

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Balthazar Netz Sieczkowski**

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO:  
VERIFICAÇÃO DE PILARES POR MEIO DE PROGRAMA  
COMPUTACIONAL**

Porto Alegre  
dezembro 2012

**Balthazar Netz Sieczkowski**

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO:  
VERIFICAÇÃO DE PILARES POR MEIO DE PROGRAMA  
COMPUTACIONAL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Américo Campos Filho**  
**Coorientador: Alexandre Rodrigues Pacheco**

Porto Alegre  
dezembro 2012

**Balthazar Netz Sieczkowski**

**ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO:  
VERIFICAÇÃO DE PILARES POR MEIO DE PROGRAMA  
COMPUTACIONAL**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 10 de dezembro de 2012

Prof. Américo Campos Filho  
Dr. pela EPUSP  
Orientador

Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)  
Ph.D. pela Pennsylvania State University  
Coorientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)**  
Dr. pela UFRGS

**Prof. Inácio Benvegno Morsch (UFRGS)**  
Dr. pelo PPGEC/UFRGS

**Prof. Américo Campos Filho (UFRGS)**  
Dr. pela EPUSP

**Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco (UFRGS)**  
Ph.D. pela Pennsylvania State University

Dedico este trabalho a meus pais, João e Sônia, e aos meus amigos que me apoiaram durante o período de graduação.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos Professores Américo Campos Filho e Alexandre Rodrigues Pacheco pelo apoio e auxílio prestado durante a realização deste trabalho.

Agradeço a Professora Carin Maria Schmitt pela sua visão crítica e o constante acompanhamento do desenvolvimento deste trabalho de conclusão.

Agradeço a EML Engenharia pelo aprendizado proporcionado e pela possibilidade de crescimento profissional.

Agradeço a minha namorada Adriana Vicente Moraes pela compreensão e apoio durante o período do trabalho de conclusão.

Agradeço aos meus pais por terem me proporcionado condições para estudar em uma das melhores universidades do País.

De longe, o maior prêmio que a vida oferece é a chance de  
trabalhar muito e se dedicar a algo que valha a pena.

*Theodore Roosevelt*

## RESUMO

O surgimento das estruturas mistas relaciona-se diretamente às primeiras tentativas de proteger os perfis metálicos utilizados na construção civil frente aos efeitos decorrentes de incêndio e corrosão. Com o intuito de melhorar o desempenho dos elementos de aço nestas situações e na falta de materiais mais apropriados à época, começou-se a utilizar concreto não armado como revestimento de proteção, entretanto sem se considerar o incremento de resistência que o concreto poderia dar às seções. Foi natural, posteriormente, evoluir-se para utilização do concreto armado junto dos perfis de aço nos elementos estruturais. Estruturas mistas são fruto da associação de perfis metálicos e concreto estrutural, formando pilares, vigas e lajes. Estes dois materiais distintos devem se deformar conjuntamente, de maneira que possa ser considerada a sua resistência conjunta. Para tanto, certas condições de aderência devem ser satisfeitas. Com o avanço das pesquisas em estruturas mistas, surgiram modelos de cálculo que estimam de forma satisfatória a resistência dos elementos mistos. Destacam-se o Eurocode 4:2004 e o AISC 360:2005 como principais Normas de referência na elaboração de quatro dos anexos da NBR 8800:2008, cujo escopo é o dimensionamento de estruturas mistas de aço e concreto. Este trabalho tem por objetivo a elaboração de um programa computacional para verificar, no Estado Limite Último, pilares mistos de aço e concreto, submetidos a esforços de compressão simples e a flexo-compressão, seguindo as recomendações do anexo P da NBR 8800:2008. Para a elaboração do programa, primeiramente, foi feita uma pesquisa bibliográfica quando foram levantados os dados necessários para verificação dos pilares. Posteriormente foi desenvolvido o algoritmo computacional que foi implementado em Microsoft Visual Basic. A validação dos resultados do programa foi feita por meio de comparações com resultados de exemplos encontrados na bibliografia.

Palavras-chave: NBR 8800:2008 anexo P. Pilares mistos de aço e concreto. Verificação de pilares mistos à flexo-compressão.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de pesquisa.....	21
Figura 2 – Tipos de seção de pilares mistos contempladas pela NBR 8800.....	22
Figura 3 – Execução de pilares mistos parcialmente revestidos.....	24
Figura 4 – Comportamento misto aço e concreto em vigas.....	26
Figura 5 – Curva de flambagem das Normas AISC 360:2005 e NBR 8800:2008.....	32
Figura 6 – Coeficiente de Flambagem K.....	35
Figura 7 – Seção I ou H revestida de concreto fletida em relação ao eixo x.....	42
Figura 8 – Seção I ou H revestida de concreto fletida em relação ao eixo y.....	45
Figura 9 – Seção tubular preenchida com concreto.....	48
Figura 10 – Curva de interação modelo I.....	51
Figura 11 – Curva de interação modelo II.....	52
Figura 12 – Forças de atrito adicionais devido aos conectores de pino com cabeça.....	60
Figura 13 – Tela inicial do programa.....	66
Figura 14 – Tela seção mista tipo A.....	66
Figura 15 – Agrupamento: dados da seção.....	67
Figura 16 – Agrupamento: comprimento de flambagem.....	67
Figura 17 – Agrupamento: materiais.....	68
Figura 18 – Agrupamento: solicitações.....	68
Figura 19 – Agrupamento: verificações de aplicabilidade.....	69
Figura 20 – Resultados de uma verificação não satisfatória.....	70
Figura 21 – Resultados de uma verificação para uma seção tipo A.....	71



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classe de agressividade ambiental.....	30
---	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento mínimo de armadura.....	31
Tabela 2 – Coeficientes de minoração de resistência, $\gamma_m$ .....	38
Tabela 3 – Tensão de cisalhamento resistente de cálculo.....	58
Tabela 4 – Dimensões da seção transversal dos pilares do exemplo 1.....	72
Tabela 5 – Resultados do exemplo 1.....	73
Tabela 6 – Resultados do exemplo 2.....	73
Tabela 7 – Resultados do exemplo 3.....	74

## LISTA DE SÍMBOLOS

$d$  – diâmetro externo do perfil tubular (cm);

$t$  – espessura do perfil tubular (cm);

$E_a$  – módulo de elasticidade do perfil de aço ( $\text{kN/cm}^2$ );

$f_y$  – tensão de escoamento característica do perfil de aço ( $\text{kN/cm}^2$ );

$b_i$  – maior dimensão paralela a um eixo de simetria da seção tubular retangular (cm);

$b_f$  – comprimento da mesa do perfil I ou H (cm);

$t_f$  – espessura da mesa do perfil I ou H (cm);

$N_{Rd}$  – resistência axial de compressão de cálculo da seção transversal do pilar (kN);

$\chi$  – fator de redução devido à flambagem global (adimensional);

$N_{pl,Rd}$  – força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total da seção (kN);

$\lambda_{0,m}$  – índice de esbeltez reduzido ou relativa (adimensional);

$N_{pl,R}$  – força axial de compressão resistente característica à plastificação total da seção (kN);

$N_e$  – força axial de flambagem elástica (kN);

$A_a$  – área da seção transversal do perfil de aço ( $\text{cm}^2$ );

$\alpha$  – coeficiente igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (adimensional);

$f_{ck}$  – resistência característica do concreto ( $\text{kN/cm}^2$ );

$A_c$  – área da seção transversal do concreto não fissurado ( $\text{cm}^2$ );

$f_{ys}$  – tensão de escoamento característica da armadura longitudinal ( $\text{kN/cm}^2$ );

$A_s$  – área da seção transversal da armadura longitudinal ( $\text{cm}^2$ );

$KL$  – comprimento de flambagem do pilar (cm);

$(EI)_e$  – rigidez efetiva à flexão da seção transversal mista (kN.cm<sup>2</sup>);

$I_a$  – momento de inércia da seção transversal do perfil de aço (cm<sup>4</sup>);

$E_{c,red}$  – módulo de elasticidade reduzido do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$I_c$  – momento de inércia da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>4</sup>);

$E_s$  – módulo de elasticidade da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$I_s$  – momento de inércia da seção transversal da armadura do concreto (cm<sup>4</sup>);

$E_c$  – módulo de elasticidade do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$\varphi$  – coeficiente de fluência do concreto, simplificadoamente igual a 2,5 nas seções total e parcialmente revestida, e igual a zero nas seções tubulares preenchidas (adimensional);

$N_{Sd}$  – força axial solicitante de cálculo (kN);

$N_{G,Sd}$  – representa parte da força axial solicitante de cálculo devida ao carregamento permanente e ao carregamento devido ao uso de atuação quase permanente (kN);

— – simplificadoamente é tomado igual a 0,6 (adimensional);

$N_{pl,a,Rd}$  – força axial resistente de cálculo à plastificação do perfil de aço (kN);

$N_{pl,c,Rd}$  – força axial resistente de cálculo à plastificação do concreto (kN);

$N_{pl,s,Rd}$  – força axial resistente de cálculo à plastificação da armadura longitudinal (kN);

$f_{yd}$  – tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{cd}$  – resistência de cálculo do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{sd}$  – tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_k$  – resistência característica inferior (kN/cm<sup>2</sup>);

$\gamma_m$  – coeficiente de ponderação das resistências (adimensional);

$\eta_a$  – fator de redução da resistência do perfil de aço devido ao efeito de confinamento (adimensional);

$\eta_c$  – fator de majoração da resistência do concreto devido ao efeito de confinamento (adimensional);

$M_{Sd,max}$  – momento solicitante de cálculo máximo (kN.cm);

$e$  – excentricidade do carregamento (cm);

$Z_s$  – módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal (cm<sup>3</sup>);

$A_{si}$  – área de uma barra da armadura longitudinal (cm<sup>2</sup>);

$e_i$  – distância do centro de uma barra da armadura longitudinal até um eixo de simetria da seção (cm);

$Z_c$  – módulo de resistência plástico da seção de concreto, considerado não fissurado (cm<sup>3</sup>);

$b_c$  – dimensão externa do pilar revestido (cm);

$h_c$  – dimensão externa do pilar revestido (cm);

$Z_a$  – módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço (cm<sup>3</sup>);

$h_n$  – altura da linha neutra na seção (cm);

$f_{cd1}$  – igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (kN/cm<sup>2</sup>);

$t_w$  – espessura da alma do perfil de aço (cm);

$Z_{an}$  – módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço em relação a linha neutra (cm<sup>3</sup>);

$Z_{sn}$  – módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal em relação a linha neutra (cm<sup>3</sup>);

$A_{sni}$  – área de cada uma das barras da armadura na região  $2h_n$  (cm);

$e_{yi}$  – distância do centro de uma barra da armadura longitudinal ao eixo x, origem dos eixos coordenados é coincidente com o centro geométrico do perfil de aço (cm);

$Z_{cn}$  – módulo de resistência plástico da seção de concreto, considerado não fissurado, em relação a linha neutra ( $\text{cm}^3$ );

$A_{sn}$  – soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  ( $\text{cm}^2$ );

$e_{xi}$  – distância do centro de uma barra da armadura longitudinal ao eixo  $y$ , origem dos eixos coordenados é coincidente com o centro geométrico do perfil de aço ( $\text{cm}$ );

$b_1$  e  $b_2$  – respectivamente maior e menor dimensão externa da seção tubular retangular ( $\text{cm}$ );

$r$  – raio de curvatura interno dos vértices curvos do perfil metálico tubular retangular ( $\text{cm}$ );

$M_{pl,Rd}$  – momento fletor resistente à plastificação de cálculo ( $\text{kN.cm}$ );

$M_{x,Sd}$  e  $M_{y,Sd}$  – momento fletor solicitante de cálculo em relação aos eixos  $x$  e  $y$  ( $\text{kN.cm}$ );

$M_{pl,x,Rd}$  e  $M_{pl,y,Rd}$  – momento fletor resistente à plastificação de cálculo em relação aos eixos  $x$  e  $y$  ( $\text{kN.cm}$ );

$M_{c,x}$  e  $M_{c,y}$  – 90% do momento fletor resistente à plastificação de cálculo em relação aos eixos  $x$  e  $y$  ( $\text{kN.cm}$ );

$M_{d,x}$  e  $M_{d,y}$  – 80% do momento resistente à plastificação de cálculo máximo em relação aos eixos  $x$  e  $y$  ( $\text{kN.cm}$ );

$M_{x,i,Sd}$  e  $M_{y,i,Sd}$  – momento fletor devido as imperfeições ao longo do pilar em relação aos eixos  $x$  e  $y$  ( $\text{kN.cm}$ );

$L_x$  e  $L_y$  – comprimento de flambagem do pilar à flexão em relação aos eixo  $x$  e  $y$  ( $\text{cm}$ );

$M_{x,tot,Sd}$  e  $M_{y,tot,Sd}$  – momento fletor solicitante de cálculo total em relação aos eixos  $x$  e  $y$  ( $\text{kN.cm}$ );

$V_{1,Sd}$  – força cortante atuante na região de aplicação de carga ( $\text{kN}$ );

$M_{l,Sd}$  – momento fletor atuante na região de aplicação de carga ( $\text{kN.cm}$ );

$V_{Sd}$  – força cortante solicitante de cálculo ( $\text{kN}$ );

$M_{pl,a,Rd}$  – contribuição devido ao perfil de aço ao momento fletor resistente à plastificação de cálculo de cálculo (kN.cm);

$\beta_c$  – fator de ampliação da tensão resistente ao cisalhamento (adimensional);

$C_y$  – cobrimento do perfil de aço conforme a figura 2(a) (mm);

$Q_{Rd}$  – é a força resistente de cálculo de um pino (kN);

$A_{cs}$  – área da seção transversal do conector ( $cm^2$ );

$\gamma_{cs}$  – coeficiente de ponderação da resistência do conector igual a 1,25 (adimensional);

$R_g$  – coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores por segurança igual a 0,7 (adimensional);

$R_p$  – coeficiente para consideração da posição do conector tomado igual a 0,6 por questões de segurança (adimensional);

$f_{ucs}$  – tensão última à ruptura do aço do conector ( $kN/cm^2$ );

$\mu$  – é o coeficiente de atrito igual a 0,5 para perfis de aço sem pintura (adimensional);

$V_{Rd}$  – força resistente ao esforço cortante (kN);

$\lambda_p$  – parâmetro de esbeltez limite do regime de plastificação (adimensional);

$\lambda_r$  – parâmetro de esbeltez limite do regime inelástico (adimensional);

$V_{pl}$  – força cortante resistente à plastificação (kN);

$A_w$  – área efetiva ao cisalhamento ( $cm^2$ );

$L_v$  – distância entre as seções de força cortante máxima e nula (cm);

$t_d$  – espessura de cálculo da parede do tubo (cm).

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....</b>	<b>19</b>
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	19
<b>2.2.1 Objetivo principal.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.2 Objetivos secundários.....</b>	<b>19</b>
2.3 PRESSUPOSTO.....	20
2.4 DELIMITAÇÃO.....	20
2.5 LIMITAÇÕES.....	20
2.6 DELINEAMENTO.....	20
<b>3 ESTRUTURAS MISTAS.....</b>	<b>22</b>
3.1 PILARES REVESTIDOS.....	23
3.2 PILARES PARCIALMENTE REVESTIDOS.....	24
3.3 PILARES PREENCHIDOS.....	25
3.4 COMPORTAMENTO CONJUNTO: AÇO E CONCRETO.....	25
<b>4 PILARES MISTOS: VERIFICAÇÕES.....</b>	<b>27</b>
4.1 APLICABILIDADE DO MÉTODO SIMPLIFICADO.....	27
4.2 COMPRESSÃO SIMPLES.....	31
4.3 EFEITO DE CONFINAMENTO.....	38
4.4 MÓDULO DE RESISTÊNCIA PLÁSTICO.....	40
<b>4.4.1 Seção I ou H total ou parcialmente revestida fletida em torno de x.....</b>	<b>41</b>
<b>4.4.2 Seção I ou H total ou parcialmente revestida fletida em torno de y.....</b>	<b>44</b>
<b>4.4.3 Seção tubular fletida em torno de x e y.....</b>	<b>48</b>
4.5 MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE PLASTIFICAÇÃO.....	50
4.6 FLEXO-COMPRESSÃO.....	50
<b>4.6.1 Modelo de cálculo I.....</b>	<b>51</b>
<b>4.6.2 Modelo de cálculo II.....</b>	<b>52</b>
4.7 CISALHAMENTO.....	55
<b>4.7.1 Regiões de introdução de cargas.....</b>	<b>56</b>
<b>4.7.2 Trechos entre regiões de introdução de cargas.....</b>	<b>58</b>
<b>4.7.3 Forças de atrito devido aos conectores de cisalhamento.....</b>	<b>59</b>
<b>4.7.4 Resistência ao esforço cortante.....</b>	<b>60</b>
<b>5 O PROGRAMA.....</b>	<b>65</b>



5.1 BANCO DE DADOS.....	65
5.2 A INTERFACE.....	65
5.3 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS.....	71
5.4 EXEMPLOS.....	71
<b>5.4.1 Exemplo 1.....</b>	<b>72</b>
<b>5.4.2 Exemplo 2.....</b>	<b>73</b>
<b>5.4.3 Exemplo 3.....</b>	<b>73</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>75</b>
REFERÊNCIAS.....	76
ANEXO A.....	78



## 1 INTRODUÇÃO

O aço é utilizado desde o século XIX na construção civil e, desde esta época, já eram conhecidos os problemas de perda de resistência deste material decorrentes de efeitos de incêndio e corrosão. Na falta de materiais apropriados à época, foi utilizado concreto como revestimento nos elementos estruturais metálicos (pilares e vigas) de prédios com o intuito de aumentar o seu desempenho frente a esses efeitos, entretanto desprezando-se o acréscimo de resistência que o concreto poderia oferecer ao elemento. Mais tarde, porém, começou-se a utilizar concreto estrutural e se deu início a estudos para verificar sob que condições estes dois materiais atuariam em conjunto, oferecendo maior resistência aos esforços solicitantes.

Estruturas mistas de aço e concreto são fruto da associação de perfis metálicos e concreto. Para que estes dois materiais distintos resistam às solicitações, é necessário que determinadas condições de aderência sejam satisfeitas. Para tanto, as tensões de cisalhamento na interface aço-concreto não podem exceder determinados limites estipulados em Norma. Caso sejam ultrapassados esses limites os materiais não se deformam solidariamente, contudo podem ainda ser utilizados conectores de cisalhamento que garantirão um incremento na tensão de cisalhamento máxima admissível.

