSÕES LÍMITES DOS PILARES E PILARES-PAREDE

De acordo com o item 13.2.3 da norma ABNT NBR 6118:2014, p.73, temos que a seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não pode apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerado no dimensionamento por um coeficiente adicional  $\gamma_n$ , de acordo com o indicado na Tabela 6. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm<sup>2</sup>.

Tabela 6 – Valores do coeficiente adicional  $\gamma_n$  para pilares e pilares-parede

VALORES DO COEFICIENTE ADICIONAL $\gamma_n$ PARA PILARES E PILARES-PAREDE						
$b$ (cm)	$\geq 19$	18	17	16	15	14
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Onde,

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$$

$b$  é a menor dimensão da seção transversal, expressa em centímetros (cm).

NOTA: O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

### A.2 DIMENSÕES LÍMITES DAS VIGAS E VIGAS-PAREDE

De acordo com o item 13.2.2 da norma ABNT NBR 6118:2014, p.73, temos que a seção transversal das vigas não pode apresentar largura menor que 12 cm e a da vigas-parede, menor que 15 cm. Estes limites podem ser reduzidos, respeitando-se um mínimo absoluto de 10 cm em casos excepcionais, sendo obrigatoriamente respeitadas as seguintes condições:

- a) alojamento das armaduras e suas interferências com as armaduras de outros elementos estruturais, respeitando os espaçamentos e cobrimentos estabelecidos nesta Norma;
- b) lançamento e vibração do concreto de acordo com a ABNT NBR 14931.

### A.3 DIMENSÕES LIMITES DAS LAJES MACIÇAS

De acordo com o item 13.2.4.1 da norma ABNT NBR 6118:2014, p.74, nas lajes maciças devem ser respeitadas os seguintes limites mínimos para a espessura:

- a) 7 cm para cobertura não em balanço;
- b) 8 cm para lajes de piso não em balanço;
- c) 10 cm para lajes em balanço;
- d) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- e) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN;
- f) 15 cm para lajes com pretensão apoiadas em vigas, com o mínimo de  $L/42$  para lajes de piso biapoiadas e  $L/50$  para lajes de piso contínuas;
- g) 16 cm para lajes lisas e 14 cm para lajes-cogumelo, fora do capitel.

No dimensionamento as lajes em balanço, os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados devem ser multiplicados por um coeficiente adicional  $\gamma_n$ , de acordo com o indicado na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores do coeficiente adicional  $\gamma_n$  para para lajes em balanço

VALORES DO COEFICIENTE ADICIONAL $\gamma_n$ PARA PILARES E PILARES-PAREDE										
$h$ (cm)	$\geq 19$	18	17	16	15	14	13	12	11	10
$\gamma_n$	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45

Onde,

$$\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$$

$h$  é a altura da laje, expressa em centímetros (cm).

NOTA: O coeficiente  $\gamma_n$  deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nas lajes em balanço, quando de seu dimensionamento.

## ANEXO B

### B.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DOS PILARES

Tabela 8 – Pré-dimensionamento dos pilares

PILAR	AI (m <sup>2</sup> )	$\beta$	N <sub>k</sub> (kN)	A <sub>c</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>c,min</sub> (cm <sup>2</sup> )	h (cm)	Seção adotada (cm)
P1	2,89	1,4	36,09	45,94	350	25,71	14 x 26
P2	2,89	1,4	36,09	45,94	350	25,71	14 x 26
P3	6,66	1,2	83,26	90,83	350	25,71	14 x 26
P4	6,66	1,2	83,26	90,83	350	25,71	14 x 26
P5	5,01	1,2	62,66	68,36	350	25,71	14 x 26
P6	4,76	1,4	59,51	75,75	350	25,71	14 x 26
P7	3,51	1,2	43,89	47,88	350	25,71	14 x 26
P8	3,26	1,4	40,75	51,86	350	25,71	14 x 26
P9	4,83	1,0	60,40	54,91	350	25,71	14 x 26
P10	4,83	1,0	60,40	54,91	350	25,71	14 x 26
P11	2,56	1,4	32,00	40,73	350	25,71	14 x 26
P12	2,56	1,4	32,00	40,73	350	25,71	14 x 26

Fonte: Do próprio autor.

### B.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS

Tabela 9 – Pré-dimensionamento das vigas do pavimento baldrame

VIGA	L (cm)	b (cm)	h (cm)	Seção adotada (cm)
VB1	385	20	32,08	14 x 35
VB2	385	20	32,08	14 x 35
VB3	385	20	32,08	14 x 35
VB4	385	20	32,08	14 x 35
VB5	385	20	32,08	14 x 35
VB6	392	20	32,67	14 x 35
VB7	155	20	12,92	14 x 35

VIGA	L (cm)	b (cm)	h (cm)	Seção adotada (cm)
VB8	266	20	22,17	14 x 35
VB9	392	20	32,67	14 x 35

Fonte: Do próprio autor.

Tabela 10 – Pré-dimensionamento das vigas do pavimento térreo (cobertura)

VIGA	L (cm)	b (cm)	h (cm)	Seção adotada (cm)
V1	385	14	32,08	14 x 35
V2	385	14	32,08	14 x 35
V3	385	14	32,08	14 x 35
V4	385	14	32,08	14 x 35
V5	385	14	32,08	14 x 35
V6	392	14	32,67	14 x 35
V7	155	14	12,92	14 x 35
V8	266	14	22,17	14 x 35
V9	392	14	32,67	14 x 35

Fonte: Do próprio autor.

