

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCELLO GOMES MARQUES FILHO

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA
VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SUBMETIDOS A FLEXÃO
COMPOSTA EM ESTRUTURAS DE AÇO.**

Goiânia, GO
2018

Marcello Gomes Marques Filho

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA
VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SUBMETIDOS A FLEXÃO
COMPOSTA EM ESTRUTURAS DE AÇO.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte
dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil**

**Orientador: Prof. Me. Cláudio Marra
Alves**

**Goiânia, GO
2018**

M3481d Marques Filho, Marcello Gomes.

Desenvolvimento de aplicativo na plataforma Android para verificação de elementos estruturais submetidos a flexão composta em estruturas de aço / Marcello Gomes Marques Filho. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2018.
129 f. : il.

Orientador: Prof. Me. Cláudio Marra Alves

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Coordenação de Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inclui apêndice.

1. Estruturas metálicas. 2. Flexocompressão. 3. Sistema operacional Android. I. Alves, Cláudio Marra (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 624.182

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva Abreu CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Marcello Gomes Marques Filho

Matrícula: 20141011050058

Título do Trabalho: DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SUBMETIDOS A FLEXÃO COMPOSTA EM ESTRUTURAS DE AÇO.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 15/02/19

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 15/02/19.
Local Data

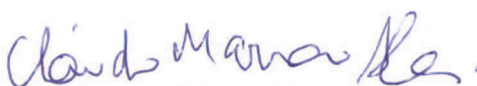
Marcello Gomes Marques Filho
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Marcello Gomes Marques Filho

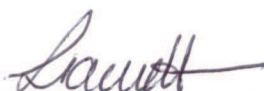
**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA
VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SUBMETIDOS A FLEXÃO
COMPOSTA EM ESTRUTURAS DE AÇO.**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte
dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil**

Aprovado em 18 de dezembro de 2018:



Cláudio Marra Alves, Me. (IFG)
(Orientador)



Liana de Lucca Jardim Borges, Dr^a. (IFG)



Wesley Pimenta de Menezes, Esp. (IFG)

Goiânia, GO
2018

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha família, a
minha namorada e a todos meus amigos.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo. De uma maneira especial, agradeço:

- ao meu orientador Cláudio Marra Alves, pela confiança depositada, e pela orientação;

- aos professores Wesley Pimenta de Menezes e Liana de Lucca Jardim Borges, pelas contribuições apresentadas para aprimoramento deste trabalho;

- aos demais professores do curso de Bacharelado em Engenharia Civil do IFG, por todo o conhecimento agregado a ser utilizado na elaboração deste trabalho;

- aos meus colegas de curso, por toda a troca de conhecimentos e experiências;

- a minha namorada Roberta Gomes da Mata e a meus amigos da equipe NextGen Team, por me ajudarem a manter forças para superar os obstáculos encontrados durante todo o trabalho.

ΕΠÍΓΡΑΦΕ

“Get up, let’s go again. Learn to fight, not to fail. “

(NextGen Team)

RESUMO

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO NA PLATAFORMA ANDROID PARA VERIFICAÇÃO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS SUBMETIDOS A FLEXÃO COMPOSTA EM ESTRUTURAS DE AÇO.

AUTOR: Marcello Gomes Marques Filho

ORIENTADOR: Cláudio Marra Alves

O presente trabalho de conclusão de curso teve como objetivo desenvolver um aplicativo na plataforma Android para verificação de elementos estruturais submetidos a flexão composta em estruturas de aço que possa ser utilizados por estudantes e profissionais de engenharia. O que impulsionou a realização deste trabalho foi simplificar a verificação de elementos estruturais submetidos a flexão composta em estruturas de aço, permitindo que o procedimento seja executado com rapidez, confiabilidade e prontidão, tornando-o bastante acessível. Além do desenvolvimento do aplicativo, foram estabelecidos como objetivos secundários a elaboração de um relatório de apresentação de resultados que pudesse ser exportado do aplicativo, o desenvolvimento de um sistema interno de conversão de unidades, a redação de um manual de instruções e a validação do sistema, de maneira a assegurar que os cálculos apresentam resultados confiáveis ao usuário. Neste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica inicial, apresentando informações sobre estruturas metálicas, aplicativos e programas computacionais de engenharia, sobre o sistema operacional Android e sobre a linguagem Java. Em seguida foi apresentada a metodologia, que consistia em elaborar os fluxogramas de cálculo com base na norma NBR 8800:2008, para então proceder com a construção das rotinas principais de cálculo do sistema, juntamente com as telas de entradas de dados e de apresentação de resultados, utilizando-se o programa Android Studio e a linguagem Java. De maneira complementar, foi utilizado um banco de dados SQLite para armazenamento das informações referentes aos perfis estruturais, bem como para armazenamento temporário de dados do aplicativo. Em seguida, foi produzido um relatório exportável de apresentação de resultados em formato PDF e validados os resultados do aplicativo. Por fim, foi elaborado um manual de instruções e o aplicativo foi submetido para publicação na loja virtual Google Play. Os resultados obtidos demonstraram que os resultados do aplicativo apresentam compatibilidade com os valores apresentados na literatura técnica.

Palavras-chave: Trabalho de Conclusão de Curso. Aplicativo Móvel. Engenharia Civil. Estruturas Metálicas. Flexotração. Tração. Flexocompressão. Compressão. Perfis Soldados. Perfis Laminados. Estruturas de Aço. Android. Java. IFG.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION ON THE ANDROID PLATFORM FOR VERIFICATION OF STRUCTURAL ELEMENTS SUBJECTED TO COMBINED AXIAL AND FLEXURAL LOADS IN STEEL STRUCTURES.

AUTHOR: Marcello Gomes Marques Filho

ADVISOR: Cláudio Marra Alves

The objective of this work was to develop an application on the Android Platform to verify structural elements subjected to combined axial and flexural loads in steel structures that can be used by students and engineering professionals. What led to the accomplishment of this work was to simplify the verification of structural elements subjected to combined axial and flexural loads in steel structure, allowing the procedure to be executed with speed, reliability and readiness, making it very accessible. In addition to the development of the application, it was established as secondary goals the elaboration of a report that presents the result and that could be exported from the application, the development of an internal system of unit conversion, the writing of an instruction manual and the validation of the system, in order to ensure that the calculations present reliable results to the user. In this work an initial bibliographic review was performed, presenting information on metallic structures, on engineering application and computer software, on the Android Operating System and on the Java language. Next, the methodology was presented, which consisted in elaborating the calculation flowcharts based on the NBR 8800:2008 standard, in order to proceed with the construction of the main calculation routines of the system, together with the data inputs screens and the results presentation screen, using the Android Studio software and the Java language. In addition, a SQLite database was used to store structural profiles information as well as temporary storage of application data. Then, an exportable report was produced to present results in PDF format and the results of the application were validated. Finally, an instruction manual was prepared and the application was submitted for publication in the Google Play virtual store. The results showed that the application results are compatible with the values presented in the technical literature.

Keywords: Final Work. Mobile Application. Civil Engineering. Metallic Structures. Flexotraction. Traction. Flexo-compression. Compression. Welded Profiles. Laminated Profiles. Steel Structures. Android. Java. IFG.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Distribuição de aço no Brasil em 2016	24
Figura 2: Exemplo de desenho no software AutoCAD	26
Figura 3: Exemplo de elaboração de Modelo Digital de Terreno – Autodesk Civil 3D	27
Figura 4: T-Mobile G1 – O Primeiro smartphone Android Comercial	33
Figura 5: Captura de Tela do programa Android Studio	36
Figura 6: Componentes de uma aplicação Android.....	37
Figura 7: A pilha de software do Android.....	38
Figura 8: Captura de Tela - Editor de Layout – Android Studio	46
Figura 9: Captura de Tela - Editor de Código Inteligente – Android Studio.....	47
Figura 10: Captura de Tela – Explorador de Projetos – Android Studio.....	48
Figura 11: Captura de Tela – DB Browser for SQLite	49
Figura 12: Captura de Tela – Astah UML.....	50
Figura 13: Perfis laminados de abas com faces paralelas de padrão europeu.	55
Figura 14: Exemplos de perfis de chapa dobrada: perfil U (a); perfil complexo (b); perfil S (c); perfil Z (d).....	55
Figura 15: Exemplos de perfil I soldado	56
Figura 16: Fluxograma de verificação à tração	58
Figura 17: Seção típica de uma cantoneira e o modo de flambagem por flexão.....	59
Figura 18: Modo de flambagem por torção de uma coluna cruciforme	60
Figura 19: Modo de flambagem por flexotorção de uma cantoneira	60
Figura 20: Flambagem local em uma coluna curta.....	61
Figura 21: Fluxograma de Determinação do Q_a – Perfil I Simétrico.....	63

Figura 22: Fluxograma de Determinação do Qs – Perfil I Simétrico.....	64
Figura 23: Fluxograma de Verificação à Compressão	66
Figura 24: Fluxograma de Verificação à Flexão – FLT – Eixo x.....	69
Figura 27: Fluxograma de Verificação à Flexão – Eixo x	72
Figura 28: Fluxograma de Verificação à Flexão – Eixo y	73
Figura 29: Captura de tela - aba de perfil e material	78
Figura 30: Captura de tela - aba de comprimentos de flambagem.....	80
Figura 31: Captura de tela - aba de carregamentos.....	81
Figura 32: Captura de tela - aba de confirmação de dados	82
Figura 33: Captura de tela - aba de apresentação de resultados.....	84
Figura 34: Captura de tela – Solicitação de permissão para acesso a arquivos do dispositivo.....	90
Figura 35: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 5.8.1 com Contenção Lateral	95
Figura 36: Captura de tela – Resultados - Exercício 5.8.1 com Contenção Lateral .	96
Figura 38: Captura de tela – Resultados - Exercício 5.8.1 sem Contenção Lateral .	98
Figura 39: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 5.8.8	100
Figura 40: Captura de tela – Resultados - Exercício 5.8.8	101
Figura 41: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 6.5.1 – W530x85,0	103
Figura 42: Captura de tela – Resultados - Exercício 6.5.1 – W530x85,0	104
Figura 43: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 6.5.1 – VS 500 x 86...	105
Figura 44: Captura de tela – Resultados - Exercício 6.5.1 VS 500 x 86.....	106
Figura 45: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 7.6.3	108
Figura 46: Resultados da Validação.....	109
Figura A1: Captura de tela – Menu Superior do Aplicativo	120

Figura A2: Captura de tela – Informações do Material	121
Figura A3: Captura de tela – Seleção do Perfil	122
Figura A4: Captura de tela – Informações do Perfil	122
Figura A5: Captura de tela – Área Líquida	123
Figura A6: Captura de tela – Botão de Gravação de Informações.....	123
Figura A7: Captura de tela – Comprimento de Flambagem	124
Figura A8: Captura de tela – Carregamentos de Cálculo Preenchidos.....	125
Figura A9: Captura de tela – Dados de Cálculo	126
Figura A10: Captura de tela - Botão para Calcular Resultados.....	127
Figura A11: Captura de tela – Comparação de esforço resistente e solicitante.....	128
Figura A12: Captura de tela – Botão de Geração de PDF	128
Figura A13: Captura de tela – Solicitação de Acesso a Arquivos do Dispositivo ...	128
Figura A14: Captura de tela – Relatório em PDF.....	129

LISTA DE SÍMBOLOS

B	Largura
b_{ef}	Largura efetiva de um elemento comprimido AA
b_f	Largura da mesa
C_a	Coeficiente utilizado na determinação de b_{ef}
f_u	Resistência a ruptura do aço.
f_y	Resistência ao escoamento do aço.
H	Altura
K	Rigidez, parâmetro em geral
k_c	Parâmetro de rigidez utilizado para cálculo do M_{cr} em perfis soldados
T	Espessura
t_f	Espessura da mesa
t_w	Espessura da alma
A_e	Área líquida efetiva da seção transversal
A_{ef}	Área efetiva da seção transversal
A_g	Área bruta da seção transversal
A_n	Área líquida da seção transversal
C_w	Constante de empenamento da seção transversal
E	Módulo de elasticidade do aço
M_{cr}	Momento fletor de flambagem elástica
M_n	Momento obtido pela interpolação dos momentos M_r e M_{pl}
M_{pl}	Momento fletor de plastificação da seção transversal
M_r	Momento fletor correspondente ao início do escoamento
M_{rd}	Momento fletor resistente de cálculo
M_{sd}	Momento fletor solicitante de cálculo
N_{cRd}	Força axial resistente de cálculo à compressão
N_{cSd}	Força axial solicitante de cálculo à compressão
N_{tRd}	Força axial resistente de cálculo à tração
$N_{tRd, esc}$	Força axial resistente de cálculo à tração para escoamento da seção bruta
$N_{tRd, rup}$	Força axial resistente de cálculo à tração para ruptura da seção líquida
N_{sRd}	Força axial solicitante de cálculo à tração
Q	Fator de redução total associado à flambagem local
Q_a	Fator de redução que leva em conta a flambagem local de elementos AA
Q_s	Fator de redução que leva em conta a flambagem local de elementos AL
W	Módulo de resistência elástico
β_1	Fator utilizado para cálculo do λ_r na flambagem lateral com torção

γ_{a1}	Coeficiente de ponderação da resistência ao escoamento, flambagem e instabilidade do aço
γ_{a2}	Coeficiente de ponderação da resistência à ruptura do aço
λ	Índice de esbeltez
λ_0	Índice de esbeltez reduzido
λ_p	Parâmetro de esbeltez limite para seções compactas
λ_r	Parâmetro de esbeltez limite para seções semicompactas
χ	Fator de redução da resistência à compressão associado à flambagem global
σ	Tensão normal

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	American Iron and Steel Institute
API	Application Program Interface
APK	Android Package Kit
ART	Android Runtime
ASTM	American Society for Testing and Materials
BIM	Building Information Model
CAD	Computer Aided Design
CS	Colunas Soldadas
CVS	Colunas e Vigas Soldadas
DB	Database
DDR	Double Data Rate
DXF	Drawing Exchange Format
FLA	Flambagem Local da Alma
FLM	Flambagem Local da Mesa Comprimida
FLT	Flambagem Lateral com Torção
GB	Gigabyte
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit
GSM	Global System for Mobile Communications
HAL	Hardware Abstraction Layer
HD	Hard Drive
IBM	International Business Machines
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
ISO	International Standards Organization
NBR	Norma Brasileira
PDF	Portable Document Format
PMI	Project Management Institute
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
RAM	Random Access Memory
SAP	Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung
SDK	Software Development Kit
SDRAM	Synchronous Dynamic Random Access Memory
TB	Terabyte
UML	Unified Modeling Language
VS	Vigas Soldadas
XML	Extensible Markup Language