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008) reserva alguns de seus anexos ao dimensionamento de estruturas mistas de aço e concreto, os quais são divididos em: vigas, pilares, lajes e ligações. Neste trabalho é dado destaque aos pilares mistos, que segundo a Norma, podem ser agrupados em quatro categorias, conforme a posição que o concreto ocupa na seção do pilar e o formato desta, ou seja:

- a) revestidos: o perfil metálico é completamente envolto pelo concreto;
- b) parcialmente revestidos: um perfil I, por exemplo, é concretado somente na área entre as mesas, ficando exposta a parte externa das mesas;
- c) preenchidos de seção retangular: o perfil de aço vazado retangular é preenchido com concreto;
- d) preenchidos de seção circular: o perfil metálico de seção circular é preenchido com concreto.

As estruturas mistas vêm sendo utilizadas com maior frequência na construção civil no Brasil e no Rio Grande do Sul nos últimos anos. Devido à rapidez na sua execução, é possível levantar alguns pavimentos da estrutura metálica, que é dimensionada para resistir sozinha às cargas de peso próprio e de construção, para só então concretar lajes, vigas e pilares. Pilares de estruturas mistas, quando comparados a pilares de concreto armado, podem oferecer uma resistência igual ou superior associada a uma menor seção transversal. Análise semelhante pode ser feita com as vigas mistas. Assim, tem-se um ganho de espaço interno que é muito valorizado, principalmente em projetos de prédios comerciais. Os pilares preenchidos com concreto, além das vantagens já citadas, possuem outra particularidade: não é necessária a utilização de formas de madeira. Isto acarreta um ganho em velocidade e diminui o custo de execução do empreendimento.

Estruturas mistas de aço e concreto é um assunto pouco pesquisado na UFRGS e, mostradas algumas de suas vantagens, é justificável a elaboração de um maior número de estudos sobre este tema. Assim, este trabalho tem como proposta a elaboração de um programa computacional, em Visual Basic, que verifica de forma automatizada pilares mistos revestidos, parcialmente revestidos e preenchidos com concreto de seção retangular ou circular, submetidos a esforços de compressão axial e à flexo-compressão no Estado Limite Último. O modelo de cálculo adotado para estas verificações é o método simplificado proposto no anexo P da NBR 8800:2008, lançando-se mão do modelo de cálculo I, mais simples, e o modelo de cálculo II, mais elaborado, para a verificação dos efeitos de compressão axial combinada a momentos fletores.

O presente trabalho, além da introdução, possui os capítulos apresentados a seguir. No capítulo 2 são apresentadas as diretrizes de pesquisa adotadas para o desenvolvimento deste trabalho. No capítulo 3 são apresentados aspectos teóricos dos pilares mistos (vantagens, desvantagem em sua utilização). No capítulo 4 são apresentadas as fórmulas que foram utilizadas para as verificações contempladas pelo programa. No capítulo 5 é mostrada a interface do programa, sendo explicada a sua forma de utilização, e são apresentados alguns exemplos. O capítulo 6 é reservado para as considerações finais.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: qual seria um algoritmo computacional adequado para automatizar a verificação de pilares mistos de aço e concreto submetidos à compressão simples e à flexo-compressão.

### **2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

#### **2.2.1 Objetivo Principal**

O objetivo principal do trabalho é o desenvolvimento de um software em *Visual Basic* que verifique pilares mistos submetidos à compressão simples e à flexo-compressão pelos modelos de cálculo I e II apresentados no anexo P da NBR 8800:2008.

#### **2.2.2 Objetivos secundários**

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) descrever de forma objetiva as etapas de cálculo envolvidas na verificação de pilares mistos utilizando o método simplificado e seus dois modelos de cálculo;
- b) comparar os resultados obtidos pelos modelos de cálculo I e II;
- c) verificar as seções mistas de pilares ao esforço cortante.

## 2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que são válidos o método simplificado e os modelos de cálculo I e II, propostos pela NBR 8800:2008, em seu anexo P, para a verificação de pilares mistos submetidos à compressão simples e à flexo-compressão, sendo adequados para o trabalho proposto.

## 2.4 DELIMITAÇÃO

O trabalho delimita-se ao estudo de pilares preenchidos, de seção retangular ou circular, revestidos e parcialmente revestidos de seção retangular.

## 2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

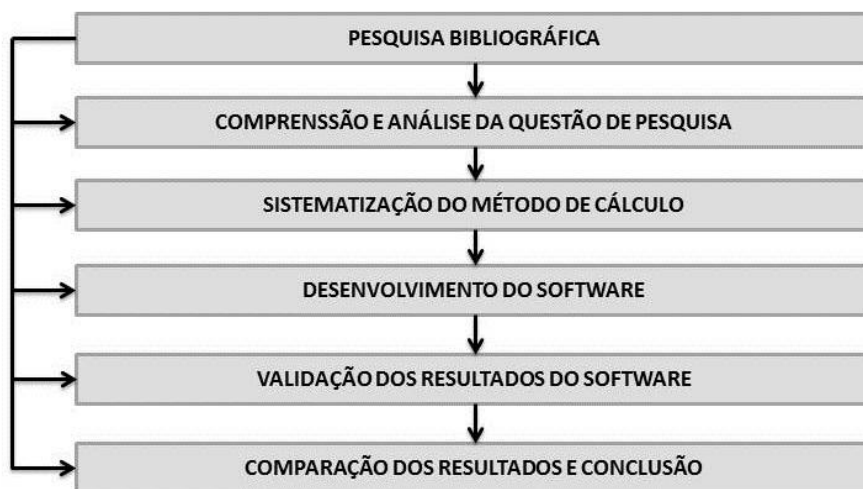
- a) o uso da linguagem de programação de preferência do autor;
- b) que o programa não calcula os esforços atuantes;
- c) um único arranjo de armadura longitudinal para cada tipo de seção;
- d) verificação da estabilidade do pilar no Estado Limite Último;
- e) que o programa não verifica as ligações das extremidades do pilar.

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas através do diagrama da figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) compreensão e análise da questão de pesquisa;
- c) sistematização do método de cálculo;
- d) desenvolvimento do software;
- e) validação dos resultados do software;
- f) comparação de resultados e conclusões.

Figura 1 – Etapas de pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente, realizou-se a **pesquisa bibliográfica**, que teve por objetivo o aprofundamento da questão de pesquisa com o intuito de se obterem dados concisos relacionados aos parâmetros avaliados na verificação dos pilares. Foi feito um levantamento das vantagens e desvantagens de utilização desta configuração. Esta etapa se estendeu ao longo de todo o trabalho.

Na etapa seguinte, de **compreensão e análise da questão de pesquisa**, foi feito o levantamento das variáveis e fatores envolvidos na resolução da questão. Foi escolhido o método de cálculo que serviu de base para a verificação dos pilares mistos.

Na terceira etapa, intitulada **sistematização do método de cálculo**, foi elaborado um algoritmo para se verificar, de forma automática, as seções de pilares mistos. Em seguida, foi feito o **desenvolvimento do software**, utilizando o Microsoft Visual Basic Express 2010, quando foi implementado o algoritmo estabelecido na etapa anterior. Ainda nesta parte foi desenvolvida a interface de utilização do programa.

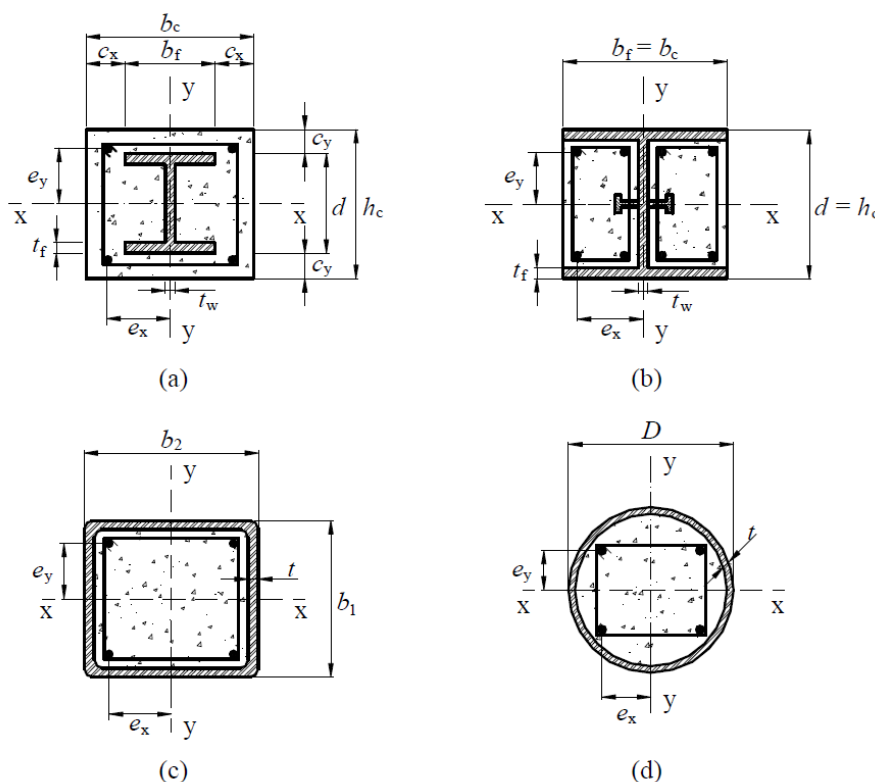
A quinta etapa, denominada **validação do software**, teve como objetivo a verificação da validade dos resultados do software, revisando o algoritmo implementado e comparando os resultados obtidos pelo programa aos resultados de exemplos encontrados na bibliografia. Por fim, na **comparação de resultados e conclusão** foi feita uma comparação dos resultados obtidos tanto pelo modelo I, quanto pelo modelo II de cálculo, e realizou-se a conclusão da pesquisa.

### 3 ESTRUTURAS MISTAS

As estruturas mistas, para Bianchi (2002, p. 7), podem ser definidas como sistemas: “[...] que envolvem o comportamento interativo de componentes de aço estrutural com elementos de concreto para resistir às ações externas.”. Neste capítulo são descritos alguns conceitos e também são mostradas algumas aplicações para esse tipo de estrutura. É dado destaque aos diferentes tipos de pilares, que, segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 197), classificam-se em quatro tipos de seções, quanto a posição relativa entre concreto e o perfil metálico e a forma da sua seção, como é possível observar na figura 2:

- a) revestidos: figura 2(a);
- b) parcialmente revestidos: figura 2(b);
- c) preenchidos de seção retangular: figura 2(c);
- d) preenchidos de seção circular: figura 2(d).

Figura 2 – Tipos de seção de pilares mistos contempladas pela NBR 8800



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 197)



Uma grande vantagem na utilização de pilares mistos é apontada por Silva e Pannoni (2010, p. 222), “A principal vantagem do pilar misto é aproveitar a maior resistência do aço e a maior rigidez da estrutura de concreto, em razão de suas maiores dimensões, conferindo ao sistema misto maior capacidade resistente e menor deslocabilidade lateral da edificação.”. Uma aplicação para as estruturas mistas é apresentada por Bianchi (2002, p. 13): transformam-se estruturas convencionais de aço ou concreto armado em estruturas mistas a fim de reforçar a estrutura original. Em pilares de estrutura de aço convencional, por exemplo, o acréscimo de concreto aumenta a rigidez do elemento e a sua resistência à compressão sem que ocorra um acréscimo considerável na área externa ocupada pela sua seção transversal.

Outro aspecto interessante das estruturas mistas como um todo é apresentado por Braga e Ferreira (2011, p. 408): “[...] os perfis, além de exercerem função estrutural para a edificação, podem ser utilizados como estrutura na fase construtiva, proporcionando uma diminuição de custo com escoramentos e, conseqüentemente, uma economia de material e mão de obra [...]”. Logo é possível levantar alguns pavimentos da edificação somente em estrutura metálica, sendo esta projetada para resistir aos esforços solicitantes das etapas construtivas. Estando cerca de três a cinco pavimentos erguidos, dar-se-ia início a concretagem dos pilares. Usualmente acabam sendo utilizados pilares do tipo revestido ou parcialmente revestido neste processo, que acelera a execução da obra.

### 3.1 PILARES REVESTIDOS

Os pilares mistos são classificados em revestidos quando o perfil de aço é envolvido completamente pelo concreto. Nem todos os tipos de perfis metálicos são aceitos no dimensionamento de pilares mistos. A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 197) define que, “Os pilares mistos com seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto devem possuir perfil de aço I ou H soldado ou laminado.”.

As primeiras utilizações de estruturas mistas, bem com dos pilares revestidos, surgiram da necessidade de proteger estruturas metálicas contra fogo e corrosão. Segundo Kataoka (2011, p. 8), “A associação aço-concreto compondo estruturas mistas teve início com a necessidade de proteger as estruturas metálicas contra o fogo e a corrosão. Essa técnica de proteção aos elementos metálicos fez surgir os primeiros pilares mistos de aço e concreto [...]”.

Uma desvantagem na utilização deste tipo de pilar é apontada por Bianchi (2002, p. 15): “A principal desvantagem dos pilares mistos revestidos é que requerem o uso de formas para concretagem, o que os torna, entre os vários tipos de pilares mistos, os mais trabalhosos em termos de execução.”.

### 3.2 PILARES PARCIALMENTE REVESTIDOS

Nos pilares parcialmente revestidos utiliza-se perfil I ou H, e concretam-se somente o espaço entre a alma e as mesas. Como foi citado anteriormente, são aceitos perfis soldados e laminados pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 197). É possível dispensar a utilização de formas de madeira para a concretagem deste tipo de seção, quando concretam-se na horizontal (como um elemento pré-moldado) um lado do pilar e após a cura do concreto a outra face. Neste tipo de pilar existe a possibilidade de se fazer a ligação entre viga e pilar tanto pela face metálica como pela face concretada.

Um exemplo de empreendimento construído utilizando pilares mistos parcialmente revestidos é o da construção do hotel Ibis em Canoas, na grande Porto Alegre. Sua estrutura portante, composta por sete andares, foi concluída em 68 dias (GRUPO MEDABIL, 2011). Na figura 3 a seguir é possível observar alguns dos pilares já concretados.

Figura 3 – Execução de pilares mistos parcialmente revestidos



(fonte: GRUPO MEDABIL, 2011)

Uma das vantagens desse tipo de pilar é apontada por Nardin et al. (2010): “[...] grande potencialidade de utilização uma vez que permitem ganhos consideráveis de capacidade resistente sem aumento da seção transversal.”. Além do aumento da rigidez da seção se comparado a um pilar metálico.

### 3.3 PILARES PREENCHIDOS

Quando o concreto é utilizado para preencher um perfil metálico tubular circular ou retangular esses são classificados como preenchidos. A NBR 8800 não define o tipo de perfil tubular a ser utilizado nos pilares mistos. Poderiam ser utilizados tubos estruturais com costura que , segundo Araújo (2011, p. 33), “[...] são produzidos a partir de chapas planas conformadas a frio e soldados, com solda longitudinal ou helicoidal.”. Frente a isso os tubos estruturais com costura se mostram bastante adequados para este tipo de estrutura visto que podem ser fabricados com o diâmetro externo e espessura que o projetista necessitar.

Um aspecto a ser considerado neste tipo de pilar é o do aumento da resistência à compressão simples devido ao efeito de confinamento do concreto. Para Nardin et al. (2005) “Nos pilares preenchidos de seção circular é levado em conta o efeito de confinamento, que aumenta a resistência à compressão uniaxial do concreto ( $f_{ck}$ ) e diminui a parcela de contribuição do aço ( $f_y$ ).”. Com a formulação contida no Eurocode 4:2004 é possível estimar o acréscimo na resistência do pilar devido ao efeito de confinamento do concreto neste tipo de seção. A NBR 8800 não oferece verificações para estimar este ganho em resistência.

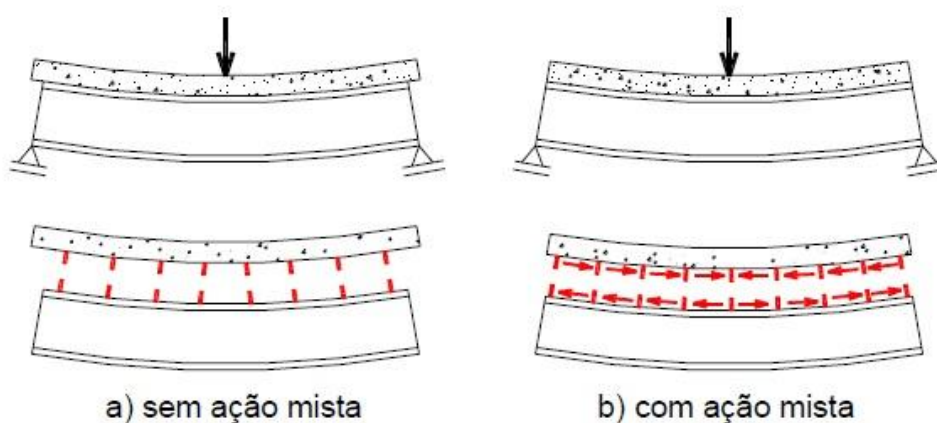
Bianchi (2002, p. 16) destaca duas desvantagens em se optar por pilares preenchidos: uma em relação à dificuldade de se colocar conectores de cisalhamento para aumentar a tensão de cisalhamento admissível na interface aço-concreto e a outra decorre do fato que o perfil de aço fica exposto ao ambiente e, em situações de incêndio, ele não estaria protegido pelo concreto, logo é necessária uma forma alternativa de proteção frente a essa situação.

### 3.4 COMPORTAMENTO CONJUNTO: AÇO E CONCRETO

Nardin et al. (2005) salientou que para garantir que o elemento misto, aço e concreto, trabalhe conjuntamente é necessário que esses dois deformem solidariamente. Por sua vez, deve haver uma interação entre os materiais. Essa interação muitas vezes é garantida por meio mecânico

Isto é observável nas vigas mistas nas quais o comportamento conjunto dos materiais é por meio da presença de conectores de cisalhamento flexíveis, pino com cabeça ou stud bolts, e rígidos, perfis tipo U. Na figura 4(b) mostrada a seguir, é exemplificado o comportamento de uma seção com materiais deformando conjuntamente, já na figura 4(a) não há nenhuma interação entre os materiais.

Figura 4 – Comportamento misto aço e concreto em vigas



(fonte: NARDIN et al., 2005)

Outra consideração sobre aderência e conectores de cisalhamento feita por Nardin et al. (2010) é a seguinte: “[...] conectores têm a função de evitar que as tensões de cisalhamento rompam a aderência natural aço e concreto, o que faria cada componente se deformar independentemente, podendo provocar o deslizamento relativo entre os dois [...]”. Não existindo aderência entre o aço e o concreto ocorre o deslizamento relativo entre os materiais e não se obtém o comportamento misto na seção.