### B.3 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LAJES

Tabela 11 – Pré-dimensionamento das lajes

LAJE	n	$l_x$ (m)	$l_y$ (m)	$0,7 \times l_y$ (m)	$l^*$ (m)	d (cm)	h (cm)	$h_{adotado}$ (m)
L1	1	3,00	3,85	2,70	2,70	6,47	8,97	10,00
L2	2	3,85	3,92	2,74	2,74	6,31	8,81	10,00
L3	2	1,55	3,20	2,24	1,55	3,57	6,07	10,00
L4	1	3,85	5,02	3,51	3,51	8,43	10,93	10,00

Fonte: Do próprio autor.

## ANEXO C

### C.1 CÁLCULO MANUAL DO PILAR P2

Do pré-dimensionamento temos o pilar P2 com seção de 14 x 26 cm, cobrimento (cob) de 2,5 cm e coeficiente acicional ( $\gamma_n$ ) igual a 1,25.

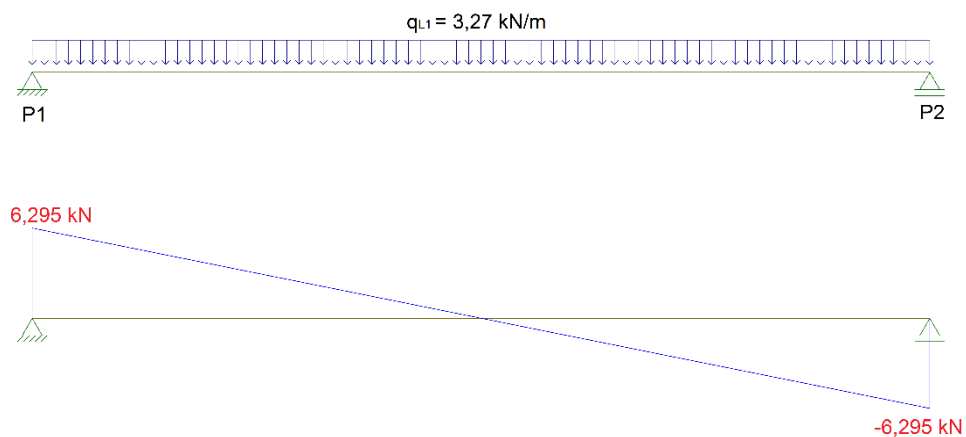
Considera-se  $h_x = 14$  cm,  $h_y = 26$  cm e  $L_{ex} = L_{ey} = 300$  cm.

#### Cargas verticais:

Para o cálculo das cargas verticais atuantes no pilar foram considerados as reações no pilar P2 nas vigas V1 e V9 e o peso próprio do pilar ( $pp_{\text{pilar}}$ ).

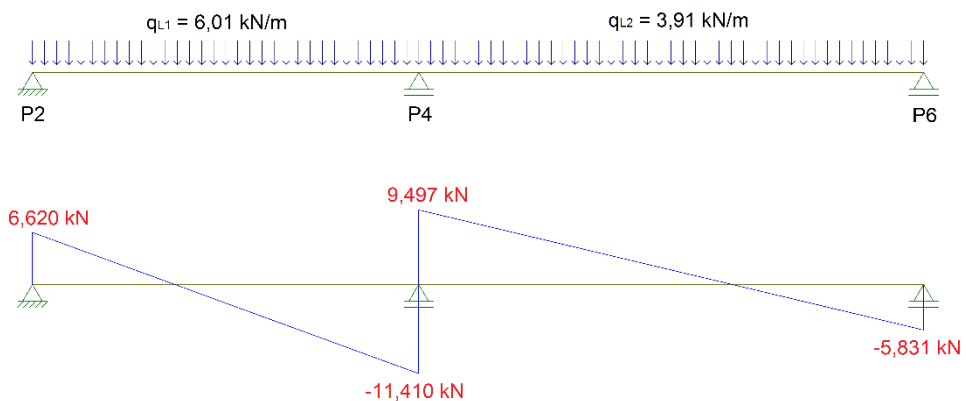
Através do gráfico da cortante é possível obter as reações no pilar P2. Na viga V1 temos  $N_{V1} = 6,295$  kN (Figura 32) e na viga V9 temos  $N_{V2} = 6,620$  kN (Figura 33).

Figura 32 – Carga distribuída e gráfico da cortante na viga V1.



Fonte: Do próprio autor.

Figura 33 – Carga distribuída e gráfico da cortante na viga V9.



Fonte: Do próprio autor.

$$pp_{laje} = \gamma_{CA} \times V = 25 \times (0,14 \times 0,26 \times 3) = 2,73 \text{ kN}$$

$$N_k = N_{V1} + N_{V2} + pp_{laje} = 15,69 \text{ kN}$$

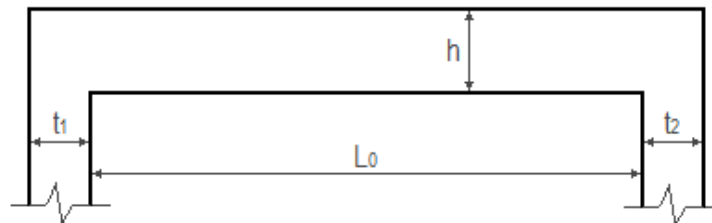
$$N_d = 1,4 \times \gamma_n \times N_k = 27,39 \text{ kN}$$

$$N_{d,min} = N_d \times 0,015 + h \times 0,03 = 1,19 \text{ kN}$$

#### Vão efetivo da viga:

O cálculo do vão efetivo ( $L_{ef}$ ) da viga, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014, é a soma de  $L_0 + a_1 + a_2$ .  $L_0$  é a distância entre os apoios,  $a_1$  é igual ao menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3 \times h$  e  $a_2$  é igual ao menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3 \times h$  (Figura 34).