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Justificativa.....	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2. Objetivos específicos.....	20
1.3. Apresentação do trabalho	21
 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2.1. Estruturas metálicas	23
2.2. Aplicativos e programas computacionais de engenharia	25
2.2.1. Aplicativos e programas voltados ao desenho	25
2.2.2. Aplicativos e programas voltados ao planejamento e à gestão	28
2.2.3 Aplicativos e programas voltados à área de estruturas	30
2.2.4 Outros aplicativos e programas de engenharia	31
2.3. Sistema operacional android	32
2.3.1 Android SDK.....	34
2.3.2. Android Studio	35
2.3.3. Componentes de uma aplicação Android	36
2.3.4. Arquitetura do sistema Android.....	37
2.4. Linguagem java	39
2.4.1. O paradigma da orientação a objetos	41
 3. METODOLOGIA	43
3.1. Etapas do projeto	43
3.2. Ferramentas utilizadas.....	44
3.2.1. Hardware	44
3.2.2. Software	45

3.2.2.1. Android Studio e Android SDK	46
3.2.2.2. DB Browser for SQLite	48
3.2.2.3. Astah	50
3.3. Levantamento de requisitos preliminares do sistema	51
3.3.1. Requisitos funcionais.....	51
3.3.2. Requisitos não funcionais.....	52
3.4. Resultados esperados	53
 4. ROTEIRO DE CÁLCULO.....	 54
4.1. Perfis estruturais	54
4.1.1. Perfis laminados	54
4.1.2. Perfis formados a frio	55
4.1.3. Perfis soldados	56
4.2. Verificação à tração.....	56
4.2.1. Fluxograma para verificação à tração	57
4.3. Verificação à compressão	58
4.3.1. Instabilidade em barras comprimidas	58
4.3.2. Fluxogramas para verificação à compressão	61
4.4. Verificação do momento fletor resistente de cálculo.....	67
4.4.1 Fluxograma de verificação à flexão	68
 5. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO	 74
5.1. Desenvolvimento das telas de interação com o usuário	74
5.1.1. Aba de perfil e material.....	75
5.1.2. Aba de comprimentos de flambagem	79
5.1.3. Aba de carregamentos	80
5.1.4. Aba de confirmação dos dados	82
5.1.5. Aba de apresentação de resultados	83
5.2. Rotinas internas de cálculo.....	85
5.3. Módulo interno de conversão de unidades.....	88
5.4. Relatório de apresentação de resultados	89
5.5. Banco de dados SQLite	91
5.6. Elaboração do manual de instruções	92

5.7. Publicação do aplicativo.....	92
6. VALIDAÇÃO DO SISTEMA	93
6.1. Verificação à compressão	93
6.1.1. Verificação à compressão de Perfil Laminado.....	93
6.1.2. Verificação à compressão de Perfil Soldado	99
6.2. Verificação à Flexão	102
6.2.1. Verificação à flexão de Perfil Laminado e Perfil Soldado	102
6.3. Verificação à Flexocompressão	107
6.3.1. Verificação à Flexocompressão de Perfil Soldado.....	107
6.4. Avaliação dos Resultados Obtidos.....	109
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	111
7.1. Conclusões	111
7.2. Sugestões para trabalhos futuros	113
REFERÊNCIAS.....	114
APÊNDICE A - MANUAL DE INSTRUÇÕES	120

1. INTRODUÇÃO

Segundo o site *Consumer Barometer with Google*, que contém estatísticas de uma pesquisa baseada nos consumidores conectados conduzido pela empresa *TNS Infratest* em nome da Google (2018), a porcentagem de pessoas que utilizam um *smartphone* no Brasil era de 67% em 2017. Em contraste com esta informação, observa-se um percentual de 38% de usuários de computadores no mesmo período no país, dentro do universo pesquisado de uma amostra mínima de 1000 pessoas para cada país pesquisado. A pesquisa aponta, ainda, o fato de que cada usuário no Brasil está conectado a 2,1 dispositivos, em média.

Dentre os usuários de smartphones, de acordo com as estatísticas divulgadas no site *Kantar Worldpanel* da *Comtech* (2018), com dados relativos a três meses (de outubro a dezembro de 2017), a divisão de mercado para o Brasil apresenta uma utilização de 93,2% da plataforma Android frente aos sistemas IOS (6,3%) e Windows (0,5%).

Esse tipo de estatística reforça o notável fato de que o uso de dispositivos móveis vem se ampliando cada vez mais na sociedade contemporânea, sendo cada vez mais comum observarmos tarefas antes desempenhadas em computadores passarem a ser realizadas em *smartphones* ou mesmo em outros dispositivos como *tablets*.

Como consequência deste contexto, observa-se um crescente uso de programas computacionais e aplicativos que contribuem no ambiente de sala de aula como o *Ftool*, *software* desenvolvido por Luiz Fernando Martha da PUC-Rio voltado à análise de estruturas bidimensionais. Este tipo de programa auxilia muito como elemento de suporte didático, pois os estudantes conseguem comparar seus resultados obtidos em cálculos manuais ou mesmo utilizar resultados obtidos nestes programas para resolução de outros problemas.

Assim, vislumbrou-se a oportunidade de se elaborar um aplicativo que pudesse ser utilizado por profissionais e estudantes de engenharia, aproveitando-se da praticidade e mobilidade proporcionada por *tablets* e *smartphones* escolhendo-se

como escopo de trabalho a área de Estruturas de Aço, mais especificamente os elementos estruturais submetidos a flexão composta em estruturas de aço.

1.1. JUSTIFICATIVA

O que impulsionou a realização deste trabalho foi permitir que a verificação de elementos estruturais submetidos a flexão composta em estrutura de aço fosse facilitada, a ponto de que o estudante ou profissional de engenharia possa realizar este procedimento com rapidez, confiabilidade e prontidão, tornando este procedimento de verificação acessível e ao alcance de suas mãos, criando um mecanismo eficiente e veloz para fins didáticos e/ou profissionais, atendendo os requisitos da norma NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Ainda, observou-se, no início do projeto, que, ao se efetuar busca por aplicativos voltados ao cálculo de estruturas em aço na loja virtual Google Play através de expressões-chave como “estruturas de aço”, “NBR 8800:2008”, “NBR 8800”, “Flexão composta em aço” e “Verificação de estruturas em aço”, foram encontrados diversos aplicativos de design de estruturas metálicas, cálculos de vigas ou voltados a fins didáticos. No entanto, não foi localizado aplicativo voltado ao mesmo escopo específico do projeto, que propusesse a verificação de elementos estruturais submetidos a flexão composta em estruturas de aço, de acordo com a norma ABNT NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

1.2. OBJETIVOS

A proposta deste trabalho é desenvolver e validar um aplicativo voltado à verificação de elementos estruturais submetidos a flexão composta em estruturas de

aço, buscando dar suporte a profissionais e estudantes de engenharia, sendo escolhida a plataforma Android para desenvolvimento do projeto.

Com base nessas premissas, foram definidos os objetivos geral e específico do trabalho.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é iniciar, desenvolver, validar e publicar um aplicativo para a Plataforma Android, disponível gratuitamente aos usuários, voltado à verificação de elementos estruturais em aço submetidos à flexão composta.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Desenvolver o aplicativo elaborando suas telas de entrada de dados e apresentação de resultados, bem como suas rotinas internas de cálculo para seu correto funcionamento.
- b) Elaborar um relatório de exibição dos resultados que possa ser exportado do aplicativo para facilitar sua impressão ou exibição em outros dispositivos como leitores digitais de livros, computadores, smartphones que operam em outro sistema operacional, etc.
- c) Desenvolver um sistema interno de conversão de unidades, de maneira a permitir que o usuário escolha a unidade de medida na entrada de dados, facilitando a operação do sistema.
- d) Redigir um manual de instruções, de maneira a auxiliar e guiar o usuário para uma correta utilização do aplicativo.
- e) Validar a utilização do sistema, de maneira a assegurar de que seus cálculos estão apresentando resultados confiáveis e minimizar a presença de erros que possam prejudicar a utilização do aplicativo.

- f) Publicar o aplicativo na loja virtual Google Play, disponibilizando-o gratuitamente para *download* e utilização pelos usuários.

1.3. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 deste trabalho apresenta uma introdução sobre o mesmo, bem como a justificativa para a sua execução e seus objetivos gerais e específicos.

Em seguida, há o capítulo 2, em que se apresenta uma revisão bibliográfica relacionada à temática proposta no trabalho, abordando-se assuntos como as estruturas metálicas, os aplicativos e programas computacionais de engenharia, o sistema Android e a linguagem Java.

No capítulo 3, há discussão sobre a metodologia utilizada, abordando-se as etapas do projeto, as ferramentas utilizadas, o levantamento de requisitos preliminares do sistema e os resultados esperados.

No capítulo 4 será realizada a discussão acerca do roteiro de cálculos, introduzindo-se inicialmente uma discussão sobre os perfis estruturais utilizados em estruturas metálicas. Em seguida, aborda-se a verificação de elementos estruturais à flexão simples, a tração, a compressão e a flexão composta, bem como os estados limites últimos envolvidos e os fluxogramas de verificação.

No capítulo 5, será apresentado o desenvolvimento do aplicativo em todas suas etapas, apresentando-se o desenvolvimento das telas de interação com o usuário e apresentação de resultados, as rotinas internas de cálculo, o módulo interno de conversão de unidades, o relatório de apresentação de resultados, o banco de dados SQLite, o manual de instruções, bem como informações sobre a publicação do aplicativo.

No capítulo 6, será realizada uma validação do sistema, comparando-se os resultados obtidos no aplicativo com os resultados apresentados na literatura, por meio da resolução de exercícios propostos.

No capítulo 7, serão apresentadas as considerações finais deste trabalho, bem como suas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

Ao final, serão apresentadas as referências utilizadas neste trabalho, bem como um apêndice contando o manual de instruções do aplicativo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será apresentada uma revisão bibliográfica relacionada aos temas envolvidos com o objeto do trabalho, como as estruturas metálicas, os aplicativos e programas computacionais de engenharia, o sistema Android e a linguagem Java.

2.1. ESTRUTURAS METÁLICAS

As vantagens da utilização de estruturas de aço são bastante difundidas e conhecidas, dentre elas a redução do tempo de obra, o menor desperdício de materiais, maior garantia de qualidade, redução de carga sobre as fundações, por ser uma estrutura mais leve em comparação com outros materiais como o concreto armado. Estas vantagens reforçam a grande importância do aço na construção civil.

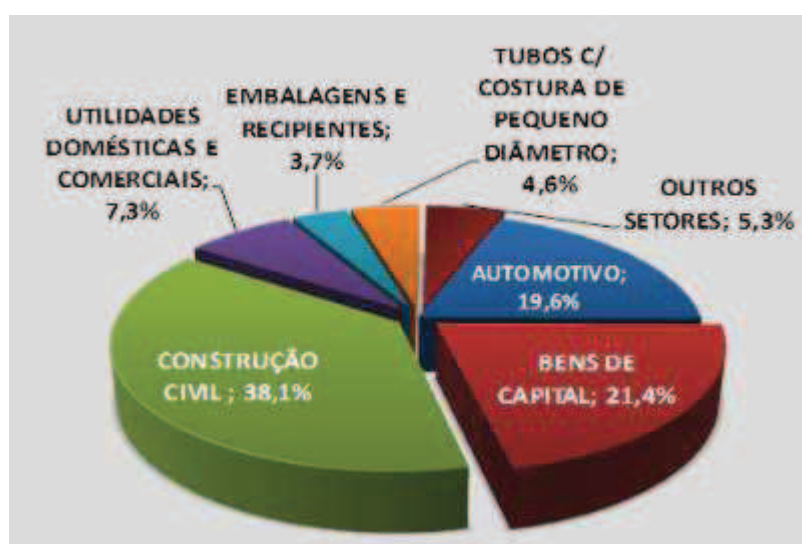
Segundo o Centro Brasileiro de Construção em Aço (2017), em uma pesquisa sobre o Cenário dos Fabricantes de Estruturas de Aço, a produção de estruturas de aço em 2016 atingiu 694 mil toneladas em um universo de 262 fabricantes pesquisados. O número refletiu uma redução de 43% em relação ao ano de 2015, sendo destacado o impacto da situação político-econômica do país, que levou ao fechamento de algumas empresas. Para as empresas pesquisadas, as principais dificuldades apontadas para o crescimento foram o baixo volume de obras, a crise financeira e a falta de investimento, o alto custo da matéria prima e o baixo conhecimento do mercado sobre o sistema.

Em escala mundial, entretanto, a produção de aço cru registrou um pequeno aumento no período, passando de 1.620.001 milhares de toneladas de aço bruto em 2015 para 1.627.004 milhares de toneladas em 2016, segundo o anuário estatístico de aço da Worldsteel Association (2017). O Instituto Aço Brasil (2016) aponta que a produção de aço nacional no ano de 2016 atingiu em torno de 31.300 milhares de toneladas de aço bruto, levando a um saldo comercial para o país de 3,9 bilhões de dólares e tornando o Brasil o 11º exportador mundial de aço ao se considerar as exportações diretas, mostrando a importância do mercado siderúrgico nacional

O Centro Brasileiro de Construção em Aço (2017) aponta ainda que cerca de 46% da produção de estruturas de aço estão envolvidas em obras industriais (como fábricas e galpões) ou de mineração, 32% da produção de estruturas de aço foram utilizadas em obras de infraestrutura (como pontes, viadutos, portos, aeroportos, saneamento, torres, passarelas), 18% da produção foi destinada a obras comerciais (como creches, escolas, hotéis, escritórios, shoppings) e apenas 4% da produção foi voltada para obras residenciais (como edifícios residenciais, condomínios e casas).

A figura a seguir apresenta a distribuição do aço no Brasil, baseada em dados do ano de 2016. Nota-se que o aço é mais utilizado na área da construção civil.