## 4 PILARES MISTOS: VERIFICAÇÕES

Através do método simplificado, apresentado no anexo P da NBR 8800, é possível estabelecer a resistência de cálculo de pilares mistos submetidos à compressão simples e à flexo-compressão, utilizando os modelos de cálculo I e II. Nas próximas seções são apresentadas as condições de aplicabilidade do método simplificado, as fórmulas necessárias para o cálculo da resistência à compressão simples e à flexo-compressão pelo método simplificado, a fórmula de resistência a compressão axial do Eurocode 4:2004 e as fórmulas necessárias para avaliação do cisalhamento ao longo do pilar, bem com as fórmulas utilizadas para a verificação ao esforço cortante.

### 4.1 APLICABILIDADE DO MÉTODO SIMPLIFICADO

Para que o método simplificado possa ser aplicado, é necessário que algumas condições sejam atendidas. A NBR 8800 define os seguintes limites de aplicabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 198):

- a) os pilares mistos devem ter dupla simetria e seção transversal constante;
- b) o concreto utilizado deve possuir densidade normal;
- c) o fator de contribuição do aço, igual a:

(fórmula 1)

onde as grandezas que aparecem nessa equação são definidas em P.4, deve ser superior a 0,2 e inferior a 0,9. Se  $\delta$  for igual ou inferior a 0,2, o pilar deve ser dimensionado de acordo com a ABNT NBR 6118<sup>1</sup> como pilar de concreto e, se  $\delta$  for igual ou superior a 0,9, o pilar deve ser dimensionado segundo esta Norma, como pilar de aço;

- d) a esbeltez relativa do pilar  $\lambda_{0,m}$ , P.3.2, não pode ser maior que 2,0;
- e) seções transversais preenchidas com concreto podem ser fabricadas sem qualquer armadura, exceto para algumas condições em situação de incêndio (para essa

<sup>1</sup>ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007): referência consta na lista.

situação usar a ABNT NBR 14323<sup>2</sup>). Para seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto, a área da seção transversal da armadura longitudinal não deve ser inferior a 0,3% da área do concreto, a área da seção transversal da armadura na seção de concreto é de 4% desta (por razões de segurança contra incêndio, maiores porcentagens de armadura podem ser utilizadas, porém não se pode considerar no dimensionamento à temperatura ambiente taxa superior a 4%);

- f) a relação entre a altura e a largura das seções transversais mistas retangulares deve estar entre 0,2 e 5,0;
- g) para seções totalmente revestidas com concreto, os cobrimentos do perfil de aço devem estar dentro dos seguintes limites (ver figura [2(a)]):
- $40 \text{ mm} \leq c_y \leq 0,3d$  e  $c_y \geq b_f/6$ ;
  - $40 \text{ mm} \leq c_x \leq 0,3d$  e  $c_x \geq b_f/6$ ;
- h) quando a concretagem for feita com o pilar já montando, deve-se comprovar que o perfil de aço resiste isoladamente às ações aplicadas antes de o concreto atingir 75% da resistência característica à compressão especificada;
- i) para as seções total ou parcialmente revestidas com concreto, devem existir armaduras longitudinais e transversal para garantir a integridade do concreto. A armadura longitudinal pode ser considerada ou não na resistência e na rigidez do pilar misto. Nas seções parcialmente revestidas, a armadura transversal deve ser ancorada no perfil de aço através de furos na alma, ou por meio de conectores de cisalhamento (ver figura [2(b)]), cujo espaçamento longitudinal não pode exceder 500 mm;
- j) o projeto das armaduras deve atender aos requisitos da ABNT NBR 6118<sup>3</sup>.

O fator de contribuição do aço define como deve ser dimensionado o pilar. A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 198) indica que, para um fator de contribuição inferior a 0,2, o pilar deve ser calculado concordante com as recomendações da NBR 6118, desta forma aproxima-se por um pilar de concreto. Para valores acima de 0,9, o pilar deve ser dimensionado como um pilar de aço de acordo com o previsto na NBR 8800. Para faixa de valores entre estes extremos, são usadas as verificações para seção mista.

A Norma estabelece, também, que a flambagem local do perfil metálico não pode ser um Estado Limite Último predominante. Ou seja, as resistências dos materiais que constituem a seção do pilar misto devem atingir os valores de resistência de projeto sem que ocorra flambagem local. Logo, para que esta condição seja satisfeita, devem ser respeitados os

<sup>2</sup>ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: dimensionamento de estruturas de aço e estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio – procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

<sup>3</sup>ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007): referência consta na lista.

cobrimentos mínimos estabelecidos para o perfil de aço nos pilares totalmente revestidos. E, para os pilares parcialmente revestidos e os preenchidos, a Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 199) estabelece as seguintes verificações dadas pelas fórmulas a seguir. Caso não sejam atendidas as condições destas inequações o perfil metálico terá problemas de flambagem local e não atingirá a resistência de projeto estabelecida por esta mesma Norma.

Para pilares de seção tubular circular:

$$\frac{N}{A_g} \leq \phi_c F_{cr} \quad (fórmula 2)$$

Para pilares de seção tubular retangular:

$$\frac{N}{A_g} \leq \phi_c F_{cr} \quad (fórmula 3)$$

Para pilares de seção parcialmente revestida:

$$\frac{N}{A_g} \leq \phi_c F_{cr} \quad (fórmula 4)$$

Onde:

$d$  = diâmetro externo do perfil tubular (cm);

$t$  = espessura do perfil tubular (cm);

$E$  = módulo de elasticidade do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_y$  = tensão de escoamento característica do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$b_i$  = maior dimensão paralela a um eixo de simetria da seção tubular retangular (cm);

$b_f$  = comprimento da mesa do perfil I ou H (cm);

$t_f$  = espessura da mesa do perfil I ou H (cm).

Uma importante consideração a ser feita ao dimensionar a seção mista é o posicionamento da armadura na seção. Dependendo da agressividade do ambiente a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 19) estabelece cobrimentos mínimos de armadura para garantir a proteção contra a corrosão. No quadro 1 são mostrados as classes de agressividade ambiental e na tabela 1 são dispostos os cobrimentos mínimos em função da classe de agressividade do ambiente.

Quadro 1 – Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana <sup>1), 2)</sup>	Pequeno
III	Forte	Marinha <sup>1)</sup>	Grande
		Industrial <sup>1), 2)</sup>	
IV	Muito forte	Industrial <sup>1), 3)</sup>	Elevado
		Respingos de maré	

<sup>1)</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>2)</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

<sup>3)</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 16)



Tabela 1 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento mínimo de armadura

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 19)

Tanto a Norma de aço como a de concreto estabelecem resistências máximas e mínimas para o aço do perfil metálico e para o concreto. Para NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 22) o  $f_{ck}$  do concreto, obrigatoriamente, deve estar em uma faixa de 20 MPa a 50 MPa. Para a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 11) a tensão de escoamento máxima dos perfis metálicos é equivalente a 450 MPa.

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 198) estabelece algumas restrições para as dimensões da seção transversal dos pilares mistos. Para seções retangulares a seção transversal deve ter relação entre altura e largura variando entre 0,2 e 5. Para todos os tipos de pilares a seção transversal deve ter dupla simetria e ser constante ao longo de toda sua altura.

## 4.2 COMPRESSÃO SIMPLES

A força axial resistente de cálculo da seção transversal mista é definida pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 202) por:

(fórmula 5)

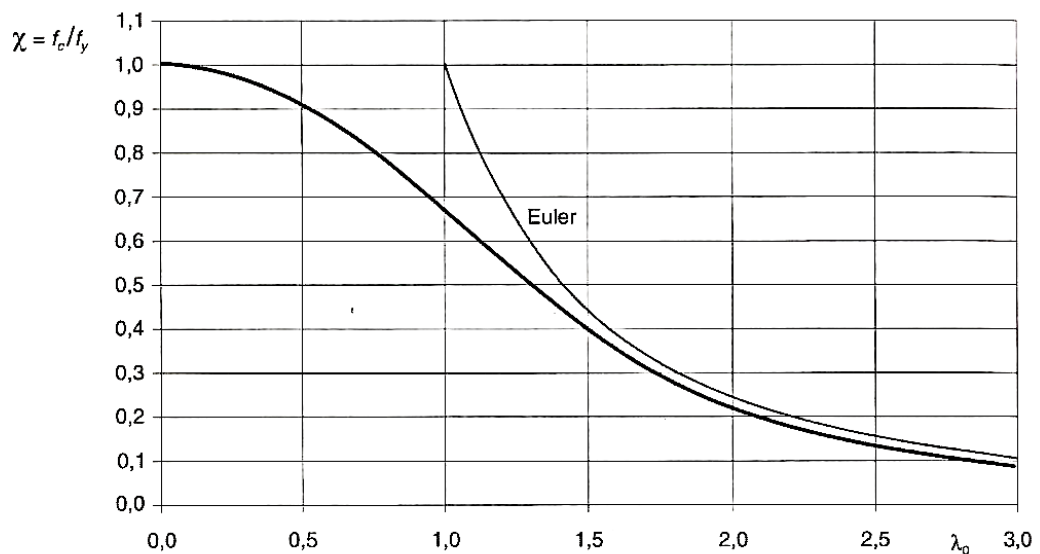
Onde:

$\chi$  = fator de redução devido à flambagem global (adimensional);

$N_{pl,Rd}$  = força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total da seção (kN).

O fator de redução devido à flambagem global, segundo Pfeil e Pfeil (2009, p. 127) é um parâmetro adimensional relacionado ao índice de esbeltez reduzido. Na figura 5 são mostradas a curva teórica de Euler e a curva adotada pela Norma americana AISC 360:2005 para o fator de redução devido à flambagem global. A Norma brasileira NBR 8800 adotou curva semelhante a utilizada na Norma americana.

Figura 5 – Curva de flambagem das Normas AISC 360:2005 e NBR 8800:2008



(fonte: PFEIL;PFEIL, 2009, p. 128)

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 44) propõe a escolha de uma das duas fórmulas mostradas a seguir, a condição para escolha de uma delas é feita em função índice de esbeltez reduzido ( $\lambda_{0,m}$ ), para quantificar o fator de redução devido à flambagem global do pilar misto:

(fórmula 6)

(fórmula 7)

Onde:

$\lambda_{0,m}$  = índice de esbeltez reduzido ou relativa (adimensional).

O índice de esbeltez reduzido de pilar misto pode ser diferente dependendo do eixo de flexão considerado e do tipo de seção. Quando a seção apresenta mais de um índice de esbeltez reduzido deve ter tomado o maior deles. Seu valor é calculado pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 202) por:

(fórmula 8)

Onde:

$N_{pl,R}$  = força axial de compressão resistente característica à plastificação total da seção (kN);

$N_e$  = força axial de flambagem elástica (kN).

Na sequência, esta mesma Norma define a força axial de compressão resistente característica à plastificação total da seção,  $N_{pl,R}$ , como sendo igual a:

(fórmula 9)

Onde:

$f_y$  = tensão de escoamento característica do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_a$  = área da seção transversal do perfil de aço (cm<sup>2</sup>);

$\alpha$  = coeficiente igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (adimensional);

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$f_{ys}$  = tensão de escoamento característica da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_s$  = área da seção transversal da armadura longitudinal (cm<sup>2</sup>).

A força axial de compressão resistente característica à plastificação total da seção nada mais é do que o somatório das contribuições resistentes do perfil de aço, do concreto, e da armadura longitudinal quando presente. Em outras fórmulas apresentadas ao longo deste trabalho, é possível observar este mesmo conceito.

A força axial de flambagem elástica é definida pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 202) por:

(fórmula 10)

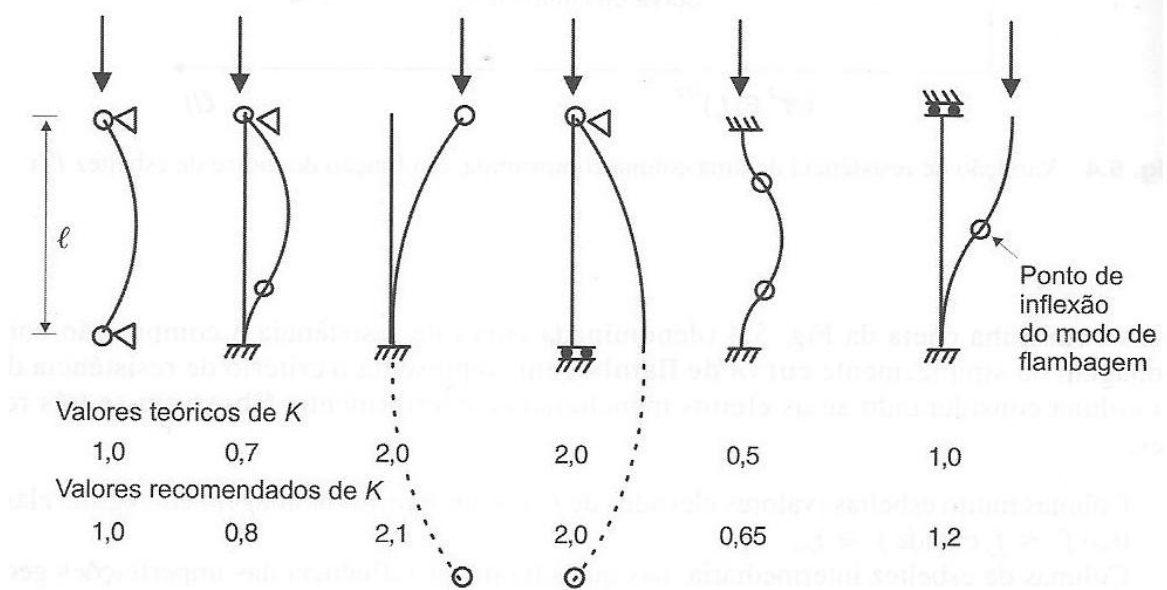
Onde:

$KL$  = comprimento de flambagem do pilar (cm);

$(EI)_e$  = rigidez efetiva à flexão da seção transversal mista (kN.cm<sup>2</sup>).

Segundo Pfeil e Pfeil (2009, p. 124), “Comprimento de flambagem de uma haste é a distância entre pontos de momento nulo da haste comprimida, deformada lateralmente como indicada na figura [...] [6].”. É possível ampliar este conceito para os pilares. Logo a fim de considerar o tipo de vinculação das extremidades do pilar existe o coeficiente  $K$ , que majorará ou minorará o comprimento de flambagem livre do pilar. Na figura 6 são mostrados os valores recomendados pela NBR 8800:2008 e os valores teóricos de  $K$  para diferentes tipos de vinculação.

Figura 6 – Coeficiente de Flambagem K



(fonte: PFEIL; PFEIL, 2009, p. 124)

Para o cálculo da rigidez efetiva à flexão da seção transversal do pilar sujeito à compressão axial a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 203) propõe que:

(fórmula 11)

Onde:

$E_a$  = módulo de elasticidade do perfil de aço ( $\text{kN/cm}^2$ );

$I_a$  = momento de inércia da seção transversal do perfil de aço ( $\text{cm}^4$ );

$E_{c,\text{red}}$  = módulo de elasticidade reduzido do concreto ( $\text{kN/cm}^2$ );

$I_c$  = momento de inércia da seção transversal do concreto não fissurado ( $\text{cm}^4$ );

$E_s$  = módulo de elasticidade da armadura longitudinal ( $\text{kN/cm}^2$ );

$I_s$  = momento de inércia da seção transversal da armadura do concreto ( $\text{cm}^4$ ).

A rigidez efetiva à flexão de um pilar de aço é igual ao produto de seu módulo de elasticidade pelo momento de inércia do perfil de aço. Em um pilar misto existe também concreto e armadura, então a rigidez à flexão passa a ser a soma de uma parcela devida ao perfil de aço, ao concreto e outra devido à armadura. Pilares mistos comparados a pilares simplesmente de aço apresentam maior rigidez.

Devido a efeitos de retração e fluência que o concreto está sujeito, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 203) recomenda que o módulo de elasticidade do concreto seja minorado à  $E_{c,red}$  para o cálculo da rigidez efetiva à flexão da seção transversal do pilar:

$$\frac{E_c}{\phi} \left( 1 - \frac{N_{G,Sd}}{N_{Sd}} \right) \quad \text{(fórmula 12)}$$

Onde:

$E_c$  = módulo de elasticidade do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$\phi$  = coeficiente de fluência do concreto, simplificadamente igual a 2,5 nas seções total e parcialmente revestida, e igual a zero nas seções tubulares preenchidas (adimensional);

$N_{Sd}$  = força axial solicitante de cálculo (kN);

$N_{G,Sd}$  = representa parte da força axial solicitante de cálculo devida ao carregamento permanente e ao carregamento devido ao uso de atuação quase permanente (kN).

Adicionalmente por recomendação da NBR 8800, usa-se a relação  $N_{G,Sd}/N_{Sd}$  igual a 0,6 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 203).

O módulo de elasticidade do secante do concreto, em kN/cm<sup>2</sup>, denotado neste trabalho por apenas módulo de elasticidade do concreto, é dado em função da resistência característica do concreto  $e$ , segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 23), é dada pela fórmula a seguir:

$$\frac{E_c}{\phi} \left( 1 - \frac{N_{G,Sd}}{N_{Sd}} \right) \quad \text{(fórmula 13)}$$

Onde:

$f_{ck}$  = é a tensão resistente característica do concreto aos 28 dias (MPa).

A força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total da seção mista, segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 204), é

igual à soma das resistências de cálculo devidas a armadura longitudinal, ao perfil metálico e ao concreto:

(fórmula 14)

(fórmula 15)

Onde:

$N_{pl,a,Rd}$  = força axial resistente de cálculo à plastificação do perfil de aço (kN);

$N_{pl,c,Rd}$  = força axial resistente de cálculo à plastificação do concreto (kN);

$N_{pl,s,Rd}$  = força axial resistente de cálculo à plastificação da armadura longitudinal (kN);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_a$  = área da seção transversal do perfil de aço (cm<sup>2</sup>);

$\alpha$  = coeficiente igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (adimensional);

$f_{cd}$  = resistência de cálculo do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_s$  = área da seção transversal da armadura longitudinal (cm<sup>2</sup>).

As resistências de cálculo são obtidas pela fórmula proposta pela NBR 8681 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 14):

(fórmula 16)

Onde:

$f_k$  = resistência característica inferior (kN/cm<sup>2</sup>);

$\gamma_m$  = coeficiente de ponderação das resistências (adimensional).

O coeficiente de ponderação das resistências é diferente para cada material e tipo de combinação que se está fazendo. Na tabela 2 são dispostos os coeficientes utilizados na ponderação das resistências.

Tabela 2 – Coeficientes de minoração de resistência,  $\gamma_m$

Combinações	Aço estrutural <sup>a</sup>		Concreto $\gamma_c$	Aço das armaduras $\gamma_s$
	$\gamma_a$			
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

<sup>a</sup> Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 23)

Para verificação dos pilares à compressão simples e à flexo-compressão, no Estado Limite Último, os coeficientes de minoração de resistência dos materiais que compõem a seção do pilar misto são: para o perfil de aço  $\gamma_a = 1,10$ , para o concreto  $\gamma_c = 1,4$  e para a armadura longitudinal  $\gamma_s = 1,15$ .