Figura 34 – Vão efetivo da viga.



Fonte: Do próprio autor.

Para a V1 (direção x):

$$L_0 = 3,71 \text{ m e } a_1 = a_2 = 14/2 = 7 \text{ cm.}$$

$$L_{ef,x} = L_0 + a_1 + a_2 = 3,85 \text{ m}$$

Para a V9 (direção y):

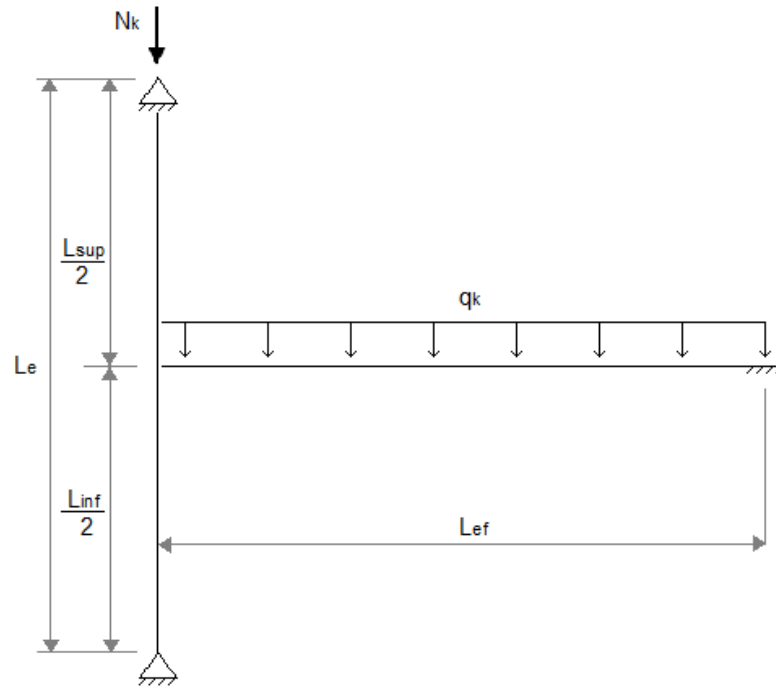
$$L_0 = 2,67 \text{ m e } a_1 = a_2 = 26/2 = 13 \text{ cm.}$$

$$L_{ef,y} = L_0 + a_1 + a_2 = 2,93 \text{ m}$$

#### Momento na ligação viga-pilar:

Para o cálculo do momento na ligação viga-pilar considera-se a figura 35.

Figura 35 – Esquema estático para o pilar.



Fonte: Do próprio autor.

Direção x:

$$r_{viga,x} = \frac{I_{viga}}{L_{ef}} = 129,92 \text{ cm}^3$$

$$\text{Com } I_{viga} = (14 \times 35^3) / 12$$

$$r_{sup,x} = r_{inf,x} = \frac{I_{pilar}}{\frac{L_e}{2}} = 68,35 \text{ cm}^3$$

$$\text{Com } I_{pilar} = (26 \times 14^3) / 12$$

$$M_{eng,x} = \frac{q_{k,x} \times L_{ef}^2}{12} = 4,04 \text{ kNm}$$

Assim:

$$M_{sup,x} = M_{eng,x} \times \frac{3 r_{sup,x}}{3 r_{sup,x} \times 3 r_{inf,x} \times 4 r_{viga,x}} = 0,89 \text{ kNm}$$

$$M_{inf,x} = M_{eng,x} \times \frac{3 r_{inf,x}}{3 r_{sup,x} \times 3 r_{inf,x} \times 4 r_{viga,x}} = 0,89 \text{ kNm}$$

Direção y:

$$r_{viga,y} = \frac{I_{viga}}{L_{ef}} = 170,72 \text{ cm}^3$$

$$\text{Com } I_{viga} = (14 \times 35^3) / 12$$

$$r_{sup,y} = r_{inf,y} = \frac{I_{pilar}}{\frac{L_e}{2}} = 136,70 \text{ cm}^3$$

$$\text{Com } I_{pilar} = (14 \times 26^3) / 12$$

$$M_{eng,y} = \frac{q_{k,y} \times L_{ef}^2}{12} = 4,30 \text{ kNm}$$

Assim:

$$M_{sup,y} = M_{eng,y} \times \frac{3 r_{sup,y}}{3 r_{sup,y} \times 3 r_{inf,y} \times 4 r_{viga,y}} = 1,61 \text{ kNm}$$

$$M_{inf,y} = M_{eng,y} \times \frac{3 r_{inf,y}}{3 r_{sup,y} \times 3 r_{inf,y} \times 4 r_{viga,y}} = 1,61 \text{ kNm}$$

#### Momento total no topo e base do pilar e momento mínimo:

Direção x:

$$M_{d,topo,x} = -M_{d,base,x} = M_{sup,x} \times 1,4 \times \gamma_n = 1,56 \text{ kNm}$$

$$M_{1d,mín,x} = N_d \times (0,015 + 0,03 h_x) = 0,53 \text{ kNm}$$

Portanto  $M_{1d,A,x} = 1,56 \text{ kNm}$ .