Figura 1: Distribuição de aço no Brasil em 2016



Fonte: Página da Internet do Instituto Aço Brasil¹

Segundo Capozoli (2015) em entrevista com a gerente executiva do Centro Brasileiro da Construção em Aço, no Brasil a construção em aço representa atualmente cerca de 15% do universo do setor de edificações. Ao se comparar com outro países, como os Estados Unidos, em que 50% das construções multiandares comerciais são em aço, e a Inglaterra, em que este número chega a 70%, observa-se que há grande espaço para crescimento no mercado nacional.

¹ Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/>>. Acesso em 19/05/2018.

Vislumbrando-se o espaço para crescimento das construções em aço no cenário nacional, a elaboração de um aplicativo, baseado na norma ABNT NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, que permita a verificação de elementos estruturais submetidos a flexocompressão pode ser uma ferramenta útil aos profissionais e estudantes de engenharia que possam interagir com este mercado no futuro.

2.2. APLICATIVOS E PROGRAMAS COMPUTACIONAIS DE ENGENHARIA

Como ferramentas de suporte aos exercícios das atividades de um engenheiro civil, diversos recursos eletrônicos como planilhas, *softwares* (livres ou comerciais) ou aplicativos podem ser utilizados, podendo auxiliar o profissional em diferentes maneiras, seja no dimensionamento de uma estrutura, na elaboração de desenhos, na compatibilização de projetos, no gerenciamento de obras, no orçamento, etc.

Nos itens a seguir, serão abordados alguns dos aplicativos e programas utilizados em diferentes áreas da Engenharia Civil.

2.2.1. Aplicativos e programas voltados ao desenho

Os sistemas de desenho assistido por computador, mais conhecidos pela sigla em inglês CAD (*Computer Aided Design*), são ferramentas bastante utilizadas em todas as áreas da engenharia, sendo amplamente difundidas e utilizadas.

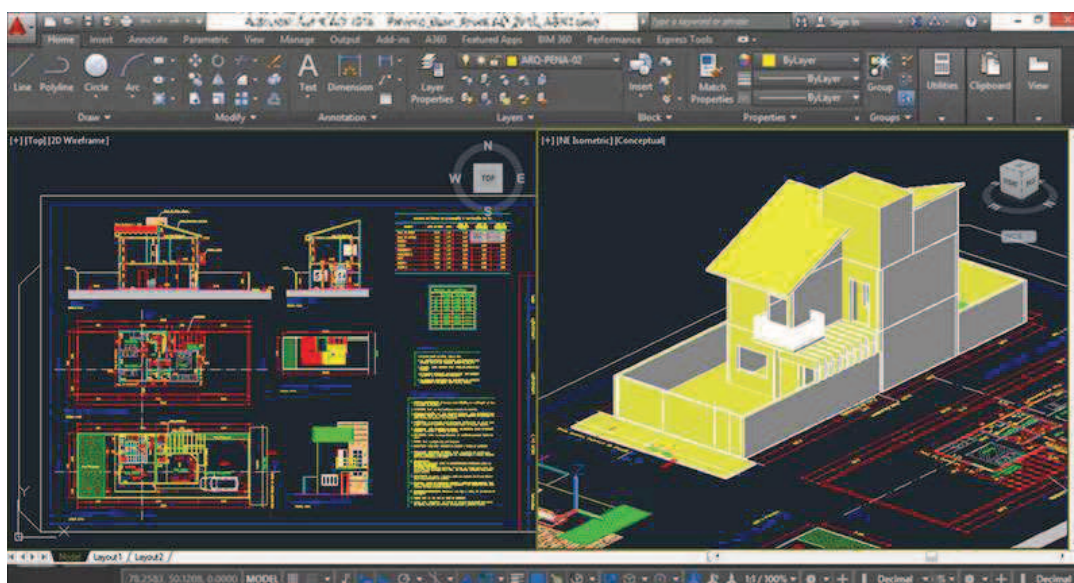
De acordo com Speck (2005):

O desenvolvimento de um sistema CAD baseia-se na representação computacional do modelo. Isto permite produzir, elaborar e apresentar automaticamente o desenho de detalhe e a documentação do desenho, além de possibilitar a utilização de métodos numéricos para realizar simulações sobre o modelo, como uma alternativa a construção de protótipos.

Os estudantes e os profissionais de engenharia se deparam com diversos programas e aplicativos, gratuitos ou pagos, que auxiliam de alguma maneira no desenho técnico. Alguns destes programas são restritos ao desenho bidimensional, outros trabalham também com modelagens tridimensionais. Observa-se também, que alguns dos programas voltados ao desenho se incorporam no conceito de BIM, que será abordado ao longo deste capítulo.

Ao se falar de CAD, é comum que seja recordado, por boa parte das pessoas, o *software* *AutoCAD*, devido a sua grande aplicação e difusão no mercado. *AutoCAD* é um *software* produzido pela empresa *Autodesk* em 1982, permitindo elaboração de desenhos bidimensionais com as respectivas cotas e anotações, bem como elaborar modelos tridimensionais. O *AutoCAD* é um *software* pago, embora disponibilize licença gratuita temporária para estudantes. A figura a seguir apresenta um exemplo de desenho produzido no *software* *AutoCAD*.

Figura 2: Exemplo de desenho no software AutoCAD



Fonte: Página da Internet Desenhar Cursos²

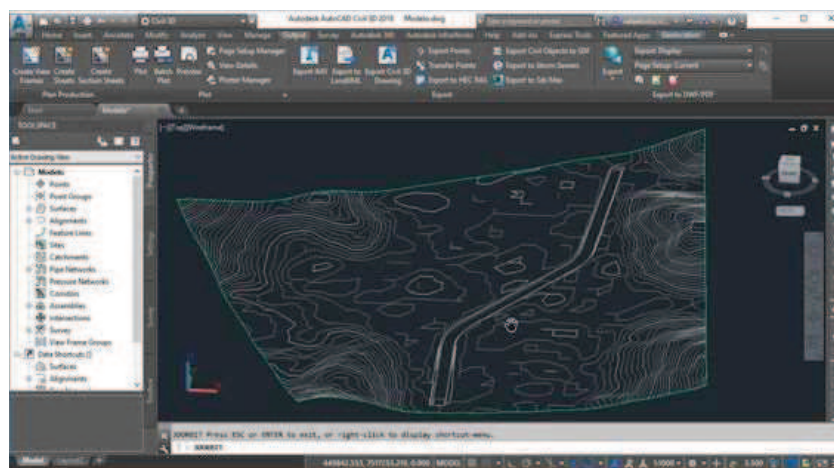
Uma alternativa gratuita para elaboração de desenhos 2D em CAD é o *LibreCAD*, produzido por uma comunidade de colaboração denominada comunidade *LibreCAD*, em que usuários colaboram com o desenvolvimento e melhoria do

² Disponível em: <<http://desenhar.arq.br/cursos/autocad/>> Acesso em 20/05/2018.

sistema, bem como com a tradução para diferentes idiomas. O programa pode ser utilizado nos sistemas operacionais *Windows*, *Linux* e *Mac*.

Mais voltado à Engenharia Civil há também softwares como o Civil 3D. Segundo Colucci (2012), o Civil 3D é um software da linha *AutoCAD* desenvolvida pela *Autodesk*, voltado para a elaboração e análise de projetos nos mais diversos ramos da engenharia civil, permitindo o desenvolvimento de projetos na área de transportes, Sistema de Informação Geográfica e inúmeras áreas ligadas ao meio ambiente, como análise de bacias hidrográficas e estudos hidráulicos e hidrológicos.

Figura 3: Exemplo de elaboração de Modelo Digital de Terreno – Autodesk Civil 3D



Fonte: Site do Instituto GEOeduc – Educação em Geografia e Tecnologia³

Também produzido pela empresa *Autodesk*, o *Revit* é um programa que utiliza o modelo BIM (*Building Information Modeling* ou Modelo da Informação da Construção), podendo elaborar, por exemplo, projetos arquitetônicos. No modelo BIM os elementos deixam de ser apenas desenhos e passam a possuir informações e parâmetros que permitem o gerenciamento e sua virtualização, auxiliando na compatibilização, na simulação de custos, elaboração de quantitativos, etc.

Existem ainda outros programas computacionais de desenho como o *ArchiCAD* da *Graphisoft*; o *SketchUp* da *Trimble Navigation*; o *Solidworks* e o *DraftSight* da *Dessault Systèmes* e o *QCAD* da *Ribbonsoft*. Nota-se, portanto, um

³Disponível em: <http://geoeduc.com/blog/artigo-por-que-utilizar-o-autocad-civil-3d-para-elaboracao-de-geometrias-do-hec-ras/>. Acesso em 20/05/2018.

grande universo de possibilidades, no entanto o estudante ou profissional de engenharia busca, geralmente, aprender as ferramentas mais utilizadas no mercado.

No âmbito dos aplicativos para dispositivos móveis, existem opções como o *Autodesk 360*, que permite visualizar, editar ou compartilhar arquivos, embora não seja adequado para elaboração completa do desenho. O *Autodesk 360* possui versão gratuita e opção de uma versão paga com recursos adicionais, como o suporte prioritário, a criação de novos desenhos, as ferramentas de anotação e o gerenciamento de camadas.

O Aplicativo *eDrawings* da empresa *Dessault Systèmes* permite a visualização de arquivos nos formatos DXF e DWG, além dos arquivos nativos do programa *Solidworks*, bem como personalizar visualizações, elaborar cortes e adicionar notas. Na versão para o sistema IOS o aplicativo fornece a possibilidade de visualizar o objeto desenhado como se este estivesse no local apresentado pela câmera do celular, oferecendo o recurso de realidade aumentada.

2.2.2. Aplicativos e programas voltados ao planejamento e à gestão

Ao se abordar o universo do planejamento e gestão de obras e projetos, observa-se uma gama muito variada de recursos e ferramentas que podem ser utilizadas por engenheiros e estudantes.

O Excel é um programa criado pela empresa Microsoft e faz parte do pacote pago denominado Microsoft Office, que conta com outros programas como um editor de texto, um editor de apresentações e um gerenciador de e-mail. Por meio do programa, é possível elaborar planilhas para cálculos, orçamentos, gerenciamento, controle de caixa, controle de pessoal, etc. Além de um programa computacional, o Excel também está disponibilizado como aplicativo para dispositivos móveis nas plataformas IOS, Android e Windows Phone.

Também desenvolvido pela Microsoft, o programa MS Project é um software pago e bastante utilizado no gerenciamento de projetos, permitindo planejamentos, controle de cronograma, elaboração de relatórios, controle de gastos e gerenciamento dos riscos de um projeto.

O programa Primavera é um programa computacional desenvolvido em 1999 pela empresa *Primavera Systems* e adquirido pela *Oracle*. O sistema proporciona o gerenciamento de multi-projetos e multi-usuários para gerenciamento de projetos corporativos, mantendo um estreito relacionamento como Instituto de Gerenciamento de Projetos (Project Management Institute – PMI). (VERANO ENGENHARIA DE SISTEMAS, 2007)

Dentre seus recursos, o programa Primavera permite gerar gráficos de Gantt, diagramas de rede, histogramas de recursos, controlar ocorrências, bem como gerenciar a comunicação do gerente de projeto com a equipe. (VERANO ENGENHARIA DE SISTEMAS, 2007)

O programa Arquimedes da empresa Multiplus é um programa utilizado para geração de orçamentos de obra, planejamento de atividades, acompanhamento de serviços e controle financeiro. Utilizado para obter documentos como mapa de quantidades, orçamentos, caderno de encargos, cronograma físico-financeiro, relatórios de curva ABC e gráficos de curva S.

O software ORSE - Orçamento de Obras de Sergipe, é um programa computacional gratuito desenvolvido pela Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe. O programa conta com 9745 insumos e 9540 composições de preços unitários, e pode ser utilizado para a elaboração de orçamentos de obras na construção civil. (COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS DE SERGIPE, 2014)

Outros softwares voltados para o planejamento e a gestão que podem ser citados são o *GanttProject* (*software* livre), o OrçaFascio (*software* com opção gratuita e opção mais completa paga) e o Sienge (*software* pago).

Dentre os aplicativos, pode-se apresentar o *ConstructApp* da empresa brasileira *Construct*, um aplicativo disponível para sistemas Android e IOS que permite gerir tarefas, comunicação e colaboração entre equipes em projetos, possuindo recursos para elaboração de checklists, relatórios fotográficos, bem como organizar e gerar relatórios. (CONSTRUCT, 2017)

2.2.3 Aplicativos e programas voltados à área de estruturas

Na área de análise estrutural, se observa a existência de diversos programas e aplicativos, sendo a maioria destes voltados à análise bidimensional e pautados no método dos elementos finitos. Alguns destes programas e aplicativos serão apresentados a seguir.

O programa SAP 2000 da empresa Multiplus é um programa pago voltado à análise estrutural por elementos finitos, permitindo análise, verificação e modelagem, permitindo que se trabalhe com diferentes tipos de normas. O programa trabalha com modelagem tridimensional e permite a obtenção de esforços, da estrutura deformada, bem como de relatórios de saída.

O programa *FTool*, já mencionado na introdução deste trabalho, é um programa desenvolvido por Luiz Fernando Martha da PUC-Rio voltado a análise bidimensional, se destacando por ser gratuito e permitindo a obtenção de esforços como momento fletor, esforço normal, esforço cortante, linha elástica e gráficos da estrutura deformada.

O aplicativo Frame Design é um aplicativo gratuito desenvolvido para o sistema *Android* pela empresa *LetsConstruct*, embora também esteja disponível online para acesso de computadores através de um sistema web. Ele permite a obtenção de esforços em estruturas bidimensionais pelo método dos elementos finitos.

Na área de estruturas de concreto, se destacam os softwares Eberick da AltoQI, o TQS da TQS Informática LTDA, o CypeCAD da Multiplus e o MSCalc da MSC Engenharia de Software. Todos estes permitem o dimensionamento de lajes, vigas, pilares e fundações de concreto armado, incluindo detalhamento de acordo, levando-se em consideração as diretrizes das normas ABNT NBR 6118:2014 e a norma ABNT NBR 6122:2010. O TQS, oCypeCAD e o Eberick ainda permitem a geração de plantas. O MSCalc e o TQS também possuem versões de aplicativo para dispositivos móveis.