### 4.3 EFEITO DE CONFINAMENTO

Segundo Nardin et al. (2005), "Nos pilares preenchidos de seção circular é levado em conta o efeito do confinamento, que aumenta a resistência à compressão uniaxial do concreto,  $f_{ck}$ , e diminui a parcela de contribuição do aço,  $f_y$ ". O Eurocode 4 define a força normal resistente correspondente à plastificação total para um pilar de seção preenchida como (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004, p. 67):

(fórmula 17)



Onde:

$\eta_a$  = fator de redução da resistência do perfil de aço devido ao efeito de confinamento (adimensional);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_a$  = área da seção transversal do perfil de aço (cm<sup>2</sup>);

$\eta_c$  = fator de majoração da resistência do concreto devido ao efeito de confinamento (adimensional);

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{cd}$  = resistência de cálculo do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$t$  = espessura do perfil tubular (cm);

$d$  = diâmetro externo do perfil tubular (cm);

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_s$  = área da seção transversal da armadura longitudinal (cm<sup>2</sup>).

Inicialmente, calcula-se a excentricidade do carregamento,  $e$ , em seguida é feita a análise da excentricidade. Quando a excentricidade é igual a zero,  $\eta_a$  é igual a  $\eta_{a0}$  e  $\eta_c$  fica igual a  $\eta_{c0}$ . Para  $0 < e/d \leq 0,1$ ,  $\eta_a$  e  $\eta_c$  são calculados pelas fórmulas 18 e 20. E, caso  $e/d > 0,1$ , então  $\eta_a$  é 1 e  $\eta_c$  fica igual a zero. As fórmulas para o cálculo da excentricidade foram obtidas junto ao Eurocode 4 e são mostradas a seguir (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2004, p. 67):

$$\text{-----} \quad \text{(fórmula 18)}$$

$$\text{-----} \quad \text{(fórmula 19)}$$

$$\text{-----} \quad \text{(fórmula 20)}$$

— (fórmula 21)

(fórmula 22)

Onde:

$M_{Sd,max}$  = momento solicitante de cálculo máximo (kN.cm);

$N_{Sd}$  = força axial solicitante de cálculo (kN);

$\eta_a$  = fator de redução da resistência do perfil de aço devido ao efeito de confinamento (adimensional);

$\eta_c$  = fator de majoração da resistência do concreto devido ao efeito de confinamento (adimensional);

$e$  = excentricidade do carregamento (cm);

$d$  = diâmetro externo do perfil tubular (cm);

$\lambda_{0,m}$  = índice de esbeltez reduzido ou relativa (adimensional).

Importante ressaltar, que para a aplicação destas fórmulas, é necessário que o índice de esbeltez reduzido seja inferior a 0,5.

#### 4.4 MÓDULO DE RESISTÊNCIA PLÁSTICO

O módulo de resistência plástico é uma propriedade que é calculada para a seção do perfil metálico, para a seção de armadura longitudinal e para a seção de concreto. Esta propriedade varia conforme o tipo de seção do pilar e o eixo em torno do qual está ocorrendo a flexão do pilar. É necessário estabelecer os módulos resistentes plásticos da seção para que depois seja possível avaliar a resistência do pilar à flexo-compressão. Essas especificidades por tipo de seção são apresentadas nos próximos itens.

#### 4.4.1 Seção I ou H total ou parcialmente revestida fletida em torno de x

Para perfis do tipo I ou H revestidos ou parcialmente revestidos o módulo resistente plástico da seção de armadura de concreto NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 207):

(fórmula 23)

Onde:

$A_{si}$  = área de uma barra da armadura longitudinal (cm<sup>2</sup>);

$e_i$  = distância do centro de uma barra da armadura longitudinal até um eixo de simetria da seção (cm).

Para um pilar com a seção fletida em relação ao eixo x, tem-se o módulo de resistência plástico da seção de concreto dado por (considerando a representação da figura 7) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 207):

(fórmula 24)

Onde:

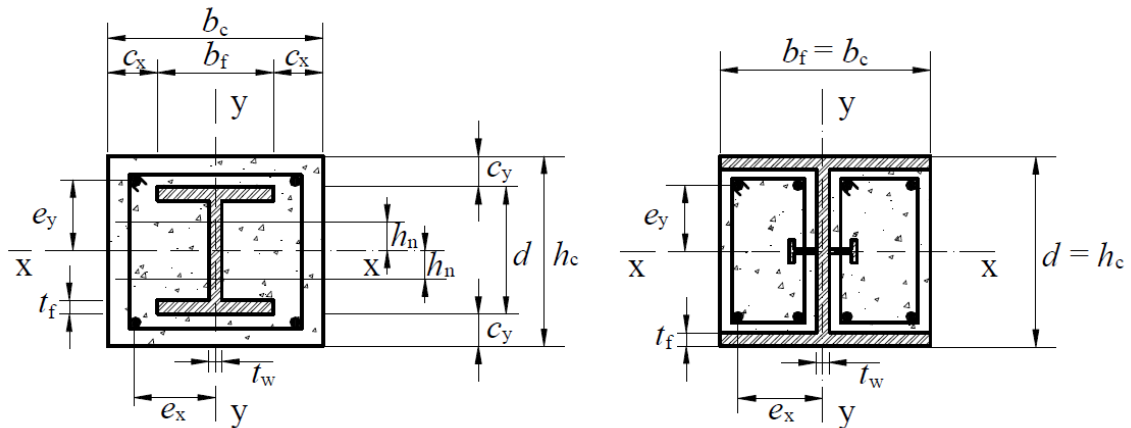
$h_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$b_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$Z_a$  = módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço (cm<sup>3</sup>);

$Z_s$  = módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal (cm<sup>3</sup>).

Figura 7 – Seção I ou H revestida de concreto fletida em relação ao eixo x



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 207)

Os módulos resistentes plásticos do perfil de aço, da armadura longitudinal e do concreto têm uma fórmula diferente dependendo da posição da linha neutra na seção transversal. Estas novas fórmulas estão indicadas com um subíndice “n”. Quando a linha neutra passa na alma do perfil de aço, ou seja, para  $(h_n \leq d/2 - t_f)$ , a NBR 8800 define  $h_n$  e os novos módulos de resistência plásticos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 207-208) por:

(fórmula 25)

(fórmula 26)

(fórmula 27)

(fórmula 28)

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado ( $\text{cm}^2$ );

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções ( $\text{kN/cm}^2$ );

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  ( $\text{cm}^2$ );

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal ( $\text{kN/cm}^2$ );

$t_w$  = espessura da alma do perfil de aço (cm);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço ( $\text{kN/cm}^2$ );

$h_n$  = altura da linha neutra na seção (cm);

$A_{sni}$  = área de cada uma das barras da armadura na região  $2h_n$  (cm);

$e_{yi}$  = distância do centro de uma barra da armadura longitudinal ao eixo x, origem dos eixos coordenados é coincidente com o centro geométrico do perfil de aço (cm).

Quando a linha neutra passa na mesa do perfil de aço, ou seja,  $(d/2 - t_f < h_n \leq d/2)$ , calcula-se  $Z_{sn}$  e  $Z_{cn}$ , também, por meio das fórmulas 27 e 28. Para o cálculo de  $h_n$  e do módulo de resistência plástico  $Z_{an}$  são usadas as fórmulas 29 e 30 presentes na NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 208):

(fórmula 29)

---

(fórmula 30)

---

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado ( $\text{cm}^2$ );

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções ( $\text{kN/cm}^2$ );

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  ( $\text{cm}^2$ );

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$t_w$  = espessura da alma do perfil de aço (cm);

$b_f$  = comprimento da mesa do perfil I ou H (cm);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$h_n$  = altura da linha neutra na seção (cm).

Quando a linha neutra passa fora do perfil de aço, ou seja, ( $d/2 < h_n \leq h_c/2$ ), a NBR 8800 indica a fórmula 31 para o cálculo de  $h_n$ . O módulo de resistência plástico,  $Z_{an}$ , fica igual ao módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço,  $Z_a$ , e, para o cálculo dos módulos de resistência plástico  $Z_{sn}$  e  $Z_{cn}$ , usa-se também as já indicadas fórmulas 27 e 28 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 208):

(fórmula 31)

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$A_a$  = área da seção transversal do perfil de aço (cm<sup>2</sup>);

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  (cm<sup>2</sup>);

$b_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>).

#### 4.4.2 Seção I ou H total ou parcialmente revestida fletida em torno de y

Para um pilar com a seção fletida em relação ao eixo y, tem-se o módulo de resistência plástico da seção de concreto dado por (segundo a representação da figura 8) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 208):

(fórmula 32)

Onde:

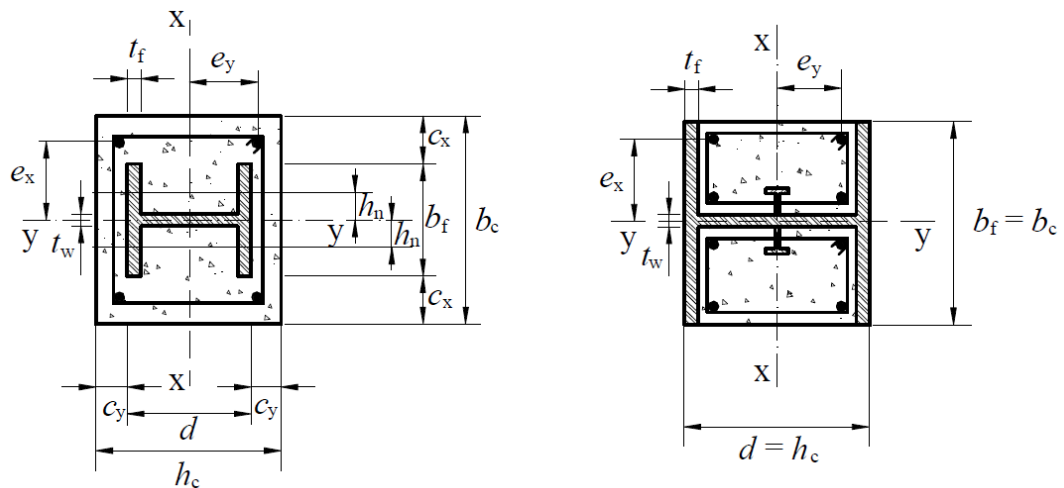
$h_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$b_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$Z_a$  = módulo de resistência plástica da seção do perfil de aço ( $\text{cm}^3$ );

$Z_s$  = módulo de resistência plástica da seção da armadura longitudinal ( $\text{cm}^3$ ).

Figura 8 – Seção I ou H revestida de concreto fletida em relação ao eixo y



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 209)

Os módulos resistentes plásticos têm uma fórmula diferente dependendo da posição da linha neutra na seção transversal do pilar misto. Para linha neutra passando na alma do perfil de aço, ou seja ( $h_n \leq t_w/2$ ), a NBR 8800 define  $h_n$  e os módulos de resistência plásticos como (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 208-209):

(fórmula 33)

(fórmula 34)

(fórmula 35)

(fórmula 36)

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado ( $\text{cm}^2$ );

$f_{cdl}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções ( $\text{kN/cm}^2$ );

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  ( $\text{cm}^2$ );

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal ( $\text{kN/cm}^2$ );

$t_w$  = espessura da alma do perfil de aço (cm);

$h_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço ( $\text{kN/cm}^2$ );

$h_n$  = altura da linha neutra na seção (cm);

$A_{sni}$  = área de cada uma das barras da armadura na região  $2h_n$  (cm);

$e_{xi}$  = distância do centro de uma barra da armadura longitudinal ao eixo y, origem dos eixos coordenados é coincidente com o centro geométrico do perfil de aço (cm).

Se a linha neutra passa na mesa do perfil de aço, deste modo, ( $t_w/2 < h_n \leq b_f/2$ ), a NBR 8800 indica as seguintes fórmulas 37 e 38 para o cálculo de  $h_n$  e do módulo de resistência plástico  $Z_{an}$ . Os módulos de resistência plástica  $Z_{sn}$  e  $Z_{cn}$  são calculados pelas fórmulas 35 e 36 como já citado no caso anterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 209):



---

(fórmula 37)

---

(fórmula 38)

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  (cm<sup>2</sup>);

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$t_w$  = espessura da alma do perfil de aço (cm);

$h_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$t_f$  = espessura da mesa do perfil I ou H (cm);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$h_n$  = altura da linha neutra na seção (cm).

Quando a linha neutra passa fora do perfil metálico, ou seja, ( $b_f/2 < h_n \leq b_c/2$ ), a NBR 8800 indica a fórmula 38 para o cálculo de  $h_n$ . O módulo de resistência plástico,  $Z_{an}$ , fica igual ao módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço,  $Z_a$ , e para o cálculo dos módulos de resistência plástico  $Z_{sn}$  e  $Z_{cn}$  usa-se, ainda, as fórmulas 35 e 36 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 210):

---

(fórmula 39)

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  (cm<sup>2</sup>);

$A_a$  = área da seção transversal do perfil de aço (cm<sup>2</sup>);

$h_c$  = dimensão externa do pilar revestido (cm);

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>).

#### 4.4.3 Seção tubular fletida em torno de x e y

Os pilares preenchidos de seção tubular retangular fletidos em relação ao eixo x, têm o módulo de resistência plástico da armadura longitudinal,  $Z_c$ , calculado pela fórmula 40 da NBR 8800 (considerando a representação da figura 9) (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 210):

(fórmula 40)

Onde:

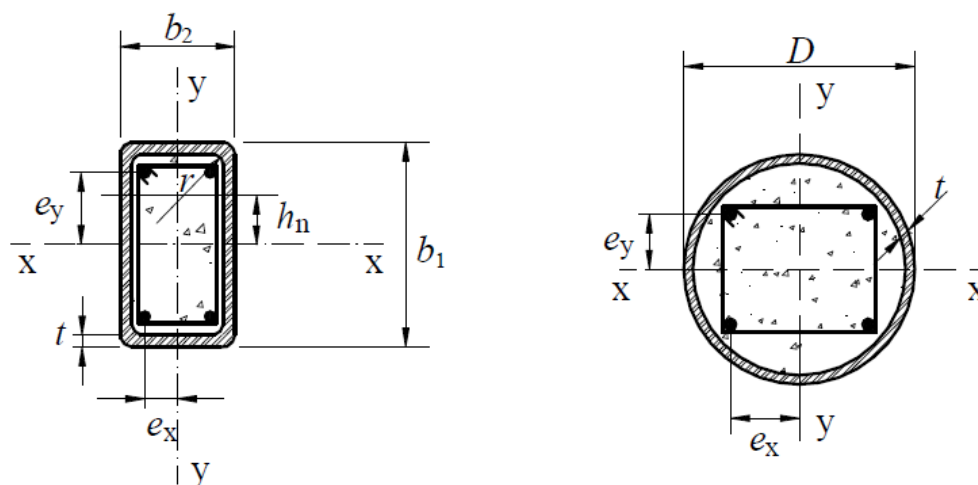
$r$  = raio de curvatura interno dos vértices curvos do perfil metálico tubular retangular (cm);

$b_1$  e  $b_2$  = respectivamente maior e menor dimensão externa da seção tubular retangular (cm);

$t$  = espessura do perfil tubular (cm);

$Z_s$  = módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal (cm<sup>3</sup>);

Figura 9 – Seção tubular preenchida com concreto



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 210)

A posição da linha neutra,  $h_n$ , pode ser determinada pela fórmula 40, retirada da NBR 8800. Os módulos resistentes plásticos,  $Z_{cn}$  e  $Z_{an}$ , são obtidos pelas fórmulas 41 e 42, respectivamente, também indicados na mesma Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 210):

---

(fórmula 41)

(fórmula 42)

(fórmula 43)

Onde:

$b_2$  = maior dimensão externa da seção tubular retangular (cm);

$t$  = espessura do perfil tubular (cm);

$Z_{sn}$  = módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal em relação a linha neutra (cm<sup>3</sup>);

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções (kN/cm<sup>2</sup>);

$A_{sn}$  = soma das áreas da armadura longitudinal na região de altura  $2h_n$  (cm<sup>2</sup>);

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>).

Para o cálculo dos módulos de resistência plásticos de pilares de seção tubular retangular fletidos em relação ao eixo  $y$  (figura 9), a NBR 8800 indica que as dimensões  $b_1$  e  $b_2$  e os subscritos  $x$  e  $y$  sejam permutados nas equações para seção tubular. Não só isso, caso o pilar preenchido tenha seção circular, deve-se utilizar as equações de seção tubular retangular substituindo-se  $b_1$  e  $b_2$  por  $D$ , o diâmetro externo do tubo, e  $r$  por  $(D/2-t)$  (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 210).

#### 4.5 MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE PLASTIFICAÇÃO

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 203) define momento fletor resistente de plastificação de cálculo e o seu valor máximo em relação ao eixo x e y e para seções duplamente simétricas por:

(fórmula 44)

(fórmula 45)

Onde:

$Z_a$  = módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço ( $\text{cm}^3$ );

$Z_s$  = módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal ( $\text{cm}^3$ );

$Z_c$  = módulo de resistência plástico da seção de concreto, considerado não fissurado ( $\text{cm}^3$ );

$Z_{an}$  – módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço em relação a linha neutra ( $\text{cm}^3$ );

$Z_{sn}$  – módulo de resistência plástico da seção da armadura longitudinal em relação a linha neutra ( $\text{cm}^3$ );

$Z_{cn}$  – módulo de resistência plástico da seção de concreto, considerado não fissurado, em relação a linha neutra ( $\text{cm}^3$ );

$f_{cd1}$  = igual ao produto  $\alpha f_{cd}$ , sendo  $\alpha$  igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções ( $\text{kN/cm}^2$ );

$f_{sd}$  = tensão de escoamento de cálculo da armadura longitudinal ( $\text{kN/cm}^2$ );

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço ( $\text{kN/cm}^2$ ).

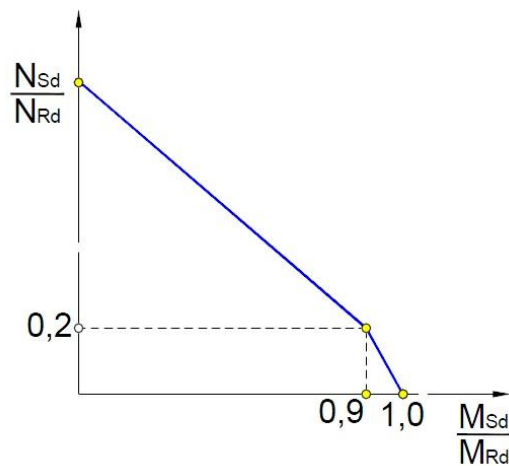
#### 4.6 FLEXO-COMPRESSÃO

A verificação do pilar misto submetido aos efeitos de flexo-compressão pode ser feita através de dois modelos de cálculo, apresentados no anexo P da NBR 8800: o modelo de cálculo I e o modelo de cálculo II descritos a seguir.