Direção y:

$$M_{d,topo,y} = -M_{d,base,y} = M_{sup,y} \times 1,4 \times \gamma_n = 2,82 \text{ kNm}$$

$$M_{1d,mín,y} = N_d \times (0,015 + 0,03 h_y) = 0,62 \text{ kNm}$$

Portanto  $M_{1d,A,y} = 2,22 \text{ kNm}$ .

#### Verificação da dispensa dos efeitos de 2ª ordem:

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, os efeitos de 2ª ordem podem ser desprezados se o índice de esbeltez ( $\lambda$ ) for menor que o valor limite ( $\lambda_1$ ).

$$\lambda_x = \frac{L_{e,x}}{i_x} = 74,23$$

$$\text{Com raio de giração (i) de } h_x / \sqrt{12} = 4,05 \text{ cm}^3.$$

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = 39,97$$

$$\text{Com raio de giração (i) de } h_y / \sqrt{12} = 3,75 \text{ cm}^3.$$

$$\lambda_1 = \frac{25 + 12,5 \frac{e_i}{h}}{\alpha_b} \text{ com } 35 \geq \lambda_1 \geq 90$$

A excentricidade inicial no topo e na base (ei) é igual a  $M_d / N_d$ . Portanto,  $e_{i,x} = 5,69$  cm e  $e_{i,y} = 10,31$  cm.

Para pilares biapoiados sem cargas transversais, e sendo os momentos de 1ª ordem nos extremos do pilar  $M_{A,x} = M_{B,x}$  e  $M_{A,y} = M_{B,y}$ , tem-se:

$$\alpha_b = 0,6 + 0,4 \frac{M_B}{M_A} \geq 0,4 \text{ com } 1,0 \geq \alpha_b \geq 0,4 \therefore \alpha_{b,x} = \alpha_{b,y} = 1,0$$

Como  $\lambda_{1,x} = 30,08$  e  $\lambda_{1,y} = 29,96$  adota-se o valor limite de 35 que é menor que o índice de esbelteza, portanto devem ser considerados os efeitos de 2ª ordem.

#### Método da curva aproximada:

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 a curvatura da seção crítica ( $1/r$ ) deve respeitar a seguinte condição:

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h \times (v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

A força normal adimensional ( $v$ ) na direção x e y é:

$$v = \frac{N_d}{b \times h \times f_{cd}} = 0,04$$

$$\text{Com } f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 1,79 \text{ kN/cm}^2.$$

Na direção x:

$$(1/r)_x = 0,0659 \geq 0,0357, \text{ adota-se } 0,0357.$$

$$M_{d,total,x} = \alpha_{b,x} \times M_{1d,A,x} + N_d \times \frac{L_e^2}{10} \times \frac{1}{r} = 2,44 \text{ kNm}$$

$$e_{total,x} = \frac{M_{d,total,x}}{N_d} = 8,91 \text{ cm}$$

$$\mu_x = \frac{v \times e_{total,x}}{h} = 0,03$$

Utilizando-se o ábaco de Venturi (1987), com  $d'/h = 0,57$  obtém-se  $\omega = 0$  e adota-se a armadura mínima na direção x.

Na direção y:

$$(1/r)_y = 0,0355 \leq 0,0357, \text{ adota-se } 0,0335.$$

$$M_{d,total,y} = \alpha_{b,y} \times M_{1d,A,y} + N_d \times \frac{L_e^2}{10} \times \frac{1}{r} = 3,70 \text{ kNm}$$

$$e_{total,y} = \frac{M_{d,total,y}}{N_d} = 13,50 \text{ cm}$$

$$\mu_y = \frac{v \times e_{total,y}}{h} = 0,02$$

Utilizando-se o ábaco de Venturi (1987), com  $d'/h = 0,31$  obtém-se  $\omega = 0$  e adota-se a armadura mínima na direção y.

Determinação da armadura longitudinal:

Segundo a ABNT NBR 6118:2014 a armadura longitudinal mínima deve respeitar a seguinte condição:

$$A_{s,min} = \frac{0,15 \times N_d}{f_{cd}} \geq 0,004 \times A_c$$

$$A_{s,min,x} = A_{s,min,y} = 0,09 \text{ cm}^2 \leq 1,46 \text{ cm}^2, \text{ então adota-se } 1,46 \text{ cm}^2.$$

$$\rho_{min} = \frac{A_{s,min}}{A_c} = 0,40\%$$

Para  $\phi$  10,0 mm:

Na direção x:

$$A_{1\phi 10,0} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,min}}{A_{1\phi 10,0}} = 1,85 = 2 \text{ barras}$$

Na direção y:

$$A_{1\phi 10,0} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,min}}{A_{1\phi 10,0}} = 1,85 = 2 \text{ barras}$$

A armadura adotada para o pilar P2 é de 4 barras de  $\phi$  10,0 mm.