Na área de estruturas metálicas existem diversos programas computacionais pagos como o Métálicas 3D da Multiplus, o mCalc 3D da Stabile Engenharia, o

Edilus Steel da ACCA Software e o RFEM da Dlubal, que permitem o cálculo e dimensionamento de estruturas metálicas tridimensionais.

Na linha dos softwares gratuitos, encontram-se o Visual Metal que dimensiona perfis metálicos aos Estados Limites Últimos, estando desatualizado, por seguirem a versão de 1986 da norma ABNT 8800 e o Visual Barras, que permite a análise de pórticos planos, barras conectadas e deformações. Existem ainda programas baseados em normas internacionais como o Trusses e o CoP ArcellorMittal Edition, ambos da ArcellorMittal, que permitem o cálculo de treliças e ligações com base na norma *Eurocode 3* de 2005.

Dentre os aplicativos para Android voltados à área de estruturas metálicas pode-se citar, por exemplo, o software britânico MicroKh Steel Structure da MicroKh, que permite a verificação de vigas, pilares, parafusos e ligações soldadas. Este software possui versão gratuita e versão paga. Outro aplicativo que pode ser citado é o aplicativo espanhol pago Easy Steel Beam de Miguel Cerdá Torres, que permite o dimensionamento de vigas metálicas, com suporte a perfis americanos, europeus e australianos.

Um exemplo de aplicativo nacional é o Catálogo de Bolso do Aço, da empresa SmartMetal, que possui uma biblioteca de mais de 21000 perfis, trazendo suas informações e propriedades, abordando perfis dobrados, perfis soldados, perfis laminados, bem como barras e perfis tubulares.

2.2.4 Outros aplicativos e programas de engenharia

Devido às diversas áreas da engenharia, torna-se impraticável apresentar os aplicativos correspondentes a cada área de atuação. Desta maneira, citar-se-á, brevemente, alguns dos demais aplicativos e programas existentes no mercado.

Na área de instalações elétricas, por exemplo, existem programas como o AutoCAD Electrical da Autodesk, o Pro-Elétrica da Multiplus, o CadProj elétrica da Highlight, o Revit MEP da Autodesk e o QiElétrico da AutoQI. Enquanto para instalações hidráulicas, pode-se observar o TigreCAD, o PRO-Hidráulica, o CadProj Hidráulica e o QiHidrossanitário.

Na área de compatibilização de projetos, por exemplo, pode-se verificar a existência dos programas NavisWork da Autodesk e o Solibri Model Checker da Solibri, destacando-se que ambos trabalham com a plataforma BIM.

No âmbito dos aplicativos para dispositivos móveis, pode-se destacar o Graphing Calculator que funciona como uma calculadora gráfica potente, o Magic Plan e o Floor Plan Creator que permitem a elaboração de plantas baixas e o Engineering Unit Converter, que funciona como um conversor de unidades.

2.3. SISTEMA OPERACIONAL ANDROID

O sistema Android é uma plataforma anunciada pela Google em novembro de 2007 e originada através de uma associação entre diversas empresas, denominada Open Handset Alliance. No mesmo período, foi também lançada a primeira versão beta do *Android Software Development Kit* (SDK), o Kit de Desenvolvimento de Software para Android. Em poucos meses o número de downloads do Android SDK superou a faixa de um milhão de usuários. (ROGERS et al., 2009)

Cerca de um ano depois do anúncio do sistema Android, em outubro de 2008 foi lançado nos Estados Unidos o dispositivo T-Mobile G1, conhecido como o primeiro dispositivo comercial a contemplar o sistema Android. Segundo Rogers et al. (2009) estima-se que foram vendidas centenas de milhares de unidades do aparelho até o fim de seu ano de lançamento.

Figura 4: T-Mobile G1 – O Primeiro smartphone Android Comercial



Fonte: Página da internet Know Your Mobile⁴

De acordo com a GSM Association (2017), no ano de 2017 a indústria móvel mundial atingiu a marca de 5 bilhões de assinantes, alcançando o incrível fato de que mais que dois terços da população mundial estaria conectado a um serviço móvel. Segundo a associação, cerca de 55% dos assinantes se localizam na região da Ásia Pacífica, sendo o mercado da China responsável por mais de um bilhão dos assinantes. Para a América Latina, observou-se um total de 459 milhões de assinantes, o que representa cerca de 9% da base global.

Como apresentado na introdução deste trabalho, as estatísticas apresentam uma maior utilização do sistema Android ao se comparar a divisão de mercado em relação aos sistemas concorrentes IOS e Windows. Desta forma, um desenvolvimento para Android possui potencial para atingir um público bastante considerável, sendo também um bom parâmetro para seleção da plataforma frente às demais.

O desenvolvimento de aplicativos busca acompanhar a demanda dos usuários, o que, em associação aos números apresentados, culmina em um enorme rol de aplicativos lançados. Portanto, cada vez mais se observa a existência de aplicativos diversos para atender diferentes demandas: existindo jogos, navegadores GPS, editores de texto, ferramentas para controle de dieta, aplicativos voltados a aprendizagem, etc.

⁴ Disponível em: <<http://www.knowyourmobile.com/products/7450/t-mobile-g1-preview>> Acesso em 15/05/2018.

Nesta perspectiva, observa-se a oportunidade de produzir um aplicativo voltado a área de Engenharia Civil, sendo escolhida a área de Estruturas Metálicas para o projeto. Desta maneira, estudantes e profissionais de engenharia podem obter uma ferramenta de suporte ao exercício de profissão, estando esta prontamente disponível e ao seu alcance.

Atualmente o sistema Android pode ser utilizado em diversos tipos de dispositivos como smartphones, tablets, relógios, televisores ou mesmo em centrais de mídia de carros. Um dos motivos a que se deve a grande expansão da plataforma é o fato de que está é uma plataforma de código aberto, ou seja, seu código fonte está disponível para consulta e modificação para os desenvolvedores de maneira livre.

2.3.1 Android SDK

Segundo Silva (2015), o Kit de Desenvolvimento de Software para Android, também conhecido como Android SDK, é uma ferramenta composta por diversas interfaces de programação de aplicativos, permitindo o desenvolvimento de aplicações para a plataforma Android utilizando-se da linguagem Java. Dentre os recursos do Android SDK, podem ser destacados:

1. Máquina Virtual Dalvik, uma máquina virtual Java voltada para dispositivos móveis. O conceito de uma máquina virtual Java pode ser encontrado no item 2.4 deste trabalho;
2. Navegador Integrado;
3. SQLite, um sistema de gerenciamento de banco de dados;
4. Suporte a multimídia;
5. Ambiente de desenvolvimento bastante completo.

O Android SDK será uma das ferramentas utilizadas para elaboração do aplicativo em questão. Aliado ao Android SDK será utilizado o ambiente Android Studio para elaboração do projeto. No item 3.3.2 deste trabalho será detalhada a utilização destas ferramentas.

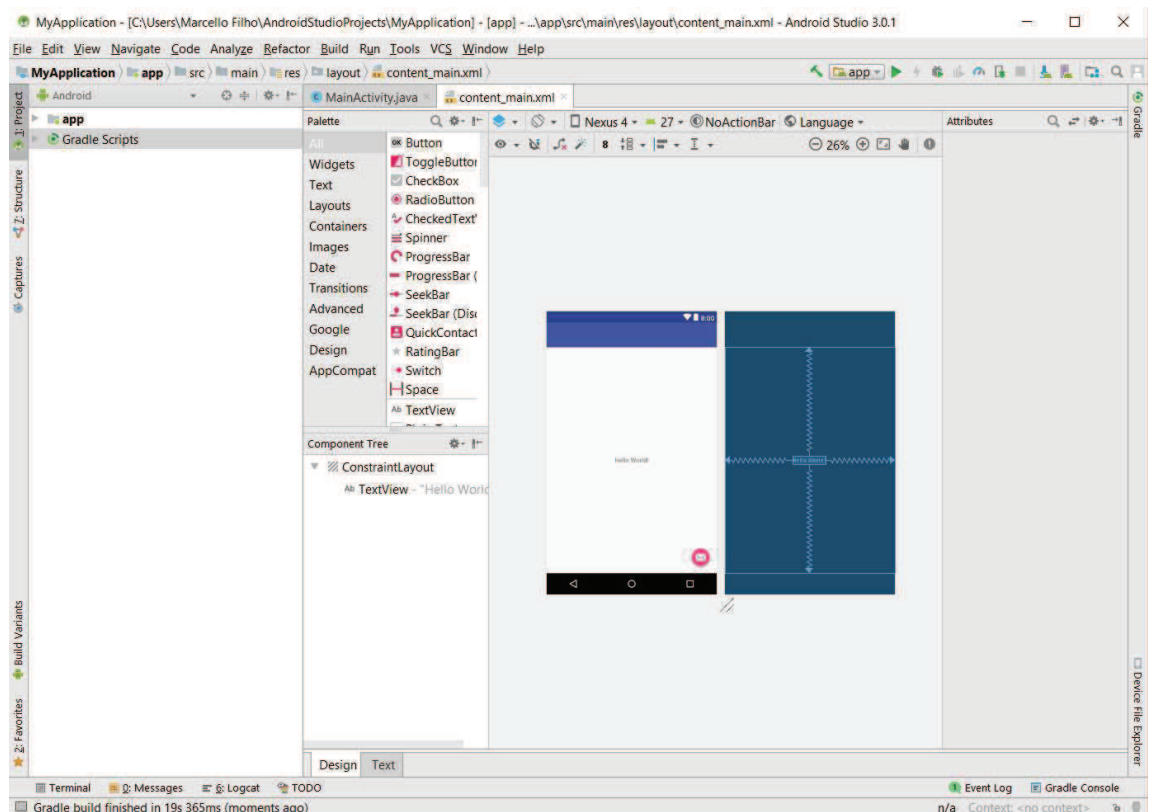
2.3.2. Android Studio

Android Studio é um ambiente de desenvolvimento integrado gratuito lançado pela empresa Google, podendo ser instalado em sistemas operacionais Windows, Mac ou Linux, exigindo como requisitos mínimos 3 GB de memória RAM e 2 GB de espaço de disco disponível para sua instalação. (ANDROID, 2018)

Dentre as ferramentas disponíveis no ambiente, está um editor de layout visual que facilita o design de telas do aplicativo; um emulador de dispositivos Android, que permite que seja simulado o funcionamento do aplicativo como se o mesmo estivesse rodando em um dispositivo físico; e um editor de códigos inteligente, que possui recursos para facilitar a escrita de blocos de código de programação.

Considerando esta gama de recursos, o Android Studio será o ambiente onde será concentrado o maior esforço para conclusão do projeto, por meio da criação das telas de interação com o usuário e as rotinas diversas do aplicativo, como as rotinas internas de cálculo e a rotina de conversão de unidades. A figura a seguir apresenta uma captura de tela do programa para fins de ilustração.

Figura 5: Captura de Tela do programa Android Studio



Fonte: Elaborado pelo autor

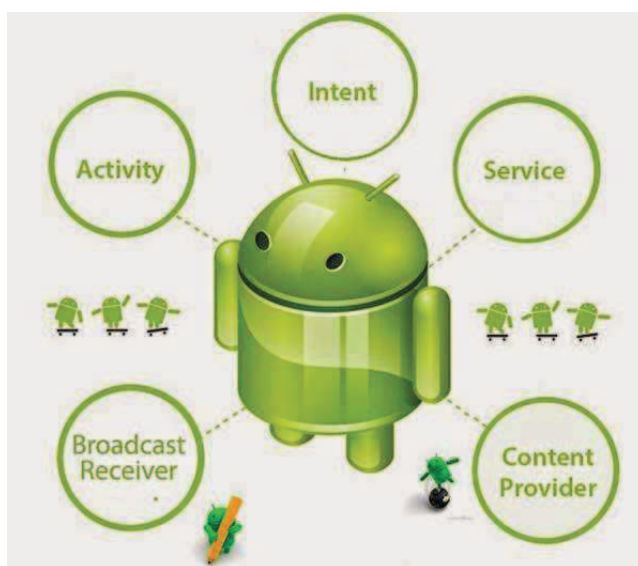
2.3.3. Componentes de uma aplicação Android

De acordo com Android (2018):

Os aplicativos do Android são programados em linguagem de programação Java. As ferramentas do Android SDK compilam o código — em conjunto com todos os arquivos de dados e recursos — em um APK — um *pacote Android*, que é um arquivo de sufixo *.apk*. Os arquivos de APK contêm todo o conteúdo de um aplicativo do Android e são os arquivos que os dispositivos desenvolvidos para Android usam para instalar o aplicativo.

As aplicações Android são compostas por quatro tipos de componentes básicos: as atividades (*activities*), os serviços (*services*), os provedores de conteúdo (*content providers*) e os receptores de transmissão (*broadcast receivers*). Os intents são mecanismos responsáveis por vincular os componentes individuais entre si. (ROGERS, 2009)

Figura 6: Componentes de uma aplicação Android



Fonte: Página da internet Google4Tech⁵

As atividades estão relacionadas às telas de interface com o usuário, os serviços são componentes executados em segundo plano para realizar operações, os provedores de conteúdo gerenciam um conjunto compartilhado de dados do aplicativo e os receptores de transmissão respondem a transmissões realizadas pelo sistema. (ANDROID, 2018)

Os componentes criados para um aplicativo são declarados em um arquivo denominado arquivo de manifesto, que permite identificar os componentes existentes, bem como permissões necessárias para execução do aplicativo, recursos de hardware e software exigidos pelo aplicativo, bibliotecas de interface de programação de aplicativos necessárias, dentre outras funções.

2.3.4. Arquitetura do sistema Android

O Android funciona como uma pilha de softwares baseada no sistema Linux. Seus principais componentes podem ser encontrados na figura a seguir.

⁵ Disponível em: <http://www.google4tech.com/2015/05/android-components-activitiesservicesbr.html>. Acesso em 28/05/2018.

Figura 7: A pilha de software do Android.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Segundo Android (2018) “A fundação da plataforma Android é o Kernel do Linux (Linux Kernel), que se encontra na base da pilha de software do Android. Por exemplo: o Android Runtime (ART) confia no Kernel do Linux para cobrir funcionalidades como encadeamento e gerenciamento de memória de alto nível”.