### 4.6.1 Modelo de cálculo I

Para Nardin et al. (2010), “O modelo de cálculo I equivale ao utilizado pela Norma americana AISC 360:2005 , que representa a curva de interação Momento-Força Normal por dois trechos de reta figura [...] [10].”. Cada trecho de reta da curva de interação Momento-Força Normal terá uma equação de interação própria que deverá ser avaliada em relação a momentos atuantes em torno dos dois eixos principais de inércia da seção do pilar. Dependendo dos esforços atuantes na seção uma das duas equações interação será a mais adequada.

Figura 10 – Curva de interação modelo I



(fonte: NARDIN et al., 2010)

A NBR 8800 indica as seguintes equações para a verificação do pilar misto utilizando o modelo I (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 204-205):

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad (f\acute{o}rmula 46)$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} \leq 1,0 \quad (f\acute{o}rmula 47)$$

Onde:

$N_{Rd}$  = resistência axial de compressão de cálculo da seção transversal do pilar (kN);

$N_{Sd}$  = força axial solicitante de cálculo (kN);

$M_{x,Sd}$  e  $M_{y,Sd}$  = momento fletor solicitante de cálculo em relação aos eixos x e y (kN.cm);

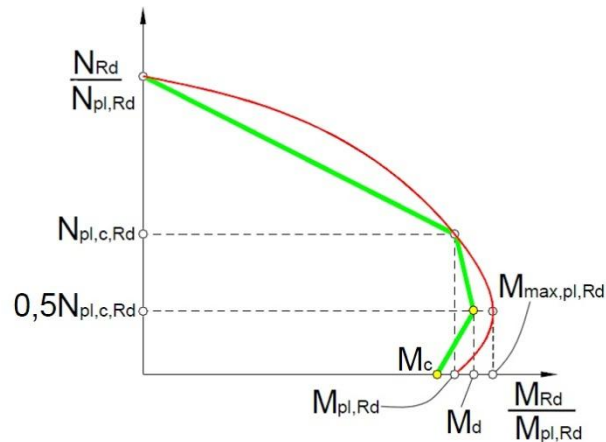
$M_{pl,x,Rd}$  e  $M_{pl,y,Rd}$  – momento fletor resistente à plastificação de cálculo em relação aos eixos x e y (kN.cm).

Para o cálculo do momento fletor resistente à plastificação de cálculo em relação aos eixos x e y utiliza-se a fórmula 43.

#### 4.6.2 Modelo de cálculo II

Para Nardin et al. (2010), “O modelo de cálculo II é inspirado nas curvas de interação Momento-Força Normal adotadas pelo Eurocode 4:2004, que representa a curva de interação por três trechos de reta figura [...] [11].”.

Figura 11 – Curva de interação modelo II



(fonte: NARDIN et al., 2010)

Para a verificação do pilar pelo método de cálculo II, inicialmente, deve-se calcular a resistência da seção de concreto ao esforço axial,  $N_{pl,c,Rd}$ , compará-la ao esforço axial solicitante,  $N_{Sd}$ , para então escolher entre as fórmulas 48, 49 e 50 àquela que fornecerá o valor adequado de  $\mu_x$ . Permutando-se os subscritos x por y nas fórmulas anteriores repete-se o processo para calcular  $\mu_y$ . A NBR 8800 indica as seguintes equações para este procedimento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 205):

(fórmula 48)

(fórmula 49)

(fórmula 50)

(fórmula 51)

Onde:

$A_c$  = área da seção transversal do concreto não fissurado (cm<sup>2</sup>);

$N_{pl,c,Rd}$  = força axial resistente de cálculo à plastificação do concreto (kN);

$N_{pl,Rd}$  = força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total da seção (kN);

$N_{Sd}$  = força axial solicitante de cálculo (kN);

$M_{c,x}$  e  $M_{c,y}$  = 90% do momento fletor resistente à plastificação de cálculo em relação aos eixos x e y (kN.cm);

$M_{d,x}$  e  $M_{d,y}$  = 80% do momento resistente à plastificação de cálculo máximo em relação aos eixos x e y (kN.cm).

Caso  $M_{d,x}$  seja menor que  $M_{c,x}$  faz-se então  $M_{d,x}$  igual a  $M_{c,x}$ . Da mesma forma, caso  $M_{d,y}$  seja menor que  $M_{c,y}$  faz-se então  $M_{d,y}$  igual a  $M_{c,y}$ .

Para se obter os momentos fletores solicitantes de cálculo totais, inicialmente são calculados os momentos fletores devidos às imperfeições ao longo do pilar,  $M_{x,i,Sd}$  e  $M_{y,i,Sd}$ , através das equações da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 206):

$$\frac{M_{x,Sd}}{N_{Sd} L_x} + \frac{M_{y,Sd}}{N_{Sd} L_y} \leq \frac{f_{ctd}}{E_c} \quad (f\u00f3rmula 52)$$

$$\frac{M_{x,i,Sd}}{N_{Sd} L_x} + \frac{M_{y,i,Sd}}{N_{Sd} L_y} \leq \frac{f_{ctd}}{E_c} \quad (f\u00f3rmula 53)$$

$$\frac{M_{x,Sd}}{N_{Sd} L_x} + \frac{M_{y,i,Sd}}{N_{Sd} L_y} \leq \frac{f_{ctd}}{E_c} \quad (f\u00f3rmula 54)$$

$$\frac{M_{x,i,Sd}}{N_{Sd} L_x} + \frac{M_{y,Sd}}{N_{Sd} L_y} \leq \frac{f_{ctd}}{E_c} \quad (f\u00f3rmula 55)$$

$$\frac{M_{x,i,Sd}}{N_{Sd} L_x} + \frac{M_{y,i,Sd}}{N_{Sd} L_y} \leq \frac{f_{ctd}}{E_c} \quad (f\u00f3rmula 56)$$

$$\frac{M_{x,Sd}}{N_{Sd} L_x} + \frac{M_{y,i,Sd}}{N_{Sd} L_y} \leq \frac{f_{ctd}}{E_c} \quad (f\u00f3rmula 57)$$

Onde:

$M_{x,Sd}$  e  $M_{y,Sd}$  = momento fletor solicitante de c\u00e1lculo em rela\u00e7\u00e3o aos eixos x e y (kN.cm);

$M_{x,i,Sd}$  e  $M_{y,i,Sd}$  = momento fletor devido as imperfei\u00e7\u00f5es ao longo do pilar em rela\u00e7\u00e3o aos eixos x e y (kN.cm);

$N_{Sd}$  = for\u00e7a axial solicitante de c\u00e1lculo (kN);

$L_x$  e  $L_y$  = comprimento de flambagem do pilar \u00e0 flex\u00e3o em rela\u00e7\u00e3o aos eixo x e y (cm);



$(EI)_{e,x}$  e  $(EI)_{e,y}$  = rigidez efetiva à flexão da seção transversal mista em relação aos eixos x e y ( $\text{kN.cm}^2$ ).

Calculados os momentos fletores solicitantes de cálculo totais, escolhe-se o momento que leva ao resultado mais desfavorável na fórmula 57. Em outras palavras aquele que faz a equação de interação assumir o maior valor. Esta equação de interação é aplicável somente quando a resistência à compressão simples da seção for maior que a sollicitação axial. A equação de interação conforme a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 205) é dada por:

(fórmula 58)

Onde:

$M_{x,tot,Sd}$  e  $M_{y,tot,Sd}$  = momento fletor solicitante de cálculo total em relação aos eixos x e y ( $\text{kN.cm}$ );

$M_{c,x}$  e  $M_{c,y}$  = 90% do momento fletor resistente à plastificação de cálculo em relação aos eixos x e y ( $\text{kN.cm}$ );

$N_{Sd}$  = força axial solicitante de cálculo ( $\text{kN}$ );

$N_{Rd}$  = resistência axial de compressão de cálculo da seção transversal do pilar ( $\text{kN}$ ).

#### 4.7 CISALHAMENTO

O cálculo do cisalhamento na interface do perfil de aço e do concreto é necessário para a avaliação da ação conjunta dos materiais aço e concreto. Caso o esforço de cisalhamento ultrapasse valores estabelecidos pela Norma, a hipótese básica de interação completa dos materiais prevista pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 198) não é satisfeita, sendo assim existe a necessidade de colocar conectores de cisalhamento ao longo do pilar. Nas subseções a seguir são apresentados os cálculos necessários para esta avaliação e as fórmulas para o cálculo da força de atrito adicional devida aos conectores de cisalhamento. Não apenas isso como também, são mostradas as verificações necessárias para avaliar a resistência dos pilares mistos aos esforços cortantes atuantes na sua seção transversal.

### 4.7.1 Regiões de introdução de cargas

As regiões de introdução de cargas para NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 199) são:

[...] aquelas onde ocorrem variações localizadas dos esforços solicitantes devidas a ligações do pilar com vigas, ou aquelas onde ocorre interrupção da armadura longitudinal, como emendas do pilar ou em bases. Nessas regiões deve-se evitar que ocorra escorregamento significativo na interface entre o concreto e o perfil de aço. Para isso, assume-se um comprimento de introdução de carga igual a duas vezes a menor dimensão da seção do pilar ou um terço da distância entre pontos de introdução de carga igual, ou o que for menor.

As tensões de cisalhamento na interface entre aço e concreto são calculadas a partir dos esforços cortante,  $V_{1,Sd}$ , e momento fletor,  $M_{1,Sd}$ , atuantes na região de aplicação de carga. Estes esforços são calculados pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 199) para dois casos por meio das seguintes fórmulas.

Viga ligada apenas no perfil de aço:

\_\_\_\_\_ (fórmula 59)

\_\_\_\_\_ (fórmula 60)

(fórmula 61)

Viga ligada apenas ao concreto:

$$\text{_____} \quad \text{(fórmula 62)}$$

$$\text{_____} \quad \text{(fórmula 63)}$$

Onde:

$V_{Sd}$  = força cortante solicitante de cálculo na ligação (kN);

$N_{pl,a,Rd}$  = força axial resistente de cálculo à plastificação do perfil de aço (kN);

$N_{pl,Rd}$  = força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total da seção (kN);

$M_{Sd}$  = momento fletor solicitante de cálculo na ligação (kN.cm);

$M_{pl,a,Rd}$  = contribuição devido ao perfil de aço ao momento fletor resistente à plastificação de cálculo de cálculo (kN.cm);

$M_{pl,Rd}$  = momento fletor resistente à plastificação de cálculo de cálculo (kN.cm);

$Z_a$  = módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço (cm<sup>3</sup>);

$Z_{an}$  = módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço em relação a linha neutra (cm<sup>3</sup>);

$f_{yd}$  = tensão de escoamento de cálculo do perfil de aço (kN/cm<sup>2</sup>).

Se as tensões de cisalhamento na interface aço e concreto ultrapassarem as tensões de cisalhamento resistentes presentes na tabela 3, da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 200), deverão ser previstos conectores de cisalhamento para resistir à totalidade dos esforços de cisalhamento atuantes.

Tabela 3 – Tensão de cisalhamento resistente de cálculo

Tipo de seção transversal do pilar misto	$\tau_{Rd}$ MPa
Seção totalmente revestida com concreto	0,30 (ver P.2.2.3)
Seção tubular circular preenchida com concreto	0,55
Seção tubular retangular preenchida com concreto	0,40
Mesas de seção parcialmente revestida com concreto	0,20
Almas de seção parcialmente revestida com concreto	0,00

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 201)

A NBR 8800 no item P.2.2.3 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 201) define que é possível amplificar a tensão de cisalhamento resistente de cálculo por um fator  $\beta_c$  dado por:

(fórmula 64)

Onde:

$C_y$  = cobrimento do perfil de aço conforme a figura 2(a) (mm).

#### 4.7.2 Trechos entre regiões de introdução de cargas

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 200) estabelece que devem ser utilizados conectores de cisalhamento no trecho do pilar que ficar entre as zonas de introdução de cargas, ou seja, nos trechos afastados de emendas ou ligações com vigas sempre que as tensões de cisalhamento atuantes ultrapassarem as tensões resistentes de cálculo estabelecidas na tabela 3. Entretanto é opcional a colocação de conectores de cisalhamento para seções totalmente revestidas ou preenchidas quando a relação entre o esforço solicitante de cálculo pela força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total da seção for superior a 0,3.

### 4.7.3 Forças de atrito devido aos conectores de cisalhamento

A resistência que um conector tipo pino com cabeça, segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 189), é igual ao menor valor obtido por meio das fórmulas a seguir:

$$\frac{A_{cs} \cdot f_{ck}}{\gamma_{cs}} \quad \text{(fórmula 65)}$$

$$\frac{R_g \cdot R_p \cdot f_{ucs}}{E_c} \quad \text{(fórmula 66)}$$

Onde:

$A_{cs}$  = área da seção transversal do conector (cm<sup>2</sup>);

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$E_c$  = módulo de elasticidade do concreto (kN/cm<sup>2</sup>);

$\gamma_{cs}$  = coeficiente de ponderação da resistência do conector igual a 1,25 (adimensional);

$R_g$  = coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores por segurança igual a 0,7 (adimensional);

$R_p$  = coeficiente para consideração da posição do conector tomado igual a 1,0 (adimensional);

$f_{ucs}$  = tensão última à ruptura do aço do conector (kN/cm<sup>2</sup>).

Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 201), quando existem conectores tipo pino com cabeça ligados à alma de um perfil I ou H de uma seção total ou parcialmente revestida com concreto, é possível estimar uma resistência adicional a ser somada a resistência ao cisalhamento original dos conectores. Esta resistência adicional em cada mesa equivale a:

$$\frac{A_{cs} \cdot f_{ck}}{\gamma_{cs}} \quad \text{(fórmula 67)}$$

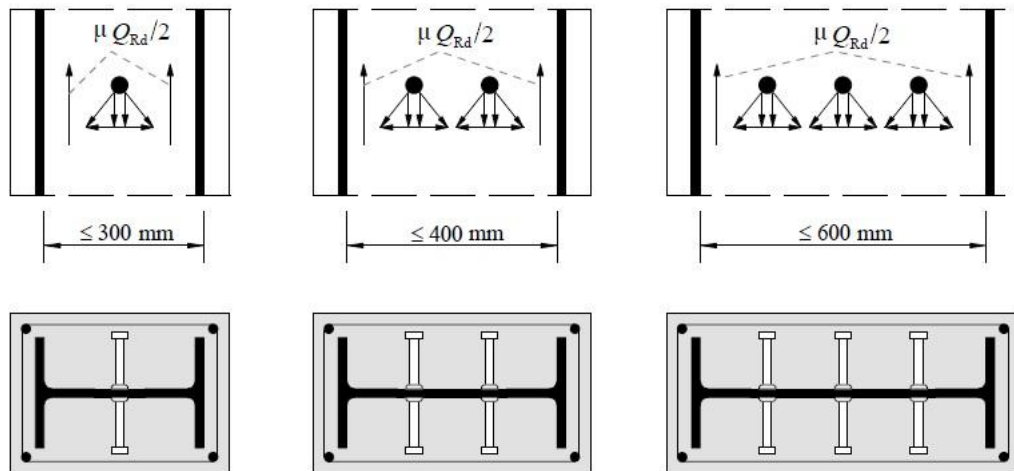
Onde:

$\mu$  = é o coeficiente de atrito igual a 0,5 para perfis de aço sem pintura (adimensional);

$Q_{Rd}$  = é a força resistente de cálculo de um pino (kN).

Esta mesma Norma estabelece uma distância livre entre mesas máxima em função do número de conectores conforme é mostrado na figura 12.

Figura 12 – Forças de atrito adicionais devido aos conectores de pino com cabeça



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 202)

#### 4.7.4 Resistência ao esforço cortante

Para NBR 8800 as forças cortantes atuantes na seção transversal do pilar misto podem ser consideradas atuantes apenas no perfil metálico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 204). Logo deve ser calculada a resistência do perfil de aço aos esforços cortantes para estabelecer a resistência do elemento frente a esses esforços.

A NBR 8800 propõem as equações 68, 69 e 70 para o cálculo da resistência ao esforço cortante para cada um dos regimes de deformação, que o perfil de aço pode se encontrar, (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 50):

(fórmula 68)

\_\_\_\_\_ (fórmula 69)

\_\_\_\_\_ (fórmula 70)

Onde:

$\lambda$  = índice de esbeltez (adimensional);

$\lambda_p$  = parâmetro de esbeltez limite do regime de plastificação (adimensional);

$\lambda_r$  = parâmetro de esbeltez limite do regime inelástico (adimensional);

$V_{pl}$  = força cortante resistente à plastificação (kN);

$\gamma_a$  = coeficiente de ponderação da resistência do aço igual a 1,10 (adimensional).

E a fórmula 71, presente também na NBR 8800, é usada para o cálculo da força cortante resistente à plastificação,  $V_{pl}$ , (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 51):

\_\_\_\_\_ (fórmula 71)

Onde:

$A_w$  = área efetiva ao cisalhamento (cm<sup>2</sup>);

$f_y$  = tensão de escoamento do aço (kN/cm<sup>2</sup>).

Primeiramente, calcula-se o índice de esbeltez,  $\lambda$ , da alma ou da mesa e compara-se com o parâmetro de esbeltez limite do regime de plastificação,  $\lambda_p$ , e o parâmetro de esbeltez limite do regime inelástico,  $\lambda_r$ . Para perfis tipo I ou H fletidos em relação ao eixo perpendicular à alma  $\lambda$ ,  $\lambda_p$  e  $\lambda_r$  são dados pela NBR 8800 conforme segue (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 50):

—

(fórmula 72)

——  
——

(fórmula 73)

——  
——

(fórmula 74)

Onde:

$h$  = altura da alma (cm);

$t_w$  = espessura da alma (cm);

$k_v$  = coeficiente igual a 5 para perfis sem enrijecedores de alma (adimensional);

$E_a$  = módulo de elasticidade do aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_y$  = tensão de escoamento do aço (kN/cm<sup>2</sup>).

A área efetiva de cisalhamento é dada por esta mesma Norma como segue (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 51):

(fórmula 75)

Onde:

$D$  = altura total da seção transversal (cm);

$t_w$  = espessura da alma (cm).



Para perfis tipo I ou H fletidos em relação ao eixo perpendicular às mesas  $\lambda$ ,  $\lambda_p$  e  $\lambda_r$  são dados pelas fórmulas 72, 73 e 74 e a área efetiva ao cisalhamento é segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 50) igual a:

(fórmula 76)

Onde:

$b_f$  = altura da alma somada à espessura das mesas (cm);

$t_w$  = espessura da alma (cm).