Determinação da armadura transversal:

Segundo a ABNT NBR 6118, o diâmetro dos estribos nos pilares não deve ser inferior a 5 mm nem a 1/4 do diâmetro da barra isolada ou do diâmetro equivalente do feixe que constitui a armadura longitudinal. O espaçamento longitudinal entre estribos deve ser igual ou inferior a 20 cm, ou menor dimensão da seção do pilar, ou 24  $\phi$  para CA-25, 12  $\phi$  para CA-50.

$$\phi_t \geq \begin{cases} 5 \text{ mm} \\ \frac{1}{4} \phi_l = 2,5 \text{ mm} \end{cases} \quad S \leq \begin{cases} 20 \text{ cm} \\ 14 \text{ cm} \\ 12 \phi_l = 12 \text{ cm} \end{cases}$$

Assim adota-se um estribo de  $\phi$  5 mm espaçado a cada 12 cm.

## C.2 CÁLCULO MANUAL DA VIGA V1

Do pré-dimensionamento temos a viga V1 com seção transversal de 14 x 35 cm e cobrimento (cob) igual a 3 cm.

### Carregamentos ( $q_d$ ):

Para o cálculo dos carregamentos na viga, foram considerados o peso próprio da viga ( $pp_{viga}$ ) e a reação da laje L1 na viga V1, sendo esta última, calculada através da tabela de Czerny – método das reações das placas. Como trata-se de uma residência térrea, desconsiderou-se o peso de parede na viga e na laje.

$$pp_{viga} = \gamma_{CA} \times A = 25 \times (0,14 \times 0,35) = 1,23 \text{ kN/m}$$

Antes de utilizar a tabela, calcula-se a carga atuante (P) na laje L1 com altura (h) de 10 cm. Na laje foi considerando a sobrecarga de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, o revestimento de 0,75 kN/m<sup>2</sup> e o peso próprio da laje ( $pp_{laje}$ ).

$$pp_{laje} = \gamma_{CA} \times h = 25 \times 0,10 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$P = sob + rev + pp_{laje} = 4,75 \text{ kN/m}^2$$

Da tabela de Czerny temos para a laje L1:

$$l_y = 3,85 \text{ m}$$

$$l_x = 3,00 \text{ m}$$

$$P = 4,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\beta_2 = 0,1434 \quad \dots \quad R_{y2} = \beta_2 \times P \times l_x = 2,04 \text{ kN/m}$$

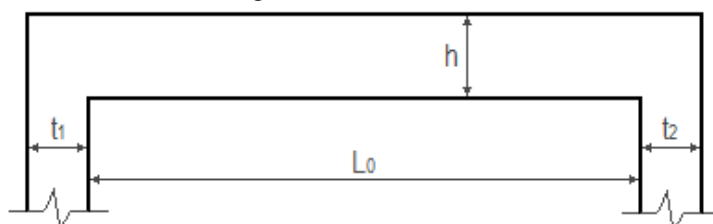
Assim,

$$q_d = pp_{viga} + R_{y2} = 3,27 \text{ kN/m}$$

### Vão Efetivo ( $L_{ef}$ ):

De acordo com a ABNT NBR 6118:2014 considera-se para o cálculo do vão efetivo ( $L_{ef}$ ) da viga (Figura 36):

Figura 36 – Vão efetivo.



Fonte: Do próprio autor.

$L_0$  é a distância entre os apoios (pilares) que é igual a 3,71 m,  $a_1$  é igual ao menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3h$  e  $a_2$  é igual ao menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3h$ . Nesse caso  $a_1 = a_2 = 14/2 = 7$  cm.

$$L_{ef} = L_0 + a_1 + a_2 = 3,85 \text{ m}$$

#### DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA LONGITUDINAL

$$M_k = \frac{q_d \times L_{ef}^2}{8} = 6,06 \text{ kNm}$$

$$M_d = 1,4 \times M_k = 8,48 \text{ kNm}$$

$$k_c = \frac{M_d}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} = 0,0003$$

$$\text{Com } d = 0,9 h = 31,5 \text{ cm e } f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 1,79 \text{ kN/cm}^2.$$

$$k_x = 1,25 - \sqrt{1,5625 - 3,6765 k_c} = 0,0005$$

Como  $k_x$  é menor que  $k_{x,lim} = 0,772$ , classifica-se a seção como sub-armada.

$$k_s = \frac{1}{1 - 0,4 k_x} = 1,0002$$

Como o  $f_{ck}$  é 25 Mpa, a taxa mínima ( $\rho_{s,mín}$ ) de armadura de flexão para vigas é de 0.15%.

$$A_{s,mín} = \rho_{s,mín} \times b_w \times h = 0,74 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \frac{k_s \times M_d}{d \times f_{yd}} = 0,62 \text{ cm}^2$$

$$\text{Com } f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\therefore A_{s,adotado} = 0,74 \text{ kNcm}$$

Para  $\phi$  8,0 mm – ( $\phi_l = 0,8$  cm):

$$A_{1\phi 8,0} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,503 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{1\phi 8,0}} = 1,46 = 2 \text{ barras}$$

$$e_h \geq \begin{cases} 1,2 \times \phi_{ag} = 2,28 \text{ cm} \\ \phi_l = 0,8 \text{ cm} \\ \text{mínimo} = 2 \text{ cm} \end{cases} \therefore e_h = 2,28 \text{ cm}$$

Com diâmetro do agregado ( $\phi_{ag}$ ) igual a 1,9 cm.

$$n_{máx/cam} = \frac{b_w - 2(cob + \phi_t) + e_h}{\phi_e + e_h} = 3,01 = 3 \text{ barras/camada}$$

Com diâmetro da armadura transversal ( $\phi_t$ ) igual a 0,5 cm.