Kernel, segundo Pires (2007), “é uma série de arquivos escritos em linguagem C e em linguagem Assembly que constituem o núcleo, que é o centro de todas atividades desempenhadas pelo sistema operacional”. O Kernel é responsável por controlar os dispositivos, conectando o software ao hardware.

As camadas de abstração de hardware (HAL), localizadas acima do Kernel do Linux na pilha de software do Android, por sua vez, auxiliam na interação do hardware do aparelho com interfaces de programação de aplicativos Java, permitindo que essas interfaces acessem funções diversas como a câmera ou o sistema bluetooth. (ANDROID, 2018)

Na estrutura de interfaces de programação de aplicativos Java (Java API Framework), localizadas na parte superior da pilha de software do Android, existem os blocos de programação necessários para criação dos aplicativos Android, apresentando componentes e serviços diversos como um sistema de visualização

útil para criação de telas de interação com o usuário por meio de listas, grades, caixas de texto e botões, bem como um gerenciador de recursos, através do qual recursos como gráficos e arquivos de layout podem ser acessados sem código. (ANDROID, 2018)

No nível mais alto desta arquitetura se encontram os aplicativos do sistema (*System Apps*), sendo observado que o Android nativamente traz aplicativos como um calendário, um discador de chamadas e um navegador web. Um aplicativo desenvolvido, como o objeto deste trabalho, embora não seja nativo do sistema, poderia se estabelecer no mesmo nível de arquitetura, pois os aplicativos funcionam com o suporte e interação dos demais níveis, utilizando recursos de hardware, bem como a programação envolvida e os mecanismos de acesso às ferramentas de nível mais baixo.

2.4. LINGUAGEM JAVA

A linguagem de programação Java foi criada por James Gosling, através de um projeto de pesquisa corporativa interna da empresa Sun Microsystem em 1991 e lançada pela mesma empresa em 1995. Inicialmente o projeto de pesquisa sofreu algumas dificuldades, pois o mercado para dispositivos eletrônicos inteligentes, não cresceu conforme o esperado no período. (DEITEL; DEITEL, 2010)

No entanto, segundo Deitel e Deitel (2010) devido ao aumento da popularidade da Web em 1993, percebeu-se o potencial de utilizar Java para adicionar conteúdo dinâmico a páginas eletrônicas, sendo retomadas novas expectativas para o projeto. Caelum([201-?]) apresenta que boa parte do que se acessa na Web é baseada em conteúdo dinâmico, ou seja, conteúdo no qual há interação do servidor para resposta a uma solicitação do usuário.

Segundo a Oracle Technology Network ([201-?]), através de informações encontradas no portal Java:

O Java é a base para praticamente todos os tipos de aplicações em rede e é o padrão global para o desenvolvimento e distribuição de aplicações móveis e incorporadas, jogos, conteúdo baseado na Web e softwares corporativos. Com mais de 9 milhões de desenvolvedores em todo o mundo, de forma eficiente, o Java permite que você desenvolva, implante e

use aplicações e serviços estimulantes. De laptops a datacenters, consoles de games a supercomputadores científicos, telefones celulares à Internet, o Java está em todos os lugares!

Nota-se ainda que notáveis estatísticas estão relacionadas a utilização do Java, sendo apontado que 97% dos computadores executam o Java, que existem 9 milhões de desenvolvedores Java em todo o mundo, que 3 bilhões de telefones celulares executam o Java e que este é a Plataforma de Desenvolvimento nº 1 do mercado. (ORACLE TECHNOLOGY NETWORK, [201-?])

Dentre as vantagens do sistema Java, pode se observar a capacidade de desenvolver aplicações para dispositivos diversos como computadores, celulares ou televisores; o grande material disponível para estudo, visto que a comunidade de desenvolvedores Java é bastante grande e o fato de que um arquivo Java gera um código capaz de ser executado numa máquina virtual Java, permitindo que seja desenvolvido em qualquer sistema operacional para ser executado em qualquer sistema operacional. (SANTANA, 2011)

O Java permite a execução de seus códigos em qualquer sistema operacional por meio de uma Máquina Virtual Java. Os códigos escritos em Java são compilados para bytecodes(códigos intermediários entre o código escrito pelo programador e o código que o computador consegue processar) capazes de serem lidos por uma Máquina Virtual Java, que pode ser instalada em sistemas diversos como o Windows, o Linux, o Mac e o próprio Android. A máquina virtual é mais que um simples interpretador de código, pois ela também executa pilhas, gerencia memória e limpa os resíduos não utilizados da memória virtual, servindo como um verdadeiro computador virtual. (ROMANATO, 2013)

De maneira complementar, a linguagem Java é uma das linguagens suportadas pelo ambiente de desenvolvimento integrado desenvolvido pela Google, o Android Studio, que será o ambiente utilizado para desenvolvimento do aplicativo.

2.4.1. O paradigma da orientação a objetos

A linguagem Java segue o paradigma da orientação a objetos, que, segundo Fernandes (2002), “busca uma melhor representação do mundo real através de estruturas que sejam o mais semelhante possível ao mesmo”. Essas estruturas são chamadas de maneira geral de objetos, que a princípio podem representar coisas diversas como brinquedos, pessoas ou mesmo perfis metálicos, por exemplo.

As características inerentes de um objeto podem ser denominadas de atributos. No caso de um perfil metálico, alguns de seus atributos são: tipo de perfil, área, identificação, dimensões e peso. Um determinado tipo de aço específico apresenta, por sua vez, atributos como identificação, limite de escoamento, limite de ruptura, teor de carbono.

Um objeto, de maneira geral, pode apresentar também operações ou comportamentos. Um perfil metálico submetido a certos esforços pode, por exemplo: escoar, romper devido a compressão, sofrer flexão, sofrer alongamento ou mesmo flambagem.

Segundo Deitel e Deitel (2010), o design orientado a objetos encapsula atributos e comportamentos em objetos, permitindo que sejam elaborados modelos para trabalhar estas propriedades e operações em objetos. No caso da Linguagem Java, a unidade de programação é a classe, a partir da qual os objetos são criados. As classes Java contém métodos (que implementam operações) bem como campos (que implementam atributos).

Outro aspecto interessante relativo a utilização da orientação a objetos é a possibilidade de prover relacionamentos entre classes distintas. Uma classe que representa um perfil metálico pode, por exemplo, ser relacionada à classe referente ao tipo de aço utilizado no mesmo, obtendo características da mesma, como o limite de escoamento. Estes relacionamentos são denominados de associações. (DEITEL; DEITEL, 2010)

Pode-se perceber, portanto, que a utilização de uma linguagem baseada no paradigma da orientação a objetos permite que o aplicativo a ser desenvolvido

possa, por meio de uma modelagem, representar certos objetos, características e fenômenos, o que auxilia na organização e estruturação do projeto.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentadas as etapas do projeto, bem como as ferramentas que serão utilizadas para desenvolver o aplicativo, definir os requisitos preliminares do sistema e apresentar os resultados esperados.

3.1. ETAPAS DO PROJETO

Inicialmente pretende-se elaborar um roteiro de cálculo voltado à verificação de elementos estruturais em aço submetidos a flexocompressão, de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008) NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. De maneira complementar, pretende-se utilizar bibliografia didática sobre o assunto e o auxílio do professor orientador. Nesta etapa o *software Astah* será utilizado para a elaboração de fluxogramas de cálculo.

De posse do roteiro elaborado, buscar-se-á construir as funções principais de cálculo do sistema, juntamente com a tela de entrada de dados do usuário e a tela de apresentação de resultados, utilizando o ambiente Android Studio e a linguagem Java. Pretende-se também, nesta etapa, elaborar um banco de dados com as propriedades dos perfis metálicos que serão selecionáveis para verificação, utilizando-se o DB Browser for SQLite. Nesta etapa, será desenvolvido o núcleo principal de funcionamento do aplicativo, sendo demandado o maior percentual de tempo na execução do projeto.

Em seguida, busca-se construir um relatório exportável de apresentação de resultados e um sistema interno de conversão de unidades para as unidades padrão de cálculo do sistema, adicionando-se neste momento a funcionalidade de seleção de unidade de medidas na tela de entrada de dados do usuário no aplicativo e a funcionalidade de exportação do relatório de cálculo na tela de apresentação de resultados, por meio do Android Studio.

Concluídos estes passos, o aplicativo está basicamente concluído, passando para a etapa de correção de falhas e validação do sistema, em que serão efetuados testes de maneira a assegurar que os resultados obtidos são confiáveis e que os erros de operação serão minimizados para correto funcionamento do aplicativo.

Com o sistema construído e validado, será redigido o manual de instruções do mesmo, buscando esclarecer ao usuário operador do aplicativo o funcionamento do sistema, bem como deve ser executada sua correta utilização.

Por fim, proceder-se-á com os trâmites para submissão à aprovação e publicação do aplicativo na loja virtual Google Play. Caso a publicação seja aceita, o aplicativo estará então disponível para *download* gratuito aos interessados em utilizá-lo. Deve-se observar que, se por algum motivo a publicação na loja virtual não se concretizar, o arquivo de instalação do aplicativo pode ser distribuído aos interessados por outros meios como e-mail ou pela disponibilização de link para download.

3.2. FERRAMENTAS UTILIZADAS

As ferramentas utilizadas para elaboração do aplicativo se dividem em duas categorias: software e hardware.

3.2.1. Hardware

Dentre os componentes físicos utilizados para elaboração do projeto estão os computadores utilizados para desenvolvimento do aplicativo, os smartphones utilizados para testar o mesmo.

A elaboração do projeto será realizada por meio de dois computadores, apresentados a seguir:

1. Notebook modelo Aspire Nitro 5AN515-51-596D da marca Acer, que conta com processador Intel Core I5-7300HQ, 12 GB de memória SDRAM DDR4,

uma placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 1050 Ti 4GB DDR5, HD de 1 TB e sistema operacional Windows 10.

2. Desktop com placa-mãe Gigabyte GA-H97M-Gaming 3, processador Intel Core i5-4460 3,2GHz, 8 GB de memória RAM DDR3 1866MHz, uma placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 970 4GB DDR5 256Bit, HD Sata III de 1TB e SSD de 120GB e sistema operacional Windows 7.

Para fins de testes do funcionamento do aplicativo, além do emulador que será abordado no item 3.3.2, serão utilizados dois smartphones, apresentados a seguir:

1. Smartphone Samsung Galaxy S9 G9600, dual chip, com chipset Snapdragon 845 Qualcomm MSM8998, processador 4x2.7 GHz Kryo 385 + 4x1.7 GHz Kryo 385, GPU Adreno 630, contendo 4 GB de memória RAM, 128 GB de armazenamento e sistema operacional Android na versão 8.0 (Oreo).
2. Smartphone Motorola Z Play XT1635-02, dual chip, com chipset Cortex-A53 Qualcomm Snapdragon 625 MSM8953, processador 2 GHz 8 Core, GPU Adreno 506, contendo 3 GB de memória RAM, 32 GB de armazenamento e sistema operacional Android na versão 8.0 (Oreo).

3.2.2. Software

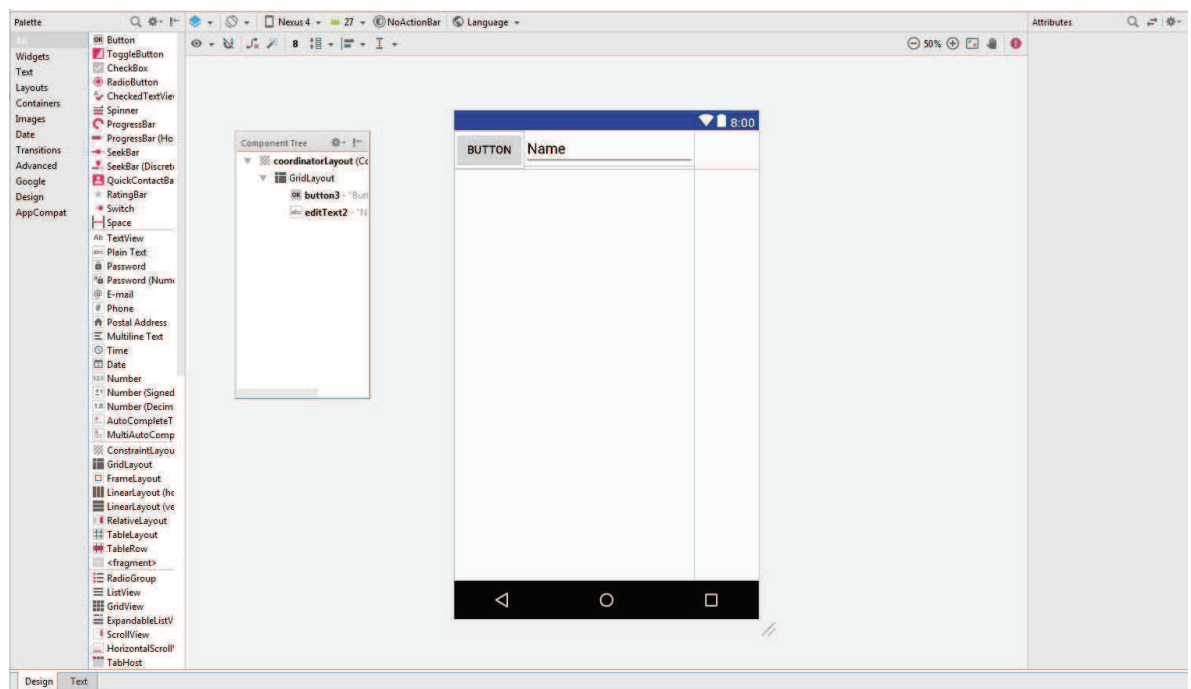
Dentre os softwares que serão utilizados, estão: um ambiente de desenvolvimento integrado (Android Studio), o Kit de Desenvolvimento de Software para Android (Android SDK), um gerenciador de banco de dados (DBBrowser for SQLite) e uma ferramenta de modelagem de software (Asth).

3.2.2.1. Android Studio e Android SDK

Já abordado na revisão bibliográfica deste trabalho, o Android Studio será o ambiente de desenvolvimento integrado a ser utilizado para desenvolvimento do aplicativo, estando instalada sua versão 3.0.1.