Para as seções tubulares retangulares, a resistência ao cisalhamento é dada pelas fórmulas 68, 69 e 70. Com  $k_v$  igual a 5,  $h$  equivalente altura da parte plana das almas e  $t_w$  igual a espessura das almas. A força cortante à plastificação é dada também pela fórmula 71. Para o cálculo da área efetiva ao cisalhamento a NBR 8800 indica a fórmula a seguir (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 51):

(fórmula 77)

Onde:

$h$  = altura da parte plana da alma (cm);

$t_w$  = espessura da alma (cm).

O cálculo da resistência ao cisalhamento para perfis tipo tubular circular é dado pela fórmula 78 presente na NBR 8800. Essa fórmula depende da tensão de cisalhamento crítico que é dada pelo maior valor obtido pelas fórmulas 79 e 80 presentes nesta mesma Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 52):

(fórmula 78)

$$\frac{\tau_v}{\tau_{cr}} \leq 1$$

(fórmula 79)

$$\frac{L_v}{d} \leq 100$$

(fórmula 80)

Onde:

$\tau_{cr}$  = tensão crítica de cisalhamento (kN);

$d$  = diâmetro externo do perfil tubular (cm);

$A_g$  = área bruta da seção do perfil de aço (cm<sup>2</sup>);

$\gamma_a$  = coeficiente de ponderação da resistência do aço igual a 1,10 (adimensional);

$E_a$  = módulo de elasticidade do aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$f_y$  = tensão de escoamento do aço (kN/cm<sup>2</sup>);

$L_v$  = distância entre as seções de força cortante máxima e nula (cm);

$t_d$  = espessura de cálculo da parede do tubo (cm).

A espessura de cálculo da parede do tubo é equivalente a 0,93 vezes a espessura nominal do tubo para tubos com costura. Já para tubos sem costura é igual a própria espessura nominal conforme prevê a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 52).

## 5 O PROGRAMA

O programa, desenvolvido ao longo deste trabalho, verifica seções mistas à compressão simples, à flexo-compressão e ao cortante no Estado Limite Último. O mesmo foi elaborado com auxílio do programa Visual Basic Express 2010, fazendo-se o uso de um banco de dados montado no Microsoft Access 2010. Nas seções que se sucedem, também, é apresentada a interface de utilização do programa, seu modo de utilização, e é descrito, brevemente, como foi feita a validação dos resultados. Ao final do capítulo são mostrados alguns exemplos de dimensionamento obtidos por meio deste programa. No anexo A deste trabalho é mostrado o algoritmo para seções do tipo A implementado neste programa.

### 5.1 BANCO DE DADOS

Para a elaboração do banco de dados, utilizado pelo programa, foi escolhido o Microsoft ACCESS 2010 que tem a interface composta por células, muito similar com a do Microsoft Excel. Optou-se por este programa devido à facilidade que se encontrou para organizar e criar o banco de dados. E, também, porque o Visual Basic oferece bons recursos para fazer a comunicação entre programa e banco. Cada linha do banco possui informações geométricas próprias de um perfil de aço, e cada uma das colunas foi identificada com uma propriedade geométrica única, por exemplo: área, momento de inércia, módulo de resistência plástico etc. O usuário pode editar este banco de dados, caso possua o ACCESS instalado em seu computador, e adicionar outros perfis.

### 5.2 A INTERFACE

O programa é composto por cinco telas diferentes. Na tela inicial, mostrada na figura 13, é dada a opção ao usuário para escolher um dos quatro tipos de seção, cada uma identificada por sua respectiva letra, conforme foi mostrado anteriormente na figura 2. Ao escolher um dos tipos de seção, a tela inicial mostrará uma figura com o respectivo tipo de pilar selecionado.

Figura 13 – Tela inicial do programa



(fonte: elaborado pelo autor)

Ao escolher o tipo de seção desejada, e clicando em <Confirmar>, aparecerá a tela correspondente a opção escolhida como mostrado na figura 14.

Figura 14 – Tela seção mista tipo A

**Dados da Seção**

Tipo de Seção: A

Perfil: CVS 400 x 103

Altura: 55 cm

Largura: 50 cm

Ø Armadura: 2,00 cm

Cobrimento: 2 cm

**Comprimento de Flambagem**

Lx: 270 cm

Ly: 270 cm

K: 0,65

**Solicitações**

Mx,Sd: 15000 kN.cm

My,Sd: 15000 kN.cm

NSd: 1500 kN

VSd: 300 kN

**Materiais**

Perfil: MR 250

fy: 25 kN/cm<sup>2</sup>

Concreto: C20

fck: 2,0 kN/cm<sup>2</sup>

Armadura: CA50

fys: 50 kN/cm<sup>2</sup>

**Verificações de Aplicabilidade**

Geométrica:

Taxa de Armadura:

Fator de contribuição do Aço:

Índice de Esbelte:

Cx:

Cy:

**Verificação à Compressão Simples**

Npl,Rd:  kN

NRd:  kN

Aproveitamento:

**Verificação à Flexão Compressão**

Mpl,Rdx:  kN.cm

Mpl,Rdy:  kN.cm

Modelo I:

Modelo II:

**Verificação ao Cisalhamento**

VRd:  kN

Aproveitamento:

Aderência:

**Dimensões do Perfil**

d: 40 cm

bf: 30 cm

tf: 1,6 cm

tw: 0,95 cm

h: 36,8 cm

**Áreas**

Aa: 131 cm<sup>2</sup>

Ac:  cm<sup>2</sup>

As:  cm<sup>2</sup>

Verificar Aplicabilidade do Método:

Verificar Seção:

(fonte: elaborado pelo autor)

Esta tela é composta por nove agrupamentos. Podem-se dividir os agrupamentos em três tipos: os relacionados às características do pilar, solicitações atuantes e aos resultados das verificações previstas pelo software.

No primeiro agrupamento, mostrado na figura 15, é possível escolher o tipo de perfil de aço, o diâmetro da armadura longitudinal e nas seções do tipo A e B deve ser devido também o cobrimento de armadura. Nestes dois tipos de seção em função do cobrimento da armadura são definidos os valores de  $e_x$  e  $e_y$  necessários para o cálculo do módulo de resistência plástico conforme foi apresentado no capítulo 4. Para as seções totalmente revestidas, é dada a opção de definir a altura e a largura da seção transversal, que deve ser estabelecida de forma a serem respeitados os cobrimentos mínimos e máximos do perfil de aço.

Figura 15 – Agrupamento: dados da seção

Dados da Seção

Tipo de Seção	A
Perfil	CVS 400 x 103
Altura	55 cm
Largura	50 cm
Ø Armadura	2,00 cm
Cobrimento	2 cm

(fonte: elaborado pelo autor)

No agrupamento seguinte, como mostrado na figura 16, o usuário deverá definir o comprimento de flambagem livre do pilar em relação aos eixos x e y. Para se considerar no cálculo o tipo de vinculação das extremidades do pilar, deve-se escolher um valor de coeficiente K correspondente à vinculação esperada conforme foi mostrado na figura 6.

Figura 16 – Agrupamento: comprimento de flambagem

Comprimento de Flambagem

Lx	200 cm
Ly	200 cm
K	1,0

(fonte: elaborado pelo autor)

No agrupamento reservado para a escolha dos materiais, conforme é apresentado na figura 17, deve-se escolher o tipo de concreto, o tipo de aço do perfil metálico e da armadura longitudinal. Foram adotados materiais normatizados pela ABNT.

Figura 17 – Agrupamento: materiais

Materiais		
Perfil	MR 250	
$f_y$	25	kN/cm <sup>2</sup>
Concreto	C20	
$f_{ck}$	2,0	kN/cm <sup>2</sup>
Armadura	CA50	
$f_{ys}$	50	kN/cm <sup>2</sup>

(fonte: elaborado pelo autor)

A seguir são estabelecidas as solicitações atuantes no agrupamento referente às solicitações apresentado na figura 18.

Figura 18 – Agrupamento: solicitações

Solicitações		
$M_{x,Sd}$	20000	kN.cm
$M_{y,Sd}$	20000	kN.cm
$N_{Sd}$	3000	kN
$V_{Sd}$	300	kN

(fonte: elaborado pelo autor)

Concluída a etapa preliminar de preenchimento dos campos acima, deve-se clicar em <Verificar aplicabilidade do método> para a obtenção dos resultados apresentados no agrupamento de verificações de aplicabilidade mostrado na figura 19.

Figura 19 – Agrupamento: verificações de aplicabilidade

Verificações de Aplicabilidade		
Geométrica	1,07	OK
Taxa de Armadura	0,04%	RUIM
Fator de contribuição do Aço	0,66	OK
Índice de Esbeltez	0,14	OK
Cx	7,50	RUIM
Cy	10,00	OK

(fonte: elaborado pelo autor)

Caso não se obtenha conformidade para todas as verificações listadas, deve-se redefinir a propriedade da seção responsável pela não conformidade. Como mostrado na figura 19, a propriedade que se deve redefinir seria o diâmetro de armadura. Para que a taxa de armadura fique dentro dos limites de conformidade, é necessário aumentar seu diâmetro. As verificações de aplicabilidade, mostradas ao longo do texto, dependem do tipo de seção a ser avaliada. A verificação geométrica deve verificar a exequibilidade da posição da armadura na seção transversal.

Depois de obtida a conformidade em todas as verificações de aplicabilidade, é possível clicar em <Verificar seção>. Assim o programa calculará a resistência à compressão simples, ao cortante, e por fim resolverá as inequações dos modelos de cálculo I e II. O aproveitamento calculado para o esforço cortante e a compressão simples é igual ao esforço atuante dividido pela respectiva resistência. Caso o aproveitamento da seção frente a esforços cortantes ou de compressão seja superior a 1,00, ou ainda os resultados das inequações dos modelos de cálculo I e II forem superiores a 1,00, o pilar não estará em segurança conforme é possível observar na figura 20.

Ainda neste agrupamento é feita a análise de aderência dos materiais aço e concreto nos trechos entre regiões de introdução de cargas. É calculada a tensão de cisalhamento resistente do pilar e é comparada a tensão de cisalhamento solicitante nesse trecho. Como foi mencionado anteriormente na seção 4.7.2, é facultativa a utilização de conectores de cisalhamento para seções preenchidas e revestidas quando o esforço solicitante axial for equivalente a pelo menos 30% da resistência a compressão simples. Deve-se respeitar essa relação em seções preenchidas em virtude da dificuldade de utilização de conectores de cisalhamento neste tipo de seção.

Figura 20 – Resultados de uma verificação não satisfatória

Verificação à Compressão Simples		
Npl,Rd	18.476,73	kN
NRd	18.337,80	kN
Aproveitamento	0,38	OK

Verificação à Flexo Compressão		
Mpl,Rdx	322.986,36	kN.cm
Mpl,Rdy	219.281,85	kN.cm
Modelo I	1,96	RUIM
Modelo II	2,15	RUIM

Verificação ao Cisalhamento		
VRd	5.625,00	kN
Aproveitamento	0,05	OK
Aderência		OK

(fonte: elaborado pelo autor)

O usuário poderá modificar os tipos de materiais utilizados, diâmetro de armadura ou ainda trocar o tipo de perfil para obter uma seção com maior resistência. Sempre após ser modificada alguma especificação do pilar é necessário testar novamente a aplicabilidade do método. Na figura 21 são mostrados os resultados finais para uma seção revestida, na qual se obteve segurança para as verificações.



Figura 21 – Resultados de uma verificação para uma seção tipo A

(fonte: elaborado pelo autor)

### 5.3 VALIDAÇÃO DE RESULTADOS

A validação dos resultados obtidos por este programa foi feita através da comparação com resultados obtidos junto à bibliografia. Os valores referentes aos módulos de resistência plástica obtidos pelo programa foram equivalentes aos presentes em Figueiredo<sup>4</sup> (1998, p. 120). Os valores fornecidos pelo programa para o modelo de cálculo I e II são próximos aos apresentados por Nardin e Pulido<sup>5</sup> (2012).

### 5.4 EXEMPLOS

Utilizando o programa desenvolvido ao longo deste trabalho, nesta seção são resolvidos alguns exemplos, e os seus resultados são apresentados em tabelas nas suas respectivas

<sup>4</sup>Na revisão bibliográfica não estão presentes os dados deste estudo, os dados foram utilizados somente para fins de comparação neste trabalho.

<sup>5</sup>Idem.

subseções. Ao longo desta seção é feita uma breve comparação entre dois modelos de cálculo para verificação de pilares mistos submetidos à flexo-compressão.

### 5.4.1 Exemplo 1

Verificação de quatro pilares, cujas seções estão especificadas na tabela 4, de comprimento de 2,7 m, engastado nas suas extremidades, cuja armadura longitudinal tenha cobrimento de 20 mm. O esforço axial é igual a 1500 kN, cortante igual a 300 kN e os momentos em torno dos eixos x e y são iguais a 15000 kN/cm<sup>2</sup>. O aço do perfil CS é o ABNT MR 250 e tipo B para as seções preenchidas, o aço da armadura é CA50 e o concreto, do tipo C20.

Tabela 4 – Dimensões da seção transversal dos pilares do exemplo 1

Pilar	1	2	3	4
Tipo de Seção	A	B	C	D
Perfil	CS 400 x 106	CS 400 x 106	TQ 290 x 106	TC 355,6 x 10
Altura (cm)	55	-	-	-
Largura (cm)	55	-	-	-
∅ Armadura (mm)	20	20	20	20

(fonte: elaborado pelo autor)

Por meio dos resultados obtidos pelo programa, os quatro pilares verificados apresentaram condições de resistir aos esforços solicitantes propostos. Os resultados estão expostos na tabela 5. O pilar 1 de seção mista revestida apresentou a maior resistência dentre os tipos analisados. Para este exemplo, o modelo de cálculo I teve resultados mais conservadores do que os obtidos pelo modelo de cálculo II, com exceção do pilar 3. Neste pilar, a resistência característica do concreto é muito menor que a tensão de escoamento do aço. Neste pilar o aço representa 74% da resistência à compressão.

Tabela 5 – Resultados do exemplo 1

Pilar	1	2	3	4
NRd (kN)	7019	5799	5167	4651
Aproveitamento	0,21	0,26	0,29	0,32
VRd (kN)	1364	1363	983	1068
Aproveitamento	0,22	0,22	0,31	0,28
Mpl,Rdx (kN.cm)	74668	72705	46679	41934
Mpl,Rdy (kN.cm)	60508	42931	46679	41934
Modelo I	0,61	0,75	0,86	0,96
Modelo II	0,54	0,69	0,89	0,94

(fonte: elaborado pelo autor)

### 5.4.2 Exemplo 2

Verificação de quatro pilares, cujas seções estão especificadas na tabela 4 mostrada acima, de comprimento de 2,7 m, engastado nas suas extremidades, cuja armadura longitudinal tenha cobrimento de 20 mm. O esforço axial é igual a 2000 kN, cortante igual a 600 kN e os momentos em torno do eixo x igual a 25000 kN/cm<sup>2</sup> e momento em torno do eixo y igual a 15000 kN/cm<sup>2</sup>. O aço do perfil CS é o ABNT MR 250 e tipo B para as seções preenchidas, o aço da armadura, CA50, e o concreto, tipo C20.

Na tabela 6 são apresentados os resultados obtidos pelo programa para o exemplo 2. Somente os pilares 1 e 2 poderão resistir aos novos esforços. Para os outros dois pilares as equações de interação do modelo I convergiram para valores menores que os do modelo II.

Tabela 6 – Resultados do exemplo 2

Pilar	1	2	3	4
NRd (kN)	7019	5799	5167	4651
Aproveitamento	0,28	0,34	0,39	0,43
VRd (kN)	1364	1363	983	1068
Aproveitamento	0,44	0,44	0,61	0,56
Mpl,Rdx (kN.cm)	74668	72705	46679	41934
Mpl,Rdy (kN.cm)	60508	42931	46679	41934
Modelo I	0,80	0,96	1,15	1,28
Modelo II	0,70	0,91	1,34	1,43

(fonte: elaborado pelo autor)

### 5.4.3 Exemplo 3

Verificação de quatro pilares, cujas seções estão especificadas na tabela 4 mostrada acima, de comprimento de 2,7 m, engastado nas suas extremidades, cuja armadura longitudinal tenha cobrimento de 20 mm. O esforço axial é igual a 4000 kN, cortante igual a 1400 kN e o momento em torno do eixo x igual a 40000 kN/cm<sup>2</sup> e momento em torno do eixo y igual a 25000 kN/cm<sup>2</sup>. O aço do perfil CS é o ABNT MR 250 e tipo B para as seções preenchidas, o aço da armadura, CA50, e o concreto, tipo C20.

Na tabela 7 são apresentados os resultados da verificação para os esforços solicitantes estabelecidos no exemplo 3. Nenhum dos pilares apresentou conformidade para as verificações feitas. O resultado da verificação do pilar 1 obtido pelo modelo de cálculo II convergiu para um resultado menos desfavorável do que o obtido pelo outro modelo. Para todos os outros exemplos, onde não se obteve conformidade, o modelo I conseguiu resultados menos desfavoráveis. O pilar 1, dos quatro verificados neste exemplo, é o que possui maior quantidade de concreto e seu fator de contribuição do aço é igual a 0,45, sendo o menor dos quatro verificados. Apesar do modelo de cálculo II ser mais trabalhoso em sua aplicação, esse tende a oferecer resultados mais favoráveis do que os obtidos pelo modelo I, principalmente, quanto maior for a contribuição de resistência fornecida pelo concreto a seção.

Tabela 7 – Resultados do exemplo 3

Pilar	1	2	3	4
NRd (kN)	7019	5799	5167	4651
Aproveitamento	0,57	0,69	0,77	0,86
VRd (kN)	1364	1363	983	1068
Aproveitamento	1,03	1,03	1,42	1,31
Mpl,Rdx (kN.cm)	74668	72705	46679	41934
Mpl,Rdy (kN.cm)	60508	42931	46679	41934
Modelo I	1,41	1,70	2,01	2,24
Modelo II	1,31	2,52	4,38	5,46

(fonte: elaborado pelo autor)

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo final é apresentada uma análise dos objetivos estabelecidos no início deste trabalho. Também são levantados alguns pontos que merecem maior destaque em futuros estudos, visto que não puderam ser devidamente aprofundados em função do curto período de tempo disponível.

O objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de um software em *Visual Basic* que verificasse pilares mistos submetidos à compressão simples e à flexo-compressão pelos modelos de cálculo I e II apresentados no anexo P da NBR 8800:2008. O programa proposto foi capaz de verificar todos os tipos de seção previstos pela Norma, conseguindo resultados condizentes com aqueles obtidos junto à bibliografia. Apesar disto indica-se a utilização desse programa somente para fins acadêmicos.