Como o número de barras ( $n$ ) é igual a 2 e o número máximo de barras por camada ( $n_{\text{máx/cam}}$ ) é igual a 3, temos 1 camada ( $n_{\text{cam}}$ ) com  $2 \phi 8$  mm.

$$e_v \geq \begin{cases} 0,5 \times \phi_{ag} = 0,95 \text{ cm} \\ \phi_l = 0,8 \text{ cm} \\ \text{mínimo} = 2 \text{ cm} \end{cases} \quad \therefore e_v = 2 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = \frac{n_{\text{cam}} \times \phi_e + (n_{\text{cam}} - 1)e_v}{2} = 0,4 \text{ cm}$$

Como  $\bar{y}$  é menor que  $0,1h$  (3,5 cm) a carga é distribuída igualmente em todas as barras.

$$d_{\text{real}} = h - (\bar{y} + \text{cob} + \phi_t) = 31,10 \text{ cm}$$

Verificação para  $d_{\text{real}}$ :

$$k_{c,\text{calc}} = 0,0003$$

$$k_{x,\text{calc}} = 0,0005$$

$$k_{s,\text{calc}} = 1,0002$$

$$A_s = 0,63 \text{ cm}^2$$

$$A_s \leq A_{s,\text{mín}} \therefore A_{s,\text{adotado}} = A_{s,\text{mín}} = 0,74 \text{ cm}^2$$

$$A_{1\phi 8} = 0,503 \text{ cm}^2$$

$$n = 1,25 = 2 \text{ barras}$$

Assim a armadura longitudinal da viga V1 é de 2 barras  $\phi 8$  com  $A_s = 0,74 \text{ cm}^2$ .

## DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA TRANSVERSAL

O dimensionamento da armadura transversal foi feito pelo modelo de calculo I da NBR 6118.

$$V_d = \frac{q_d \times L_{ef}}{2} = 6,29 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = V_d = 6,29 \text{ kN}$$

$$V_{Rd2} = 0,27 \times \alpha_v \times f_{cd} \times b_w \times d = 188,93 \text{ kN}$$

$$\text{Com } \alpha_v = 1 - (f_{ck}/250) = 0,9 \text{ e } f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 1,79 \text{ kN/cm}^2.$$

Como  $V_{Sd}$  é menor que  $V_{Rd2}$ , a barra está comprimida.

$$f_{ctd} = 0,15 \times f_{ck}^{\frac{2}{3}} = 1,28 \text{ MPa} = 0,128 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_c = 0,6 \times f_{ctd} \times b_w \times d = 33,50 \text{ kN}$$

$$V_{Sw} = V_{Sd} - V_c = -27,21 \text{ kN} \therefore \text{a armadura é mínima.}$$

Como  $V_{Sd}$  é menor que  $V_c$ , a armadura é mínima.

$$\rho_{sw,min} = 0,06 \times \frac{f_{ck}^{\frac{2}{3}}}{f_{yk}} = 0,001$$

$$A_{sw/s,min} = \rho_{sw,min} \times b_w = 1,44 \text{ cm}^2/m$$

Para  $\phi$  5,0 mm – ( $\phi_t = 0,5$  cm):

$$n^\circ \text{ ramos} = 2$$

$$S = \left[ \frac{A_{sw/s} \times \frac{100}{n^\circ \text{ ramos}}}{\frac{A_{1\phi 5,0}}{100}} \right]^{-1} = 27,34$$

Segundo a NBR 6118:2014, o espaçamento máximo deve atender as seguintes condições:

$$\text{Se } \frac{V_{sd}}{V_{Rd2}} \leq 0,67 \dots S_{m\acute{a}x} = 0,6 \times d \leq 30 \text{ cm}$$

$$\text{Se } \frac{V_{sd}}{V_{Rd2}} > 0,67 \dots S_{m\acute{a}x} = 0,3 \times d \leq 20 \text{ cm}$$

Assim,

$$\frac{V_{sd}}{V_{Rd2}} = 0,04 \leq 0,67 \dots S_{m\acute{a}x} = 18,66 \leq 30 \text{ cm}$$

Portanto o espaçamento adotado ( $S_{adot}$ ) é igual a 18 cm.

$$Ne = \frac{l_0}{S_{adot}} = 20,61 = 21 \text{ estribos}$$

A armadura transversal da viga V1 é composta de 21 estribos de  $\phi$  5,0 a cada 18 cm.

### C.3 CÁLCULO MANUAL DA LAJE L1

Do pré-dimensionamento temos a laje L1 com 10 cm de altura e cobrimento (cob) igual a 2,5 cm.

#### Carga atuante (P):

Foi considerando a sobrecarga de 1,5 kN/m<sup>2</sup>, o revestimento de 0,75 kN/m<sup>2</sup> e o peso próprio da laje ( $pp_{laje}$ ). Como trata-se de uma residência térrea, desconsiderou-se o peso de parede na laje.

$$pp_{laje} = \gamma_{CA} \times h = 25 \times 0,10 = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$P = sob + rev + pp_{laje} = 4,75 \text{ kN/m}^2$$

Momentos fletores (M):

Os momentos positivos e negativos da laje, armada em duas direções, foram calculados através da tabela de Czerny.