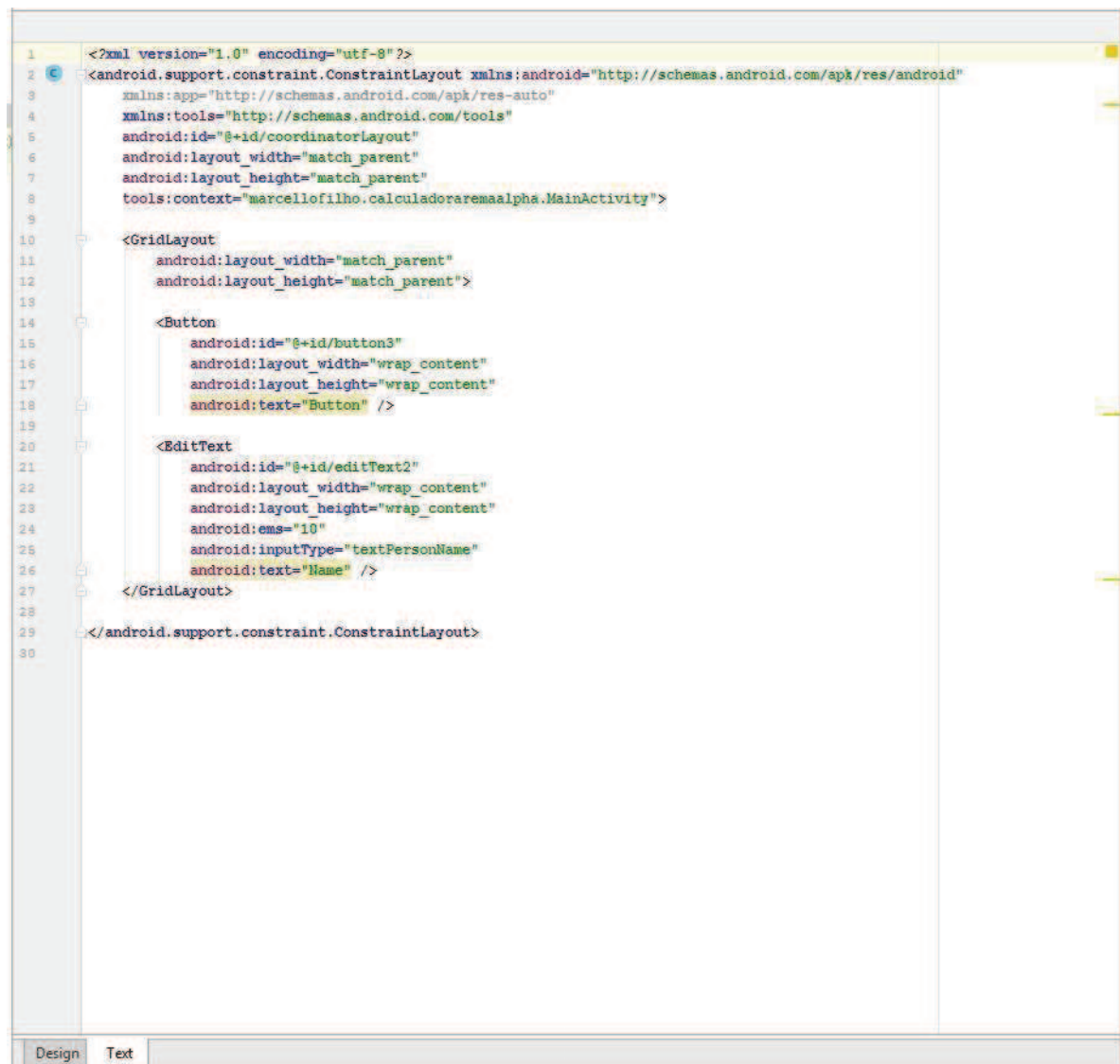
O seu editor de layout, apresentado pela figura a seguir será utilizado para desenvolvimento de todas as telas do aplicativo, como a tela de entrada de dados, a tela de apresentação dos resultados, utilizando-se de componentes como botões, caixas de texto, campos para entradas numéricas, listas de seleção, etc.

Figura 8: Captura de Tela - Editor de Layout – Android Studio



Fonte: Elaborada pelo Autor

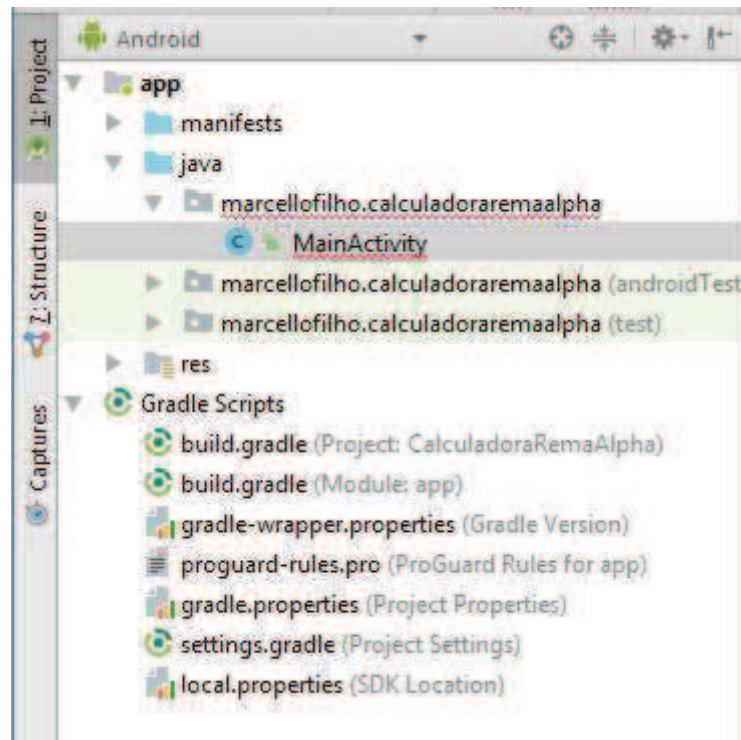
O editor de códigos inteligente do Android Studio, apresentado pela figura a seguir será utilizado para edição de algumas características de layout por meio de código e para elaboração das rotinas internas do aplicativo, como a rotina de conversão de unidades e as rotinas de cálculo em si. Neste local, serão produzidos os blocos de programação, que serão escritos através da linguagem Java.

Figura 9: Captura de Tela - Editor de Código Inteligente – Android Studio

Fonte: Elaborada pelo Autor

Os arquivos do aplicativo podem ser acessados e organizados através do explorador de projetos do Android Studio, que é apresentado pela figura a seguir.

Figura 10: Captura de Tela – Explorador de Projetos – Android Studio



Fonte: Elaborada pelo Autor

As ferramentas do Android SDK serão utilizadas em sua versão 26.1.1 e estas são nativamente integradas ao Android Studio. Dessa maneira, pode-se utilizar da máquina virtual Dalvik para executar os comandos em Java, bem como utilizar-se de outros recursos do kit, como o Emulador de Dispositivos Android, que permite simular a execução do aplicativo no computador e a interface de acesso a bancos de dados SQLite.

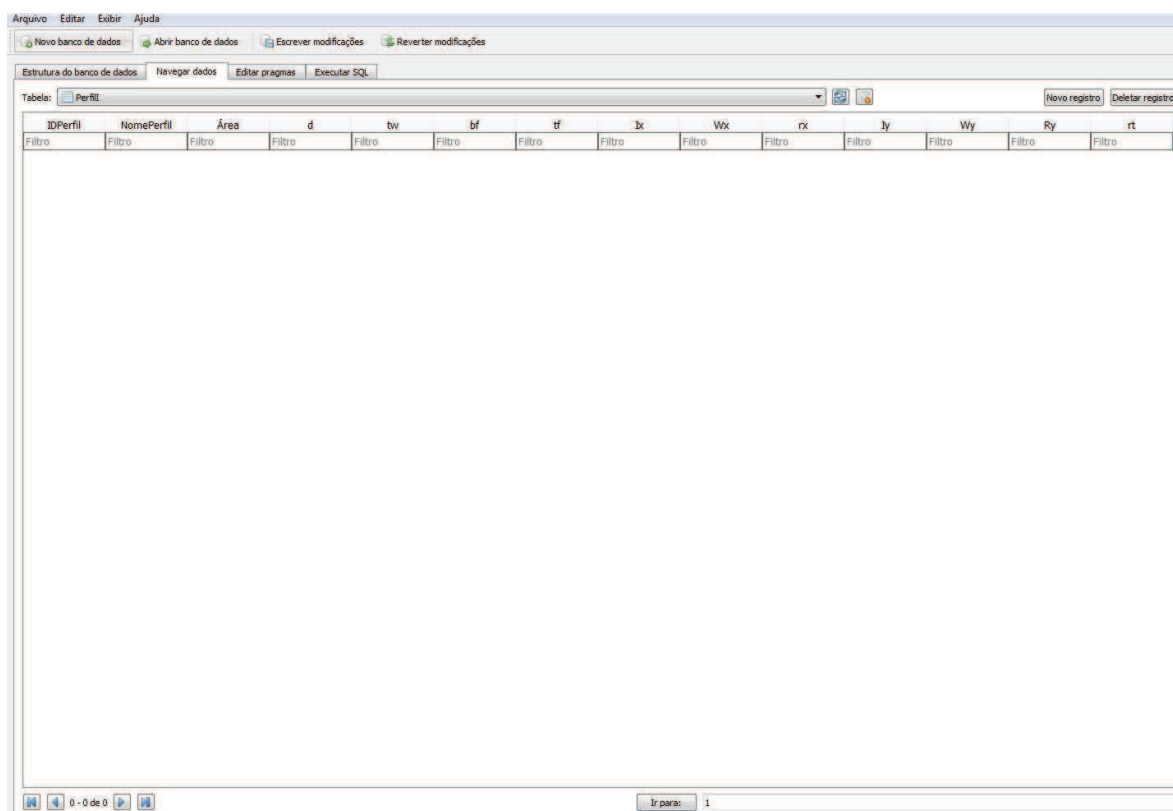
3.2.2.2. DB Browser for SQLite

SQLite é um sistema de banco de dados gratuito e multiplataforma, sendo bastante acessível para uso no desenvolvimento de aplicações Android, uma vez que o Kit de Desenvolvimento de Software Android SDK já possui ferramentas compatíveis para criação e manipulação de bancos de dados SQLite.

O programa DB Browser for SQLite, da empresa Rockspace, é uma ferramenta visual utilizada para criar, desenvolver e editar arquivos de banco de dados compatíveis com o sistema SQLite.

Para elaboração deste projeto, será utilizado esse software de maneira a facilitar a modelagem do banco de dados de perfis metálicos do aplicativo, diminuindo-se a elaboração de códigos manualmente, pois o mesmo permite que visualmente sejam criadas as colunas de inserção de informações no arquivo de banco de dados, bem como a entrada dos dados no mesmo. Sua interface é apresentada na figura a seguir.

Figura 11: Captura de Tela – DB Browser for SQLite

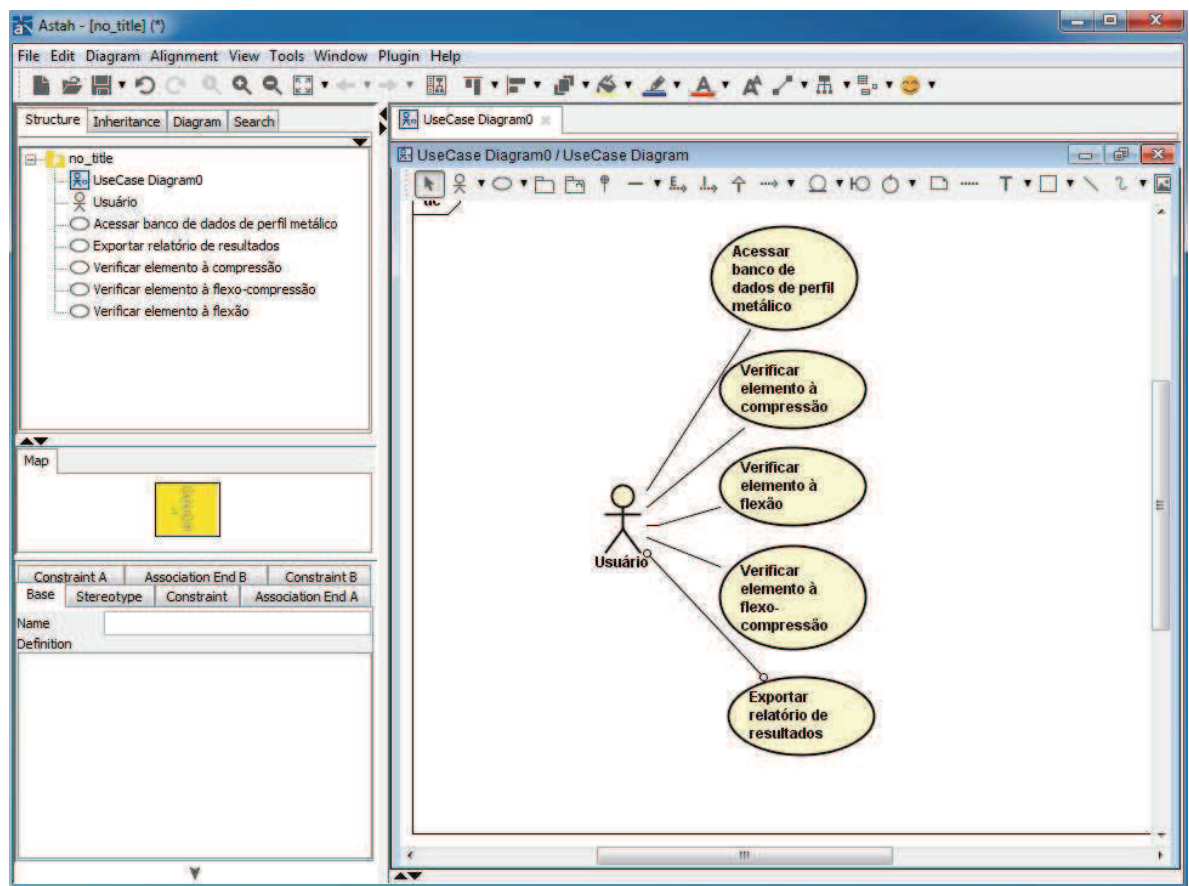


Fonte: Elaborada pelo Autor

3.2.2.3. Astah

O programa de modelagem de software Astah UML será utilizado neste trabalho para gerar diagramas que eventualmente servirão de suporte ao desenvolvimento do aplicativo, como, por exemplo, um diagrama de casos de uso (conforme o exemplo apresentado na figura a seguir), um fluxograma de cálculo, dentre outros, facilitando o entendimento e a organização dos fluxos de trabalho a serem executados durante o projeto.