Também foram descritos de forma objetiva todas as etapas de cálculo envolvidas na verificação de pilares mistos, sendo utilizado o método simplificado e seus dois modelos de cálculo. Ao final do capítulo 5, foram resolvidos exemplos utilizando a ferramenta computacional desenvolvida ao longo deste trabalho. Com os resultados obtidos foi feita uma comparação entre os dois modelos de cálculo. E a partir disto pode-se concluir que apesar do modelo de cálculo II ser mais trabalhoso na sua aplicação, conseguiu-se, por meio dele, resultados menos conservadores.

Dentro deste assunto seria válido analisar com mais detalhamento os princípios envolvidos na avaliação do comportamento conjunto entre o aço e o concreto. Para tanto, deveria ser feita uma pesquisa mais detalhada sobre conectores de cisalhamento e sua aplicação em pilares mistos. Outro aspecto que poderia ser abordado é o das ligações mistas, que devido ao reduzido escopo deste trabalho, não pode ser analisado. Seria interessante realizar estas avaliações em futuros estudos.

A realização deste trabalho permitiu a pesquisa de um assunto que não foi trabalhado com grande destaque ao longo do curso de Engenharia Civil. Além disso, o desenvolvimento de um software veio a agregar um conhecimento maior sobre programação, sendo este importante para qualquer profissional que trabalhe com cálculo estrutural.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: ações e segurança nas estruturas – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ARAÚJO, A. H. M. Construção Metálica Tubular. **Revista Construção Metálica**, Belo Horizonte, n. 104, p. 32-36, dez. 2011. Disponível em: <[www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos-ler.php?cod=5436&bsc=>](http://www.cbca-acobrasil.org.br/artigos-tecnicos-ler.php?cod=5436&bsc=>). Acesso em: 3 jun. 2012.

BIANCHI, F. R. **Análise do Comportamento dos Pilares Mistos Considerando a Utilização de Conectores de Cisalhamento**. 2002. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2002.

BRAGA, A. C. G.; FERREIRA, W. G. Pilares mistos aço-concreto e comparativo de custo com pilares de aço e pilares de concreto armado. **REM: Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 4, p. 407-414, out./dez. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_pdf&pid=S0370-44672011000500004&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_pdf&pid=S0370-44672011000500004&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt)>. Acesso em: 1 maio. 2012.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Eurocode 4**: design of composite steel and concrete structures. Part 1.1: general rules and rules for buildings. Brussels, 2004.

FIGUEIREDO, L. M. B. **Projeto e Construção de Pilares Mistos Aço-Concreto**. 1998. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

GRUPO MEDABIL. Construção em tempo recorde. Canoas, 2011. Disponível em: <<http://construcaoemtemporecorde.com.br/a-construcao>> Acesso em: 10 maio. 2012.

KATAOKA, M. N. **Estudo do Comportamento de Ligações Viga-Pilar Preenchido Submetidas a Ações Cíclicas**. 2011. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

NARDIN, S. de; SOUZA, A. S. C. de; EL DEBS, H.; EL DEBS, M. K. Estruturas Mistas Aço-Concreto: origem, desenvolvimento e perspectivas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Olinda. **Anais...** São Paulo: Ibracon, 2005. Não paginado.

NARDIN, S. de; SOUZA, A. S. C. de; TOLEDO, G. N. Viabilidade da Utilização de pilares mistos Parcialmente Revestidos em Edifícios de Múltiplos Pavimentos: estudo de caso. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 4., 2010, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABCEM, 2010. Não Paginado. Disponível em: <<http://www.construmetal.com.br/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/8-viabilidade-da-utilizacao-de-pilares-mistos.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

NARDIN, S. de; PULIDO, A. C. Sistematização do dimensionamento a flexo-compressão de pilares mistos preenchidos de seção retangular. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DA CONSTRUÇÃO METÁLICA, 6., 2012, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABCEM, 2012. Não Paginado. Disponível em: <[http://www.abcem.org.br/construmetal/arquivos/Cont-tecnicas/apresentacoes/16\\_SISTEMATIZACAO-DO-DIMENSIONAMENTO-A-FLEXO-COMPRESSAO-DE-PILARES.pdf](http://www.abcem.org.br/construmetal/arquivos/Cont-tecnicas/apresentacoes/16_SISTEMATIZACAO-DO-DIMENSIONAMENTO-A-FLEXO-COMPRESSAO-DE-PILARES.pdf)>. Acesso em: 18 out. 2012.<sup>6</sup>

PFEIL, W; PFEIL, M. **Estruturas de Aço**: dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

SILVA, V. P. e; PANNONI, F. D. **Estruturas de Aço**: aspectos tecnológicos e de concepção. São Paulo: Blucher, 2010.

---

<sup>6</sup>Não se teve acesso aos documentos escritos constantes nos anais, teve-se acesso somente à apresentação em Microsoft PowerPoint onde foram obtidos os dados usados para fins de comparação neste trabalho.

## **ANEXO A – Listagem do programa**



```

Public Class FormA
    Dim alturaNum, larguraNum, phiNum, exNum, eyNum, alfaNum, dNum, bfNum, tfNum,
    twNum, hNum, IaxNum, IayNum As Double
    Dim aNum, MxSdNum, MySdNum, NSdNum, LxNum, LyNum, KNum, fyNum, fckNum, fysNum,
    AaNum, AcNum As Double
    Dim As_Num, EaNum, EcNum, EsNum, EcredNum, IcxNum, IsxNum, IcyNum, IsyNum,
    NplRNum, NexNum, NeyNum, EIexNum, EIeyNum, EsbeltezRedNum, cobrimentoNum, ex1Num As
    Double
    Dim NRdnum As Double
    Dim ZaxNum, ZayNum, ZanxNum, ZanyNum, ZcxNum, ZcyNum, ZcnxNum, ZcnyNum, ZsxNum,
    ZsyNum, ZsnxNum, ZsnyNum As Double
    Dim MplRdxNum, MplRdyNum As Double
    Dim MmaxplRdxNum, MmaxplRdyNum As Double
    Dim AsnNum As Double
    Dim hna1, hna2, hna3, hnb1, hnb2, hnb3 As Double
    Dim hna1As, hna2As, hna3As, hnb1As, hnb2As, hnb3As As Double
    Dim hna1zero, hna2zero, hna3zero, hnb1zero, hnb2zero, hnb3zero As Double
    Dim M1Num, M2Num As Double
    Dim NplCRdNum As Double
    Dim MixNum, MiyNum As Double
    Dim MdxNum, McxNum, McyNum, MdyNum As Double
    Dim MxiSdNum, MyiSdNum As Double
    Dim Ne2xNum, Ne2yNum As Double
    Dim M2xNum, M2yNum As Double
    Dim GeometriaNum As Double
    Dim TaxadeArmaduraNum As Double
    Dim FatorAcoNum As Double
    Dim CxNum, Cynum As Double
    Dim ImagePATH1 As String
    Dim ImagePATH2 As String
    Dim NplRdNum As Double
    Dim Lambdaxnum, VRdxnum, Lambdapxnum, Lambdarxnum, Lambdaynum, VRdynam,
    Lambdapynum, Lambdarynum, VRdnum, VSdnum, AproveitamentoCSnum, AproveitamentoVnum As
    Double
    Dim betac1num, betac2num, betacnum, cisalhamentoRd, cisalhamentoSd, Qrd1num,
    Qrd2num, Qrd3num, Qrd4num, Qtdnum, CompIntro1, CompIntro2, CompIntro3, CompIntro, Lnum
    As Double
    Private Sub FormA_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs)
    Handles MyBase.Load
        Me.Perfil_csTableAdapter.Fill(Me.PerfismetalicosDataSet.perfil_cs)
        TextBox1.Text = PerfilComboBox.Text
    End Sub
    Private Function Area()
        If (phi.Text = "") Then
            As_.Text = ""
        Else
            As_.Text = (Convert.ToDouble(phi.Text) ^ 2 * Math.PI).ToString("N2")
        End If
        If (Altura.Text = "" Or Largura.Text = "") Then
            Ac.Text = ""
        Else
            Ac.Text = ((CType(Altura.Text, Double) * CType(Largura.Text, Double)) -
            CType(As_.Text, Double) - CType(Aa.Text, Double)).ToString("N2")
        End If
    End Function
    Public Sub AutosizeImage(ByVal imagePath As String, ByVal picBox As PictureBox,
    Optional ByVal pSizeMode As PictureBoxSizeMode = PictureBoxSizeMode.CenterImage)
        Try
            picBox.Image = Nothing
            picBox.SizeMode = pSizeMode
            If System.IO.File.Exists(imagePath) Then
                Dim imgOrg As Bitmap
            End If
        End Try
    End Sub
End Class

```

```

Dim imgShow As Bitmap
Dim g As Graphics
Dim divideBy, divideByH, divideByW As Double
imgOrg = DirectCast(Bitmap.FromFile(ImagePath), Bitmap)
divideByW = imgOrg.Width / picBox.Width
divideByH = imgOrg.Height / picBox.Height
If divideByW > 1 Or divideByH > 1 Then
    If divideByW > divideByH Then
        divideBy = divideByW
    Else
        divideBy = divideByH
    End If
    imgShow = New Bitmap(CInt(CDbl(imgOrg.Width) / divideBy),
CInt(CDbl(imgOrg.Height) / divideBy))
    imgShow.SetResolution(imgOrg.HorizontalResolution,
imgOrg.VerticalResolution)
    g = Graphics.FromImage(imgShow)
    g.InterpolationMode =
Drawing2D.InterpolationMode.HighQualityBicubic
    g.DrawImage(imgOrg, New Rectangle(0, 0, CInt(CDbl(imgOrg.Width) /
divideBy), CInt(CDbl(imgOrg.Height) / divideBy)), 0, 0, imgOrg.Width, imgOrg.Height,
GraphicsUnit.Pixel)
    g.Dispose()
Else
    imgShow = New Bitmap(imgOrg.Width, imgOrg.Height)
    imgShow.SetResolution(imgOrg.HorizontalResolution,
imgOrg.VerticalResolution)
    g = Graphics.FromImage(imgShow)
    g.InterpolationMode =
Drawing2D.InterpolationMode.HighQualityBicubic
    g.DrawImage(imgOrg, New Rectangle(0, 0, imgOrg.Width,
imgOrg.Height), 0, 0, imgOrg.Width, imgOrg.Height, GraphicsUnit.Pixel)
    g.Dispose()
End If
imgOrg.Dispose()
picBox.Image = imgShow
Else
    picBox.Image = Nothing
End If
Catch ex As Exception
    MsgBox(ex.ToString)
End Try
End Sub
Private Sub Button2_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles
Button2.Click

    Area()
    AtribuiValores()

    exNum = larguraNum / 2 - cobrimentoNum - phiNum / 2
    eyNum = alturaNum / 2 - cobrimentoNum - phiNum / 2

    If (VerificacaoGeometrica()) Then
        GeometriaChk.Visible = True
        GeometriaChk.Text = "RUIM"
        GeometriaChk.ForeColor = Color.DarkRed
    Else
        GeometriaChk.Visible = True
        GeometriaChk.Text = "OK"
        GeometriaChk.ForeColor = Color.Lime
    End If

```

```

If (VerificacaoFatordeContribuicaoAco()) Then
    FatorAcoChk.Visible = True
    FatorAcoChk.Text = "RUIM"
    FatorAcoChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    FatorAcoChk.Visible = True
    FatorAcoChk.Text = "OK"
    FatorAcoChk.ForeColor = Color.Lime
End If

If (VerificacaoTaxaArmadura()) Then
    ArmaduraChk.Visible = True
    ArmaduraChk.Text = "RUIM"
    ArmaduraChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    ArmaduraChk.Visible = True
    ArmaduraChk.Text = "OK"
    ArmaduraChk.ForeColor = Color.Lime
End If

If (VerificacaoEsbeltez()) Then
    EsbeltezChk.Visible = True
    EsbeltezChk.Text = "RUIM"
    EsbeltezChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    EsbeltezChk.Visible = True
    EsbeltezChk.Text = "OK"
    EsbeltezChk.ForeColor = Color.Lime
End If

If (VerificacaoCx()) Then
    CxChk.Visible = True
    CxChk.Text = "RUIM"
    CxChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    CxChk.Visible = True
    CxChk.Text = "OK"
    CxChk.ForeColor = Color.Lime
End If

If (VerificacaoCy()) Then
    Cychk.Visible = True
    Cychk.Text = "RUIM"
    Cychk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    Cychk.Visible = True
    Cychk.Text = "OK"
    Cychk.ForeColor = Color.Lime
End If

If (VerificacaoGeometrica() Or VerificacaoFatordeContribuicaoAco() Or
VerificacaoTaxaArmadura() Or VerificacaoEsbeltez() Or VerificacaoCy() Or
VerificacaoCx()) Then
    Button3.Enabled = False
Else
    Button3.Enabled = True
End If

Geometria.Text = GeometriaNum.ToString("N2")
TaxadeArmadura.Text = TaxadeArmaduraNum.ToString("N2") + "%"
FatorAco.Text = FatorAcoNum.ToString("N2")
Esbeltez.Text = EsbeltezRedNum.ToString("N2")

```

```

Cx.Text = CxNum.ToString("N2")
Cy.Text = Cynum.ToString("N2")

End Sub
Private Function VerificacaoCx() As Boolean
    Dim Erro As Integer
    Erro = 0

    CxNum = larguraNum / 2 - bfNum / 2

    If Not (CxNum >= 4 And CxNum <= 0.4 * bfNum And CxNum >= bfNum / 6) Then
        Erro = 1
    Else
        Erro = 0
    End If
    If (Erro > 0) Then
        VerificacaoCx = True
    Else
        VerificacaoCx = False
    End If

End Function
Private Function VerificacaoCy() As Boolean
    Dim Erro As Integer
    Erro = 0

    Cynum = alturaNum / 2 - dNum / 2

    If Not (Cynum >= 4 And Cynum <= 0.3 * dNum And Cynum >= bfNum / 6) Then
        Erro = 1
    Else
        Erro = 0
    End If
    If (Erro > 0) Then
        VerificacaoCy = True
    Else
        VerificacaoCy = False
    End If

End Function
Private Function VerificacaoEsbeltez() As Boolean
    Dim Erro As Integer
    Erro = 0

    IsxNum = ((Math.PI * (phiNum / 2) ^ 4) / 4 + Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 *
eyNum ^ 2) * 4
    Isx.Text = IsxNum

    IsyNum = ((Math.PI * (phiNum / 2) ^ 4) / 4 + Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 *
exNum ^ 2) * 4
    Isy.Text = IsyNum

    IcxNum = (larguraNum * alturaNum ^ 3) / 12 - IaxNum - IsxNum
    Icx.Text = IcxNum

    IcyNum = (larguraNum ^ 3 * alturaNum) / 12 - IayNum - IsyNum
    Icy.Text = IcyNum

    EcNum = 476 * (fckNum * 10) ^ 0.5

    Ec.Text = EcNum
    EcredNum = EcNum / 2.5
    Ecred.Text = EcredNum

```

```

EIexNum = EaNuM * IaxNum + 0.6 * EcredNum * IcxNum + EsNum * IsxNum
EIeyNum = EaNuM * IayNum + 0.6 * EcredNum * IcyNum + EsNum * IsyNum

NexNum = Math.PI ^ 2 * EIexNum / (KNum * LxNum) ^ 2
NeyNum = Math.PI ^ 2 * EIeyNum / (KNum * LyNum) ^ 2

NplRNum = ((fyNum * AaNuM) + (alfaNum * fckNum * AcNum) + (fysNum * As_Num))

If (NexNum > NeyNum) Then
    EsbeltezRedNum = (NplRNum / NeyNum) ^ 0.5
Else
    EsbeltezRedNum = (NplRNum / NexNum) ^ 0.5
End If

If Not (EsbeltezRedNum <= 2) Then
    Erro = 1
Else
    Erro = 0
End If

If (Erro > 0) Then
    VerificacaoEsbeltez = True
Else
    VerificacaoEsbeltez = False
End If

End Function
Private Function VerificacaoFatordeContribuicaoodeAco() As Boolean
    Dim Erro As Integer
    Erro = 0

    NplRdNum = ((fyNum * AaNuM / 1.1) + (alfaNum * fckNum * AcNum / 1.4) + (fysNum
* As_Num / 1.15))

    FatorAcoNum = ((AaNuM * fyNum / 1.1) / NplRdNum)

    If Not (FatorAcoNum > 0.2 And FatorAcoNum < 0.9) Then
        Erro = 1
    Else
        Erro = 0
    End If
    If (Erro > 0) Then
        VerificacaoFatordeContribuicaoodeAco = True
    Else
        VerificacaoFatordeContribuicaoodeAco = False
    End If

End Function
Private Function VerificacaoTaxaArmadura() As Boolean
    Dim Erro As Integer
    Erro = 0

    TaxadeArmaduraNum = (As_Num / AcNum) * 100

    If Not (((0.003 * AcNum) <= As_Num) And (As_Num <= (0.04 * AcNum))) Then
        Erro = 1
    Else
        Erro = 0
    End If

    If (Erro > 0) Then

```

```

        VerificacaoTaxaArmadura = True
Else
        VerificacaoTaxaArmadura = False
End If

End Function
Private Function AtribuiValores()

cobrimentoNum = Convert.ToDouble(Cobrimento.Text)
alturaNum = Convert.ToDouble(Altura.Text)
larguraNum = Convert.ToDouble(Largura.Text)
phiNum = Convert.ToDouble(phi.Text)
alfaNum = Convert.ToDouble(alfa.Text)
dNum = Convert.ToDouble(DTextBox.Text)
bfNum = Convert.ToDouble(BfTextBox.Text)
tfNum = Convert.ToDouble(TfTextBox.Text)
twNum = Convert.ToDouble(TwTextBox.Text)
hNum = Convert.ToDouble(HTextBox.Text)
IaxNum = Convert.ToDouble(Iax.Text)
IayNum = Convert.ToDouble(Iay.Text)
ZaxNum = Convert.ToDouble(Zax.Text)
ZayNum = Convert.ToDouble(Zay.Text)
MxSdNum = Convert.ToDouble(MxSd.Text)
MySdNum = Convert.ToDouble(MySd.Text)
NSdNum = Convert.ToDouble(NSd.Text)
LxNum = Convert.ToDouble(Lx.Text)
LyNum = Convert.ToDouble(Ly.Text)
KNum = Convert.ToDouble(K.Text)
fyNum = Convert.ToDouble(fy.Text)
fckNum = Convert.ToDouble(fck.Text)
fysNum = Convert.ToDouble(fys.Text)
AaNum = Convert.ToDouble(Aa.Text)
AcNum = Convert.ToDouble(Ac.Text)
As_Num = Convert.ToDouble(As_.Text)
EaNum = Convert.ToDouble(Ea.Text)
EcNum = Convert.ToDouble(Ec.Text)
EsNum = Convert.ToDouble(Es.Text)
EcredNum = Convert.ToDouble(Ecred.Text)
VSdnum = Convert.ToDouble(VSd.Text)

End Function
Private Function VerificacaoGeometrica() As Boolean
Dim Erro As Integer
Erro = 0

GeometriaNum = alturaNum / larguraNum

If Not ((GeometriaNum <= 5) And (GeometriaNum >= 0.2) And (exNum > (bfNum / 2
+ 2 + phiNum / 2)) And (eyNum > (dNum / 2 + 2 + phiNum / 2))) Then
    Erro = 1
Else
    Erro = 0
End If

If (Erro > 0) Then
    VerificacaoGeometrica = True
Else
    VerificacaoGeometrica = False
End If

End Function