Para L1:

$$l_y = 3,85 \text{ m}$$

$$l_x = 3,00 \text{ m}$$

$$P = 4,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha_x = 20,98 \quad \dots \quad m_x = \frac{P \times l_x^2}{\alpha_x} = 2,04 \text{ kNm/m}$$

$$\alpha_y = 35,32 \quad \dots \quad m_y = \frac{P \times l_x^2}{\alpha_y} = 1,21 \text{ kNm/m}$$

$$\beta_x = 9,78 \quad \dots \quad mb_x = \frac{P \times l_x^2}{\beta_x} = 4,37 \text{ kNm/m}$$

$$\beta_y = 0,00 \quad \dots \quad mb_y = \frac{P \times l_x^2}{\beta_y} = 0,00 \text{ kNm/m}$$

Para L2:

$$l_y = 3,95 \text{ m}$$

$$l_x = 3,85 \text{ m}$$

$$P = 4,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha_x = 43,62 \quad \dots \quad m_x = \frac{P \times l_x^2}{\alpha_x} = 1,61 \text{ kNm/m}$$

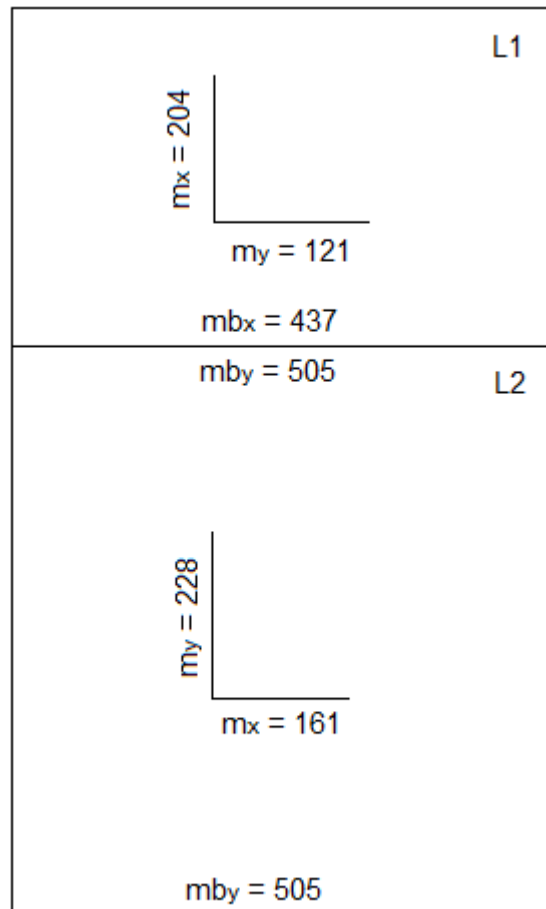
$$\alpha_y = 30,88 \quad \dots \quad m_y = \frac{P \times l_x^2}{\alpha_y} = 2,28 \text{ kNm/m}$$

$$\beta_x = 0,00 \quad \dots \quad mb_x = \frac{P \times l_x^2}{\beta_x} = 0,00 \text{ kNm/m}$$

$$\beta_y = 13,94 \quad \dots \quad mb_y = \frac{P \times l_x^2}{\beta_y} = 5,05 \text{ kNm/m}$$

Os momentos fletores calculados na laje L1 e L2 estão representados na Figura 37.

Figura 37 – Momentos fletores nas lajes L1 e L2.



OBS: Valores em kNcm/m

Fonte: Do próprio autor.

Correção dos momentos fletores:

Momentos negativos nas bordas ( $m_{b_{cor}}$ ) comum às duas lajes, ou seja na viga V2:

$$m_{b_{cor}} \geq \begin{cases} 0,8 \times m_{b_{maior}} = 404 \\ \frac{m_{b_i} + m_{b_j}}{2} = 471 \end{cases} \therefore 471 \text{ kNcm/m}$$

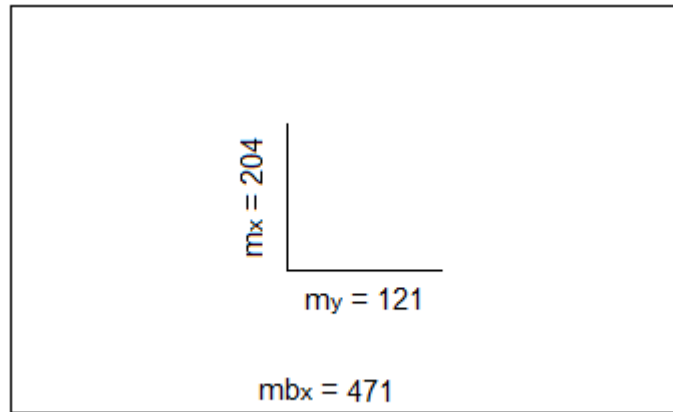
Momentos positivos ( $m_{cor}$ ) nos centros da laje L1:

$$m_{cor} \geq m + \frac{m_b - m_{b_{cor}}}{2} = 188 \text{ kNcm/m}$$

Como  $m_{cor}$  (188 kNcm/m) é menor que  $m$  (204 kNcm/m) não corrige os momentos positivos.

Os momentos fletores corrigidos na laje L1 estão representados na Figura 38.

Figura 38 – Momentos fletores corrigidos na laje L1.



OBS: Valores em kNcm/m

Fonte: Do próprio autor.

### Área das armaduras das lajes

O dimensionamento da laje é feito semelhante ao dimensionamento da viga, colocando-se a largura  $b_w$  igual a 100 cm.