Figura 12: Captura de Tela – Astah UML



Fonte: Elaborada pelo Autor

3.3. LEVANTAMENTO DE REQUISITOS PRELIMINARES DO SISTEMA

Segundo Leite (2000): “requisitos são objetivos ou restrições estabelecidas por clientes e usuários do sistema que definem as diversas propriedades do sistema”.

Os requisitos de um software podem ser classificados em requisitos funcionais ou requisitos não funcionais. Leite (2000) aponta que os requisitos funcionais são a descrição das funções que um software precisa oferecer para atender clientes e usuários, estando ligados à funcionalidade do sistema em si. Os requisitos não-funcionais, por sua vez, englobam qualidades globais de um software como usabilidade, custos e desempenho.

Existe uma área específica dentro do universo da Engenharia de Software voltada ao estudo dos requisitos, denominada Engenharia de Requisitos. A Engenharia de Requisitos, dentre outras funções, estabelece procedimentos e diretrizes para elaboração de uma documentação voltada aos requisitos de um sistema. Porém, decidiu-se que, no escopo deste trabalho, os requisitos serão levantados de maneira mais direta, voltada a orientar o processo de elaboração do aplicativo, uma vez que o trabalho não se concentra na área da Engenharia de Software, e sim na área de Engenharia Civil, além do fato de que o aplicativo não será desenvolvido para fins comerciais.

Desta forma, serão levantados, de maneira mais informal, alguns requisitos funcionais e não funcionais que irão nortear o procedimento de elaboração do aplicativo.

3.3.1. Requisitos funcionais

Seguem os requisitos funcionais estabelecidos para desenvolvimento do aplicativo:

1. O sistema deve ser capaz de verificar um elemento estrutural submetido a esforços de compressão, flexão ou flexocompressão com

base nas informações inseridas pelo usuário e seguindo os procedimentos estabelecidos na norma NBR 8800:2008.

2. O sistema deve possuir um banco de dados de perfis metálicos, contendo informações relevantes para cálculo, bem como sua identificação.
3. O sistema deve permitir que o usuário selecione um perfil metálico dentre os disponíveis em seu banco de dados para que haja verificação do mesmo.
4. O sistema deve apresentar os resultados ao usuário após um procedimento de verificação.
5. O sistema deve permitir que seja gerado um relatório de resultados que possa ser exportado em formato PDF.
6. O sistema deve possibilitar o acesso do usuário a seu manual de instruções.
7. O sistema deve possuir uma rotina interna de conversão de unidades, de maneira que o usuário possa selecionar, dentre as unidades disponíveis, a que lhe convier durante o procedimento de entrada de dados.

3.3.2. Requisitos não funcionais

Seguem os requisitos não funcionais estabelecidos para desenvolvimento do aplicativo:

1. O aplicativo deve ser operacionalizado no sistema Android.
2. O banco de dados de perfis metálicos inserido no sistema deve ser alimentado pelo desenvolvedor do aplicativo.
3. O sistema deve ser desenvolvido completamente até o final do ano de 2018.
4. O sistema deve emitir alerta explicativo caso o usuário insira alguma informação inválida.
5. O sistema deve ser fornecido gratuitamente aos usuários interessados.
6. O sistema deve ser validado quanto a seus resultados apresentados.

3.4. RESULTADOS ESPERADOS

Com a conclusão deste trabalho, espera-se desenvolver completamente um aplicativo funcional, que apresente resultados confiáveis e devidamente validado para verificação de elementos estruturais do tipo barra submetidos a flexão, compressão ou flexocompressão em estruturas de aço, de maneira que este permita que o profissional ou estudante de engenharia efetue a entrada de dados em diferentes tipos de unidades e ainda disponibilize um relatório exportável contendo os resultados obtidos.

Espera-se ainda que seja desenvolvido de maneira complementar um manual de instruções, de maneira a auxiliar e guiar o usuário para uma correta utilização do aplicativo.

Por fim espera-se publicar o aplicativo na loja virtual Google Play, de maneira a disponibilizá-lo gratuitamente a todos os usuários interessados em obter e utilizar o aplicativo.

4. ROTEIRO DE CÁLCULO

Com base nas recomendações estabelecidas na versão vigente da norma NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios da Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008), serão definidos fluxogramas de cálculo à compressão, à flexão e a flexocompressão, que servirão de suporte à elaboração das rotinas de cálculo do aplicativo.

4.1. PERFIS ESTRUTURAIS

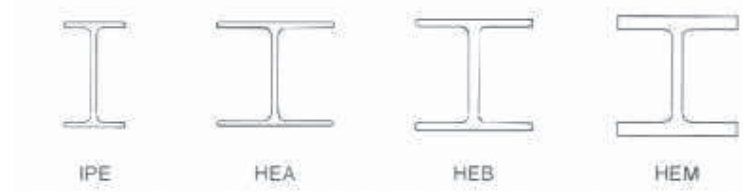
Os perfis estruturais em aço podem ser produzidos por métodos distintos, como a laminação, a soldagem e o dobramento, que serão abordados em seguida. Para o escopo de desenvolvimento do projeto, serão considerados perfis laminados tipo W (I aba larga e H – wide flange) e as séries de perfis soldados padronizados pela NBR 5884:1980: os perfis CS (colunas soldadas); VS (vigas soldadas) e CVS (colunas e vigas soldadas).

4.1.1. Perfis laminados

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), os laminadores produzem perfis laminados de grande eficiência estrutural, em forma de H, I, C e L, sendo os perfis C correntemente denominados perfis U.

Pfeil e Pfeil (2009) acrescentam que na indústria norte-americana são usadas as seguintes nomenclatura de perfis: perfil I: S (standard beam), com mesas de faces internas inclinadas; perfis tipo I aba larga e H: W (wide flange), com mesas de faces paralelas e HP, com mesas de faces paralelas e espessura constante. Quanto aos padrões europeus, estes são os perfis laminados com aba de espessura constantes ilustrados na figura a seguir:

Figura 13: Perfis laminados de abas com faces paralelas de padrão europeu.



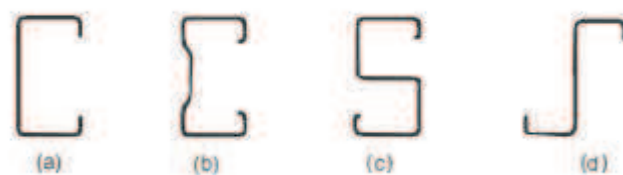
Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

No Brasil empresas como a Votorantim, a Gerdau e a ArcelorMittal produzem perfis laminados do padrão norte-americano, enquanto fabricantes como a Aço Minas e a Gerdau produzem perfis laminados do padrão europeu.

4.1.2. Perfis formados a frio

As chapas metálicas de aços dúcteis podem ser dobradas a frio, transformando-se em perfis de chapas dobradas, sendo utilizadas prensas especiais que utilizam gabaritos a fim de que os raios internos de dobragem sejam especificados para impedir a fissuração do aço na dobra. A figura a seguir apresenta alguns exemplos de perfis dobrados. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Figura 14: Exemplos de perfis de chapa dobrada: perfil U (a); perfil complexo (b); perfil S (c); perfil Z (d)



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

Existem normas específicas para este tipo de perfil metálico como a do American Iron and Steel Institute (AISI) e a norma brasileira NBR 14762:2001: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas de Perfis Formados a Frio. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Dentre os fabricantes nacionais de perfis dobrados, pode-se citar a empresa Metform, que possui unidades em Minas Gerais e São Paulo, bem como empresas locais do estado de Goiás como a Perfinasa, a Metalforte e a Ferrobraz.

4.1.3. Perfis soldados

Segundo Pfeil e Pfeil (2009) estes perfis são formados pela associação de chapas ou de perfis laminados simples, sendo a ligação efetuada por meio de solda, havendo produção competitiva em escala industrial. Acrescenta-se ainda, que a norma brasileira NBR 5884:1980 padronizou três séries de perfis soldados: os perfis CS (colunas soldadas); VS (vigas soldadas) e CVS (colunas e vigas soldadas).

Figura 15: Exemplos de perfil I soldado



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

Dentre os fabricantes de perfis soldados em território nacional pode-se mencionar a FAM Construções Metálicas Pesadas, que possui a sede no estado de São Paulo, a Açobril localizada no mesmo estado e a Florenzano, localizada no estado de Goiás.

4.2. VERIFICAÇÃO À TRAÇÃO

De acordo com o item 5.2.2 da NBR 8800:2008, as barras prismáticas submetidas à força axial de tração devem ser verificadas quanto aos estados limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

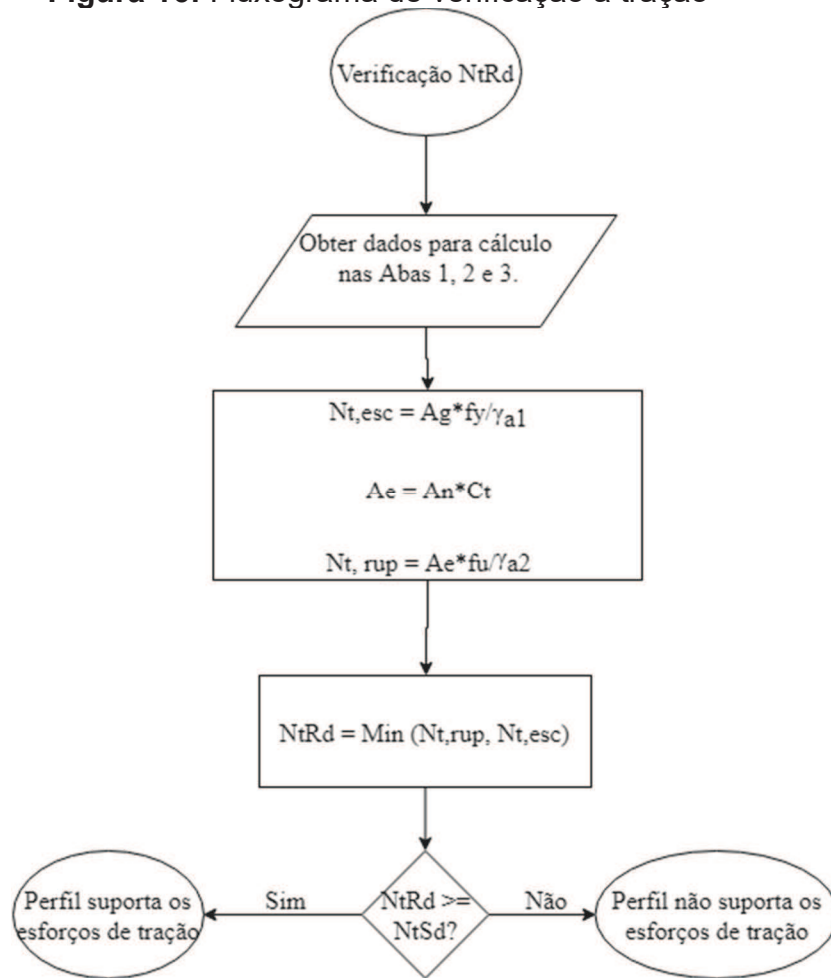
O item 4.2.1. apresenta o fluxograma utilizado no aplicativo para verificação à tração.

4.2.1. Fluxograma para verificação à tração

Conforme item 5.2.2 da NBR 8800:2008, o esforço normal resistente ao escoamento da seção bruta é dado pelo produto da área bruta da seção transversal da barra pela tensão de escoamento, minorada pelo coeficiente de ponderação da resistência ao escoamento. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Ainda, o mesmo item da norma, apresenta que o esforço normal resistente à ruptura da seção líquida é dado pelo produto da área líquida efetiva (composto pela área líquida da barra minorada pelo coeficiente de redução da área líquida) pela tensão de ruptura do aço, sendo este produto minorado pelo coeficiente de ponderação da resistência à ruptura. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

A figura 16 apresenta o fluxograma de verificação à tração utilizado para elaboração da rotina interna de cálculo do aplicativo.

Figura 16: Fluxograma de verificação à tração

Fonte: Elaborado pelo autor

4.3. VERIFICAÇÃO À COMPRESSÃO

Neste item será realizada uma breve introdução sobre a instabilidade em barras comprimidas, sendo apresentado em seguida um roteiro de cálculo para verificação à compressão.

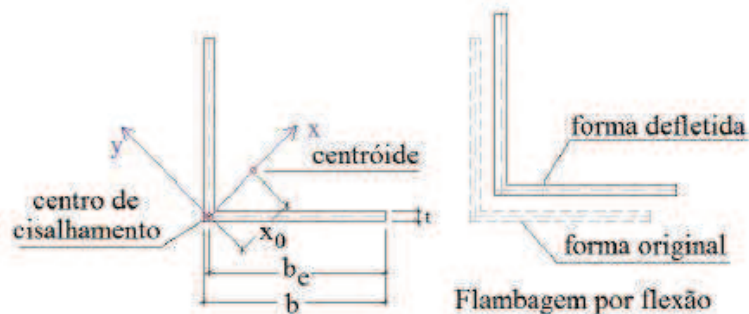
4.3.1. Instabilidade em barras comprimidas

A instabilidade de uma barra comprimida pode-se dar através de diferentes situações, como a instabilidade global por flexão, a instabilidade global por torção e a instabilidade global por flexotorção.