```

```
Private Sub Button3_Click(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles
Button3.Click
```

```
'VERIFICAO COMPRESSAO SIMPLES
```

```
If (EsbeltezRedNum <= 1.5) Then
    NRdnum = (0.658 ^ (EsbeltezRedNum ^ 2)) * Np1RdNum
Else
    NRdnum = (0.877 / EsbeltezRedNum ^ 2) * Np1RdNum
End If
```

```
NRd.Text = NRdnum.ToString("N2")
Np1Rd.Text = Np1RdNum.ToString("N2")
```

```
If (NSdNum >= NRdnum) Then
    CompressaoSimplesChk.Visible = True
    CompressaoSimplesChk.Text = "RUIM"
    CompressaoSimplesChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    CompressaoSimplesChk.Visible = True
    CompressaoSimplesChk.Text = "OK"
    CompressaoSimplesChk.ForeColor = Color.Lime
End If
```

```
AproveitamentoCSnum = NSdNum / NRdnum
AproveitamentoCS.Text = AproveitamentoCSnum.ToString("N2")
```

```
'VERIFICAO AO CORTANTE
```

```
'EM RELACAO AO EIXO PERPENDICULAR A ALMA
```

```
Lambdaxnum = hNum / twNum
Lambdapxnum = 1.1 * (5 * EaNum / fyNum) ^ 0.5
Lambdarxnum = 1.37 * (5 * EaNum / fyNum) ^ 0.5
```

```
If (Lambdaxnum <= Lambdapxnum) Then
    VRdxnum = (0.6 * dNum * twNum * fyNum) / 1.1
ElseIf ((Lambdapxnum < Lambdaxnum) And (Lambdaxnum <= Lambdarxnum)) Then
    VRdxnum = (Lambdapxnum / Lambdaxnum) * (0.6 * dNum * twNum * fyNum) / 1.1
ElseIf (Lambdaxnum > Lambdarxnum) Then
    VRdxnum = 1.24 * ((Lambdapxnum / Lambdaxnum) ^ 2 * (0.6 * dNum * twNum *
fyNum)) / 1.1
End If
```

```
'EM RELACAO AO EIXO PERPENDICULAR A MESA
```

```
Lambdaynum = bfNum * 0.5 / tfNum
Lambdapynum = 1.1 * (1.2 * EaNum / fyNum) ^ 0.5
Lambdarynum = 1.37 * (1.2 * EaNum / fyNum) ^ 0.5
```

```
If (Lambdaynum <= Lambdapynum) Then
    VRdynum = (0.6 * 2 * bfNum * tfNum * fyNum) / 1.1
ElseIf ((Lambdapynum < Lambdaynum) And (Lambdaynum <= Lambdarynum)) Then
    VRdynum = (Lambdapynum / Lambdaynum) * (0.6 * 2 * bfNum * tfNum * fyNum) /
1.1
ElseIf (Lambdaynum > Lambdarynum) Then
    VRdynum = 1.24 * ((Lambdapynum / Lambdaynum) ^ 2 * (0.6 * 2 * bfNum *
tfNum * fyNum)) / 1.1
End If
```

```
If (NexNum > NeyNum) Then
    VRdnum = VRdynum
```

```

Else
    VRdnum = VRdxnum
End If

VRd.Text = VRdnum.ToString("N2")

If (VSdnum >= VRdnum) Then
    CortanteChk.Visible = True
    CortanteChk.Text = "RUIM"
    CortanteChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    CortanteChk.Visible = True
    CortanteChk.Text = "OK"
    CortanteChk.ForeColor = Color.Lime
End If

AproveitamentoVnum = VSdnum / VRdnum
AproveitamentoV.Text = AproveitamentoVnum.ToString("N2")

'VERIFICAO A FLEXO COMPRESSAO EM RELACAO AO EIXO X

ZsxNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2) * eyNum
ZcxNum = larguraNum * alturaNum ^ 2 / 4 - ZaxNum - ZsxNum

AsnNum = As_Num

hna1As = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - AsnNum * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 * larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 2 * twNum * (2 *
fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4))
hna1zero = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - 0 * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 * larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 2 * twNum * (2 *
fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4))

hna2As = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - AsnNum * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) + (bfNum - twNum) * (dNum - 2 * tfNum) * (fysNum / 1.15 -
(alfaNum * fckNum / 1.4))) / (2 * larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 2 * bfNum * (2
* fysNum / 1.15 - (alfaNum * fckNum / 1.4)))
hna2zero = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - 0 * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) + (bfNum - twNum) * (dNum - 2 * tfNum) * (fysNum / 1.15 -
(alfaNum * fckNum / 1.4))) / (2 * larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 2 * bfNum * (2
* fysNum / 1.15 - (alfaNum * fckNum / 1.4)))

hna3As = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - AsnNum * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) - AaNum * (2 * fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 *
larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4)
hna3zero = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - 0 * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) - AaNum * (2 * fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 *
larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4)

If (hna1As >= eyNum And hna1As <= alturaNum / 2) Then
    hna1 = hna1As
    ZsnxNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 * eyNum)
Else
    hna1 = hna1zero
    AsnNum = 0
    ZsnxNum = 0
End If

If (hna2As >= eyNum And hna2As <= alturaNum / 2) Then
    hna2 = hna2As
    ZsnxNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 * eyNum)
Else

```



```

        hna2 = hna2zero
        AsnNum = 0
        ZsnxNum = 0
    End If

    If (hna3As >= eyNum And hna3As <= alturaNum / 2) Then
        hna3 = hna3As
        ZsnxNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 * eyNum)
    Else
        hna3 = hna3zero
        AsnNum = 0
        ZsnxNum = 0
    End If

    If (hna1 <= dNum / 2 - tfNum) Then
        ZanxNum = twNum * hna1 ^ 2
        ZcnxNum = larguraNum * hna1 ^ 2 - ZanxNum - ZsnxNum

    ElseIf ((hna2 > dNum / 2 - tfNum) And hna2 <= (dNum / 2)) Then
2
        ZanxNum = bfNum * hna2 ^ 2 - 0.25 * (bfNum - twNum) * (dNum - 2 * tfNum) ^ 2
        ZcnxNum = larguraNum * hna2 ^ 2 - ZanxNum - ZsnxNum

    ElseIf ((hna3 > dNum / 2) And (hna3 <= alturaNum / 2)) Then
        ZanxNum = Zax.Text
        ZcnxNum = larguraNum * hna3 ^ 2 - ZanxNum - ZsnxNum

    End If

    MplRdxNum = fyNum / 1.1 * (ZaxNum - ZanxNum) + 0.5 * alfaNum * fckNum / 1.4 *
(ZcnxNum - ZcnxNum) + fysNum / 1.15 * (ZsxNum - ZsnxNum)
    MmaxplRdxNum = fyNum / 1.1 * ZaxNum + 0.5 * alfaNum * fckNum / 1.4 * ZcxNum +
fysNum / 1.15 * ZsxNum

    MplRdx.Text = MplRdxNum.ToString("N2")

    'VERIFICACAO A FLEXO COMPRESSAO EM RELACAO AO EIXO Y

    ZsyNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2) * exNum
    ZcyNum = 0.25 * alturaNum * larguraNum ^ 2 - ZayNum - ZsyNum

    AsnNum = As_Num

    hnb1As = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - AsnNum * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 * alturaNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 2 * dNum * (2 *
fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4))
    hnb1zero = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - 0 * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 * alturaNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 2 * dNum * (2 *
fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4))

    hnb2 = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - AsnNum * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) + (twNum * (2 * tfNum - dNum) * (2 * fysNum / 1.15 - (alfaNum
* fckNum / 1.4)))) / (2 * larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 4 * tfNum * (2 *
fysNum / 1.15 - (alfaNum * fckNum / 1.4)))
    hnb2zero = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - 0 * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) + (twNum * (2 * tfNum - dNum) * (2 * fysNum / 1.15 - (alfaNum
* fckNum / 1.4)))) / (2 * larguraNum * alfaNum * fckNum / 1.4 + 4 * tfNum * (2 *
fysNum / 1.15 - (alfaNum * fckNum / 1.4)))

    hnb3 = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - AsnNum * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) - AaNum * (2 * fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 *
alturaNum * alfaNum * fckNum / 1.4)

```

```

hnb3zero = ((AcNum * alfaNum * fckNum / 1.4) - 0 * (2 * fysNum / 1.15 -
alfaNum * fckNum / 1.4) - AaNum * (2 * fyNum / 1.1 - alfaNum * fckNum / 1.4)) / (2 *
alturaNum * alfaNum * fckNum / 1.4)

If (hnb1As >= exNum And hnb1As < larguraNum) Then
    ZsnyNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 * exNum)
    hnb1 = hnb1As
Else
    hnb1 = hnb1zero
    AsnNum = 0
    ZsnyNum = 0
End If
If (hnb2As >= exNum And hnb2As < larguraNum) Then
    ZsnyNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 * exNum)
    hnb2 = hnb2As
Else
    hnb2 = hnb2zero
    AsnNum = 0
    ZsnyNum = 0
End If
If (hnb3As >= exNum And hnb3As < larguraNum) Then
    hnb3 = hnb3As
    ZsnyNum = 4 * (Math.PI * (phiNum / 2) ^ 2 * exNum)
Else
    hnb3 = hnb3zero
    AsnNum = 0
    ZsnyNum = 0
End If

If (hnb1 <= twNum / 2) Then
    ZanyNum = dNum * hnb1 ^ 2
    ZcnyNum = alturaNum * hnb1 ^ 2 - ZanyNum - ZsnyNum

ElseIf ((hnb2 > twNum / 2) And hna2 <= (bfNum / 2)) Then
    ZanyNum = 2 * tfNum * hnb2 ^ 2 + 0.25 * ((dNum - 2 * tfNum) * twNum ^ 2)
    ZcnyNum = alturaNum * hnb2 ^ 2 - ZanyNum - ZsnyNum

ElseIf ((hnb3 > bfNum / 2) And (hnb3 <= larguraNum / 2)) Then
    ZanyNum = ZayNum
    ZcnyNum = alturaNum * hnb3 ^ 2 - ZanyNum - ZsnyNum

End If

MplRdyNum = fyNum / 1.1 * (ZayNum - ZanyNum) + 0.5 * alfaNum * fckNum / 1.4 *
(ZcyNum - ZcnyNum) + fysNum / 1.15 * (ZsyNum - ZsnyNum)
MmaxplRdyNum = fyNum / 1.1 * ZayNum + 0.5 * alfaNum * fckNum / 1.4 * ZcyNum +
fysNum / 1.15 * ZsyNum

MplRdy.Text = MplRdyNum.ToString("N2")

'Modelo de calculo 1
If (NSdNum / NRdnum >= 0.2) Then
    M1Num = NSdNum / NRdnum + 8 / 9 * (MxSdNum / MplRdxNum + MySdNum /
MplRdyNum)

Else
    M1Num = NSdNum / (2 * NRdnum) + (MxSdNum / MplRdxNum + MySdNum /
MplRdyNum)

End If

M1.Text = M1Num.ToString("N2")

```

```

If (M1Num <= 1) Then
    Modelo1Chk.Visible = True
    Modelo1Chk.Text = "OK"
    Modelo1Chk.ForeColor = Color.Lime
Else
    Modelo1Chk.Visible = True
    Modelo1Chk.Text = "RUIM"
    Modelo1Chk.ForeColor = Color.DarkRed
End If

'Modelo de calculo 2

NplCRdNum = alfaNum * fckNum / 1.4 * AcNum

McxNum = 0.9 * MplRdxNum
McyNum = 0.9 * MplRdyNum
MdxNum = 0.8 * MmaxplRdxNum
MdyNum = 0.8 * MmaxplRdyNum

If (MdxNum < McxNum) Then
    MdxNum = McxNum
End If
If (MdyNum < McyNum) Then
    MdyNum = McyNum
End If

If (NSdNum >= NplCRdNum) Then
    MixNum = 1 - (NSdNum - NplCRdNum) / (NplRNum - NplCRdNum)
    MiyNum = 1 - (NSdNum - NplCRdNum) / (NplRNum - NplCRdNum)

ElseIf (NSdNum >= (NplCRdNum / 2) And NSdNum < NplCRdNum) Then
    MixNum = (1 - MdxNum / McxNum) * (2 * NSdNum / NplCRdNum - 1) + MdxNum /
McxNum
    MiyNum = (1 - MdyNum / McyNum) * (2 * NSdNum / NplCRdNum - 1) + MdyNum /
McyNum

ElseIf (NSdNum < NplCRdNum / 2) Then
    MixNum = 1 + (2 * NSdNum / NplCRdNum) * (MdxNum / McxNum - 1)
    MiyNum = 1 + (2 * NSdNum / NplCRdNum) * (MdyNum / McyNum - 1)
End If

'MxtotSdNum = MxSdNum + MxiSdNum

Ne2xNum = (Math.PI ^ 2 * (EIexNum) / LxNum ^ 2)
MxiSdNum = NSdNum * LxNum / (200 * (1 - NSdNum / Ne2xNum))

'MytotSdNum = MySdNum + MyiSdNum

Ne2yNum = (Math.PI ^ 2 * (EIeyNum) / LyNum ^ 2)
MyiSdNum = NSdNum * LyNum / (150 * (1 - NSdNum / Ne2yNum))

M2xNum = (MxSdNum + MxiSdNum) / (MixNum * McxNum) + (MySdNum) / (MiyNum *
McyNum)
M2yNum = (MxSdNum) / (MixNum * McxNum) + (MySdNum + MyiSdNum) / (MiyNum *
McyNum)

If (M2xNum > M2yNum) Then
    M2Num = M2xNum
Else
    M2Num = M2yNum

```

```

End If

If (NSdNum <= NRdnum And M2Num <= 1) Then
    Modelo2Chk.Visible = True
    Modelo2Chk.Text = "OK"
    Modelo2Chk.ForeColor = Color.Lime
Else
    Modelo2Chk.Visible = True
    Modelo2Chk.Text = "RUIM"
    Modelo2Chk.ForeColor = Color.DarkRed
End If

If (NSdNum <= NRdnum) Then
    M2.Text = M2Num.ToString("N2")
Else
    M2.Text = ""
End If

'verificação aderência

If ((NSdNum / NplRdNum >= 0.3)) Then
    AderênciaChk.Visible = True
    AderênciaChk.Text = "OK"
    AderênciaChk.ForeColor = Color.Lime
Else
    AderênciaChk.Visible = True
    AderênciaChk.Text = "RUIM"
    AderênciaChk.ForeColor = Color.DarkRed
End If
If ((NSdNum / NplRdNum < 0.3)) Then
    CisalhamentoChk.Visible = True
    CisalhamentoChk.Text = "NSd abaixo de 30% de NplRd"
    CisalhamentoChk.ForeColor = Color.DarkRed
Else
    CisalhamentoChk.Visible = False
    CisalhamentoChk.Text = "NSd abaixo de 30% de NplRd"
    CisalhamentoChk.ForeColor = Color.DarkRed
End If
End Sub
Private Sub PerfilComboBox_SelectedIndexChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles PerfilComboBox.SelectedIndexChanged
    TextBox1.Text = PerfilComboBox.Text
End Sub
Private Sub TextBox1_TextChanged_1(sender As System.Object, e As System.EventArgs)
Handles TextBox1.TextChanged
    Dim intSelectedIndex As Integer
    intSelectedIndex = PerfilComboBox.SelectedIndex
    Dim objSelectedItem As Object
    objSelectedItem = PerfilComboBox.SelectedItem
    Dim pos As Integer = Me.PerfilcsBindingSource.Find("perfil", TextBox1.Text)
    If Not pos = -1 Then
        Me.PerfilcsBindingSource.Position = pos
    End If
End Sub
Private Sub ComboBox1_SelectedIndexChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles ComboBox1.SelectedIndexChanged
    Dim intSelectedIndex As Integer
    intSelectedIndex = ComboBox1.SelectedIndex
    Dim objSelectedItem As Object
    objSelectedItem = ComboBox1.SelectedItem
    If (intSelectedIndex = 0) Then
        fck.Text = "2,0"
    End If
End Sub

```

```

End If
If (intSelectedIndex = 1) Then
    fck.Text = "2,5"
End If
If (intSelectedIndex = 2) Then
    fck.Text = "3"
End If
If (intSelectedIndex = 3) Then
    fck.Text = "3,5"
End If
If (intSelectedIndex = 4) Then
    fck.Text = "4,0"
End If
If (intSelectedIndex = 5) Then
    fck.Text = "4,5"
End If
If (intSelectedIndex = 6) Then
    fck.Text = "5,0"
End If
End Sub
Private Sub ComboBox2_SelectedIndexChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles ComboBox2.SelectedIndexChanged
    Dim intSelectedIndex As Integer
    intSelectedIndex = ComboBox2.SelectedIndex
    Dim objSelectedItem As Object
    objSelectedItem = ComboBox2.SelectedItem
    If (intSelectedIndex = 0) Then
        fys.Text = "50"
    End If
    If (intSelectedIndex = 1) Then
        fys.Text = "60"
    End If
End Sub

Private Sub ComboBox3_SelectedIndexChanged(sender As System.Object, e As
System.EventArgs) Handles ComboBox3.SelectedIndexChanged
    Dim intSelectedIndex As Integer
    intSelectedIndex = ComboBox3.SelectedIndex
    Dim objSelectedItem As Object
    objSelectedItem = ComboBox3.SelectedItem
    If (intSelectedIndex = 0) Then
        fy.Text = "25"
    End If
    If (intSelectedIndex = 1) Then
        fy.Text = "35"
    End If
    If (intSelectedIndex = 2) Then
        fy.Text = "41,5"
    End If
End Sub
Private Sub Secao(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles
MyBase.Load
    ImagePATH1 = "C:\VPMFC\VPMFC\secaoA.bmp"
    AutocompleteImage(ImagePATH1, PictureBox1, PictureBoxSizeMode.AutoSize)
End Sub
Private Sub Perfil(sender As System.Object, e As System.EventArgs) Handles
MyBase.Load
    ImagePATH2 = "C:\VPMFC\VPMFC\perfila.bmp"
    AutocompleteImage(ImagePATH2, PictureBox2, PictureBoxSizeMode.AutoSize)
End Sub
End Class

```