Antes de dimensionar as armaduras, é interessante obter o momento que corresponde à área mínima da armadura e o espaçamento máximo entre as barras.

Como o  $f_{ck}$  é 25 Mpa, a taxa mínima ( $\rho_{s,mín}$ ) de armadura de flexão para vigas é de 0.15%.

a) Para  $\phi$  6,3 (armadura positiva – eixo x):

$$A_{s,mín} = \rho_{s,mín} \times b_w \times h = 1,50 \text{ cm}^2/m$$

$$A_{1\phi 6,3} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,312 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,mín}}{A_{1\phi 6,3}} = 4,81 = 5 \text{ barras/m}$$

De acordo com a NBR 6118:2014, as barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a  $2h$  ou 20 cm, prevalecendo o menor destes valores. Assim  $S_{máx} = 2 \times 20 = 20$  cm.

$$S = \frac{100}{n} = 20 \text{ cm}$$

$$A_s = A_{1\phi 6,3} \times n = 1,5586 \text{ cm}^2$$

Para as lajes com  $h = 10$  cm, o momento mínimo que fornece a área de 1,5586 cm é:

$$M_{k,mín} = 336,98 \text{ kNcm/m}$$

$$M_d = 1,4 \times M_{k,mín} = 471,77 \text{ kNcm}$$

$$k_c = \frac{M_d}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} = 0,051$$

$$\text{Com } d = h - \text{cob} - \phi/2 = 10 - 2,5 - 0,63/2 = 7,19 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 1,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_x = 1,25 - \sqrt{1,5625 - 3,6765 k_c} = 0,078$$

$$k_s = \frac{1}{1 - 0,4 k_x} = 1,032$$

$$A_s = \frac{k_s \times M_d}{d \times f_{yd}} = 1,5586 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Com } f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2.$$

Como o momento é menor que  $M_{k,\text{mín}}$ , no eixo x a armadura positiva da laje L1 (em 1 m) é de 5 barras de  $\phi 6,3$  a cada 20 cm.

b) Para  $\phi 5,0$  (armadura positiva - eixo y):

$$A_{s,\text{mín}} = \rho_{s,\text{mín}} \times b_w \times h = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{1\phi 5,0} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,196 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_{s,\text{mín}}}{A_{1\phi 5,0}} = 7,64 = 8 \text{ barras/m}$$

De acordo com a NBR 6118:2014, as barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a  $2h$  ou 20 cm, prevalecendo o menor destes valores. Assim  $S_{\text{máx}} = 2 \times 20 = 20 \text{ cm}$ .

$$S = \frac{100}{n} = 12,5 = 12 \text{ cm}$$

$$A_s = A_{1\phi 6,3} \times n = 1,5708 \text{ cm}$$

Para as lajes com  $h = 10 \text{ cm}$ , o momento mínimo que fornece a área de 1,5708 cm é:

$$M_{k,\text{mín}} = 339,53 \text{ kNcm/m}$$

$$M_d = 1,4 \times M_{k,\text{mín}} = 475,34 \text{ kNcm}$$

$$k_c = \frac{M_d}{b_w \times d^2 \times f_{cd}} = 0,052$$

$$\text{Com } d = h - \text{cob} - \phi/2 = 10 - 2,5 - 0,5/2 = 7,25 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 1,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_x = 1,25 - \sqrt{1,5625 - 3,6765 k_c} = 0,078$$

$$k_s = \frac{1}{1 - 0,4 k_x} = 1,032$$

$$A_s = \frac{k_s \times M_d}{d \times f_{yd}} = 1,5708 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Com } f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2.$$

Como o momento é menor que  $M_{k,\min}$ , no eixo y a armadura positiva da laje L1 (em 1 m) é de 8 barras de  $\phi 5,0$  a cada 12 cm.

c) Para  $\phi 6,3$  (armadura negativa – eixo y):

Como o momento é maior que  $M_{k,\min}$ , dimensiona a armadura para  $M_k = 471 \text{ kNcm}$ .

$$M_k = 471 \text{ kNcm/m}$$

$$M_d = 1,4 \times M_k = 659,40 \text{ kNcm}$$

$$k_c = \frac{M_d}{bw \times d^2 \times f_{cd}} = 0,072$$

$$\text{Com } d = h - \text{cob} - \phi/2 = 10 - 2,5 - 0,63/2 = 7,19 \text{ cm}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / 1,4 = 1,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_x = 1,25 - \sqrt{1,5625 - 3,6765 k_c} = 0,110$$

$$k_s = \frac{1}{1 - 0,4 k_x} = 1,046$$

$$A_s = \frac{k_s \times M_d}{d \times f_{yd}} = 2,2080 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Com } f_{yd} = f_{yk} / 1,15 = 43,48 \text{ kN/cm}^2.$$

$$A_{1\phi 6,3} = \frac{\pi D^2}{4} = 0,312 \text{ cm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{A_{1\phi 6,3}} = 7,08 = 8 \text{ barras/m}$$

De acordo com a NBR 6118:2014, as barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a  $2h$  ou 20 cm, prevalecendo o menor destes valores. Assim  $S_{\max} = 2 \times 20 = 20 \text{ cm}$ .

$$S = \frac{100}{n} = 12,5 = 12 \text{ cm}$$

Assim, no eixo y a armadura negativa na borda da laje L1/L2 (em 1 m) é de 8 barras de  $\phi 6,3$  a cada 12 cm.