Ao contrário do esforço de tração, que tende a retificar as peças, os esforços de compressão tendem a acentuar o efeito da curvatura inicial, tendendo a reduzir a capacidade de carga de uma peça. Os deslocamentos laterais produzidos compõem o processo de flambagem global por flexão. (RIBEIRO NETO, 2016)

A flambagem global por flexão é caracterizada pela deflexão lateral da coluna em torno de um dos eixos principais de inércia da seção. A figura a seguir apresenta a configuração deformada para flexão de um perfil cantoneira em torno do eixo de menor inércia. (TOGASHI, 2017)

Figura 17: Seção típica de uma cantoneira e o modo de flambagem por flexão

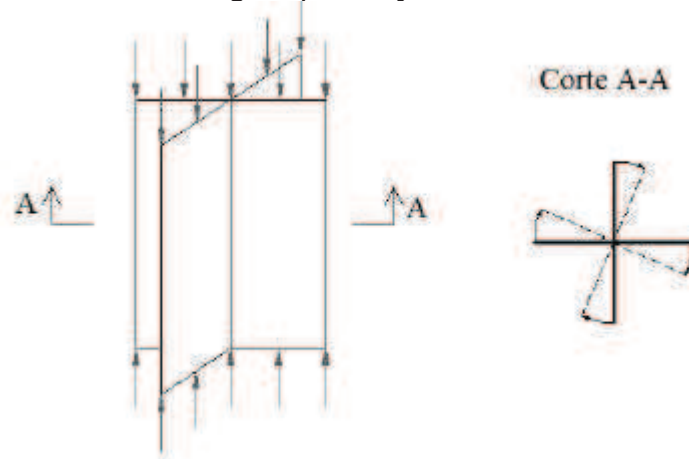


Fonte: Togashi (2017)

Na flambagem global por flexão e torção de peças comprimidas, a seção transversal sofre flexão em torno do eixo principal e torção em um ponto chamado de centro de cisalhamento ou centro de torção. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Togashi (2017) apresenta que os elementos com seção transversal duplamente simétrica aberta e composta por paredes finas estão sujeitos ao fenômeno de flambagem global por torção, caracterizado pela rotação da seção transversal em torno de seu centro de cisalhamento. A figura a seguir apresenta a configuração de deformação devido a flambagem global por torção em uma coluna cruciforme.

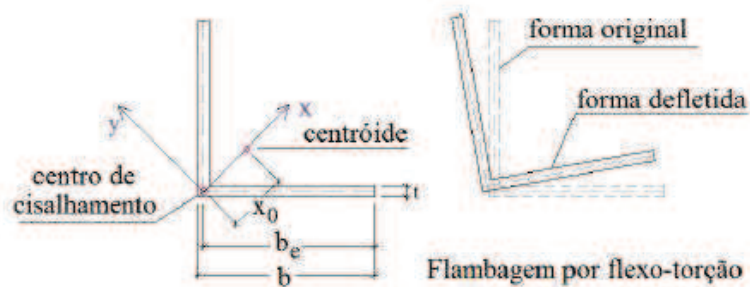
Figura 18: Modo de flambagem por torção de uma coluna cruciforme



Fonte: Togashi (2017)

No caso de seções monossimétricas, como as cantoneiras, a posição do centróide não coincide com o centro de cisalhamento, implicando em uma torção acompanhada de deflexão lateral em torno do eixo de maior inércia, conforme figura a seguir. Este fenômeno é mais comum em perfis de chapa dobrada. (TOGASHI, 2017)

Figura 19: Modo de flambagem por flexotorção de uma cantoneira

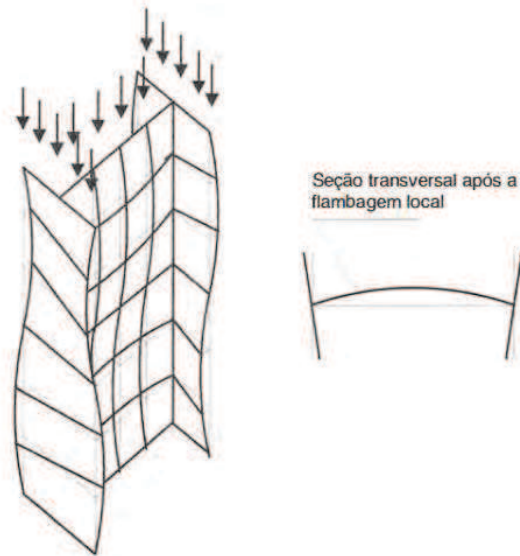


Fonte: Togashi (2017)

Acrescenta-se ainda que em perfis laminados I, H ou perfis compostos com seção celular, a flambagem por flexão produz cargas críticas menores que os outros tipos de flambagem, não havendo necessidade de verificar flambagem por torção ou por flexotorção. Em perfis laminados U, L ou perfis compostos abertos, entretanto, deve-se verificar a flambagem por flexotorção ou por torção para os casos de pequena esbeltez, pois para casos de esbeltez elevada a flambagem por flexão é determinante. (PFEIL; PFEIL, 2009).

Além da flambagem global de um elemento comprimido, pode ocorrer flambagem nas placas componentes de um perfil comprimido, sendo este fenômeno denominado de flambagem local. A figura a seguir mostra uma coluna curta (não sofre flambagem global por flexão), cujas placas componentes comprimidas apresentam deslocamentos laterais na forma de ondulações (flambagem local).

Figura 20: Flambagem local em uma coluna curta



Fonte: Pfeil e Pfeil (2009)

4.3.2. Fluxogramas para verificação à compressão

Conforme preconizado pela norma NBR 8800:2008, em seu item 5.3.2, que trata de “Barras prismáticas submetidas à força axial de compressão”, a força axial resistente de cálculo $N_{c,Rd}$ pode ser dada pela equação a seguir. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi * Q * A_g * f_y}{\gamma_{a1}}$$

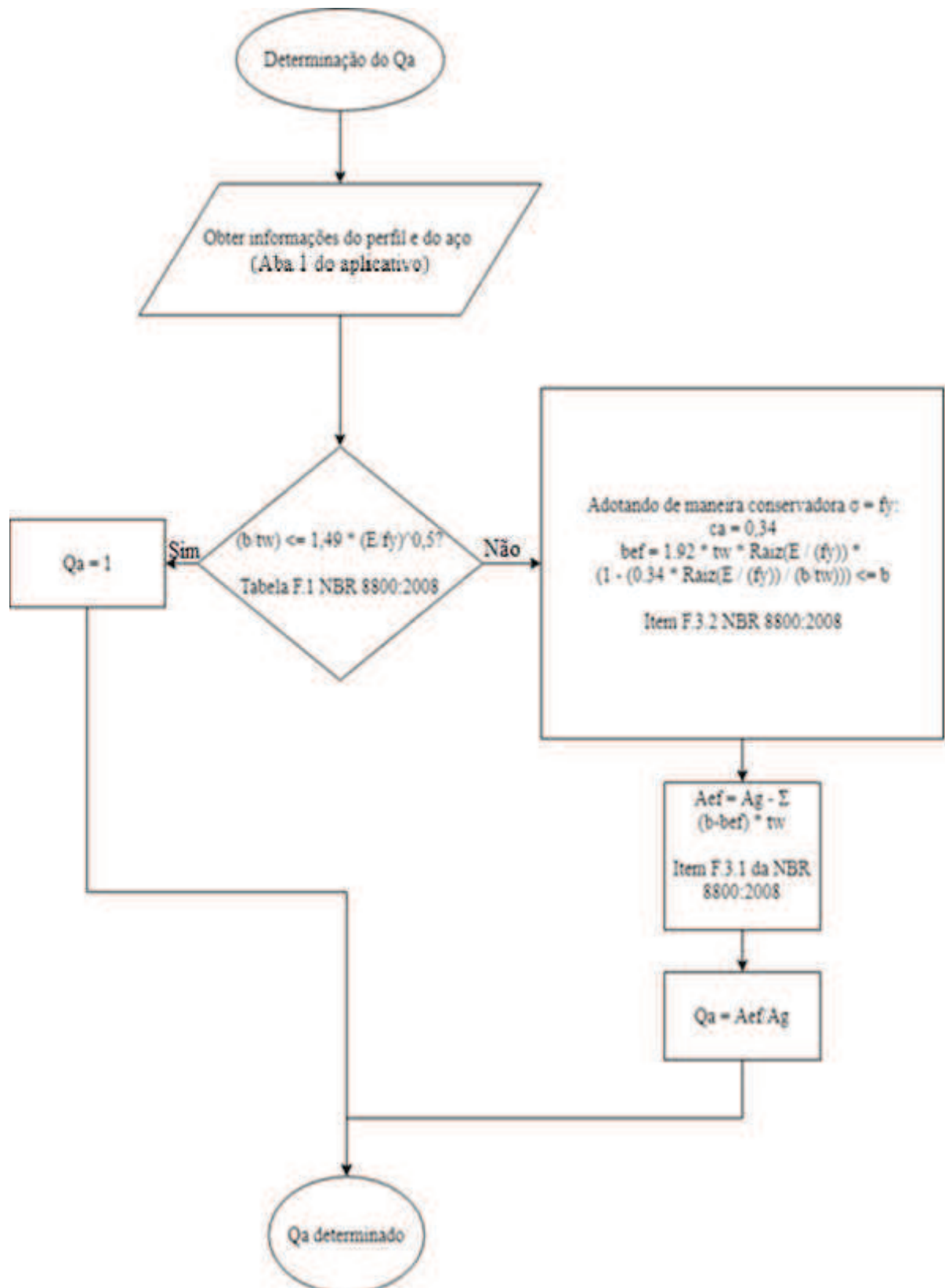
Onde χ é o fator de redução da resistência à compressão associado à flambagem global, Q é o fator de redução total associado à flambagem local, A_g é a área bruta da seção transversal da barra, f_y é a resistência ao escoamento do aço e γ_{a1} é o coeficiente de ponderação da resistência.

Por meio dos fluxogramas apresentados nas figuras 21 e 22 a seguir, produzidos a partir das indicações do anexo F da NBR 8800:2008 será possível determinar inicialmente o fator de redução total associado à flambagem local através da determinação dos fatores Q_s e Q_a , que se referem, respectivamente, à flambagem local de elementos com uma borda longitudinal vinculada e com duas bordas longitudinais vinculadas, podendo se citar como exemplos a mesa e a alma de um perfil do tipo I, respectivamente. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

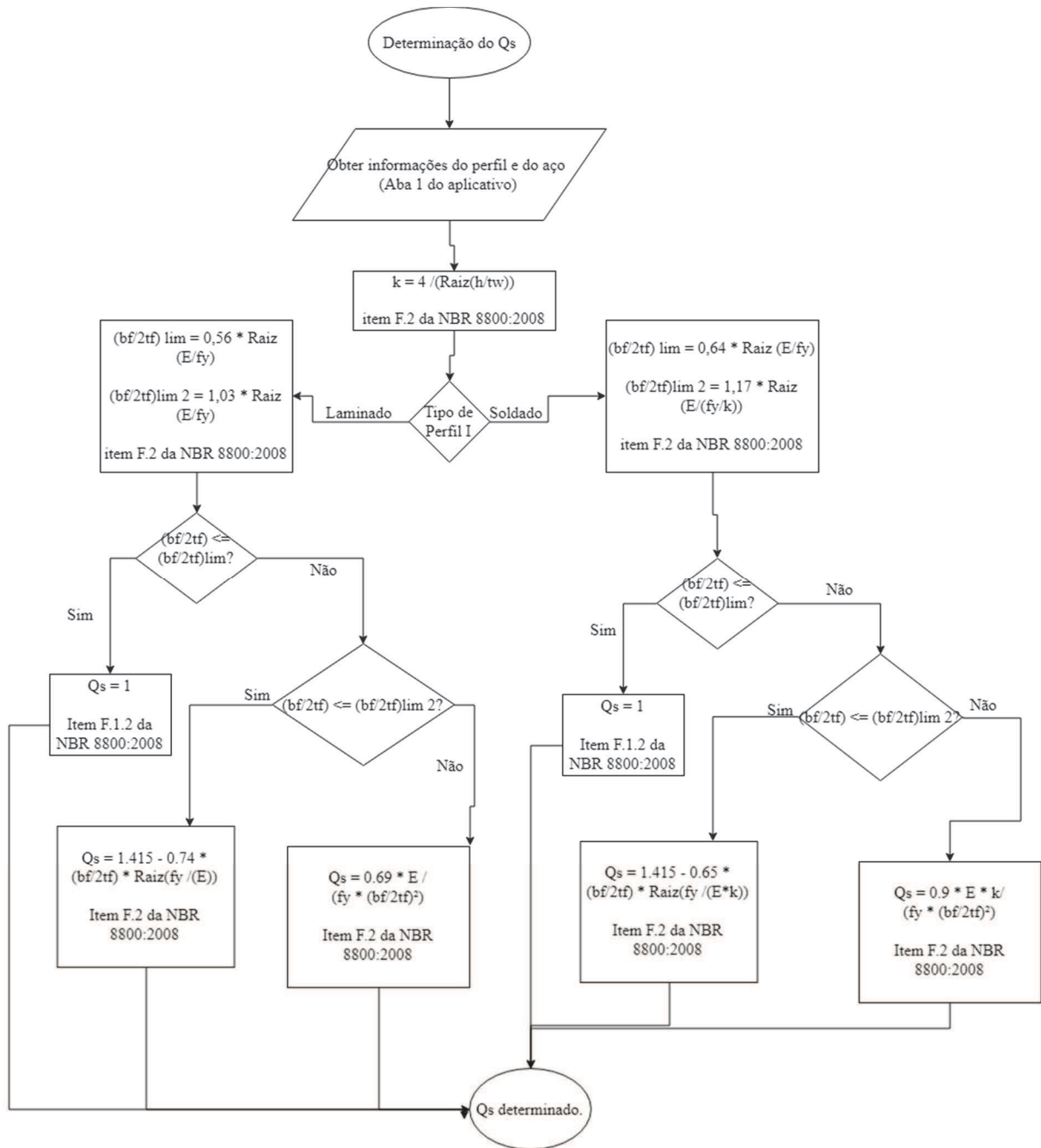
Estes fatores serão combinados posteriormente para determinação do fator de redução total associado à flambagem local Q no fluxograma apresentado na figura 23.

Inicialmente, serão considerados perfis do tipo “I” simétricos. O roteiro de cálculo deste fluxograma está baseado nas diretrizes apresentadas no anexo F da norma NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Figura 21: Fluxograma de Determinação do Q_a – Perfil I Simétrico



Fonte: Adaptado de Bellei e Bellei (2011).

Figura 22: Fluxograma de Determinação do Q_s – Perfil I Simétrico

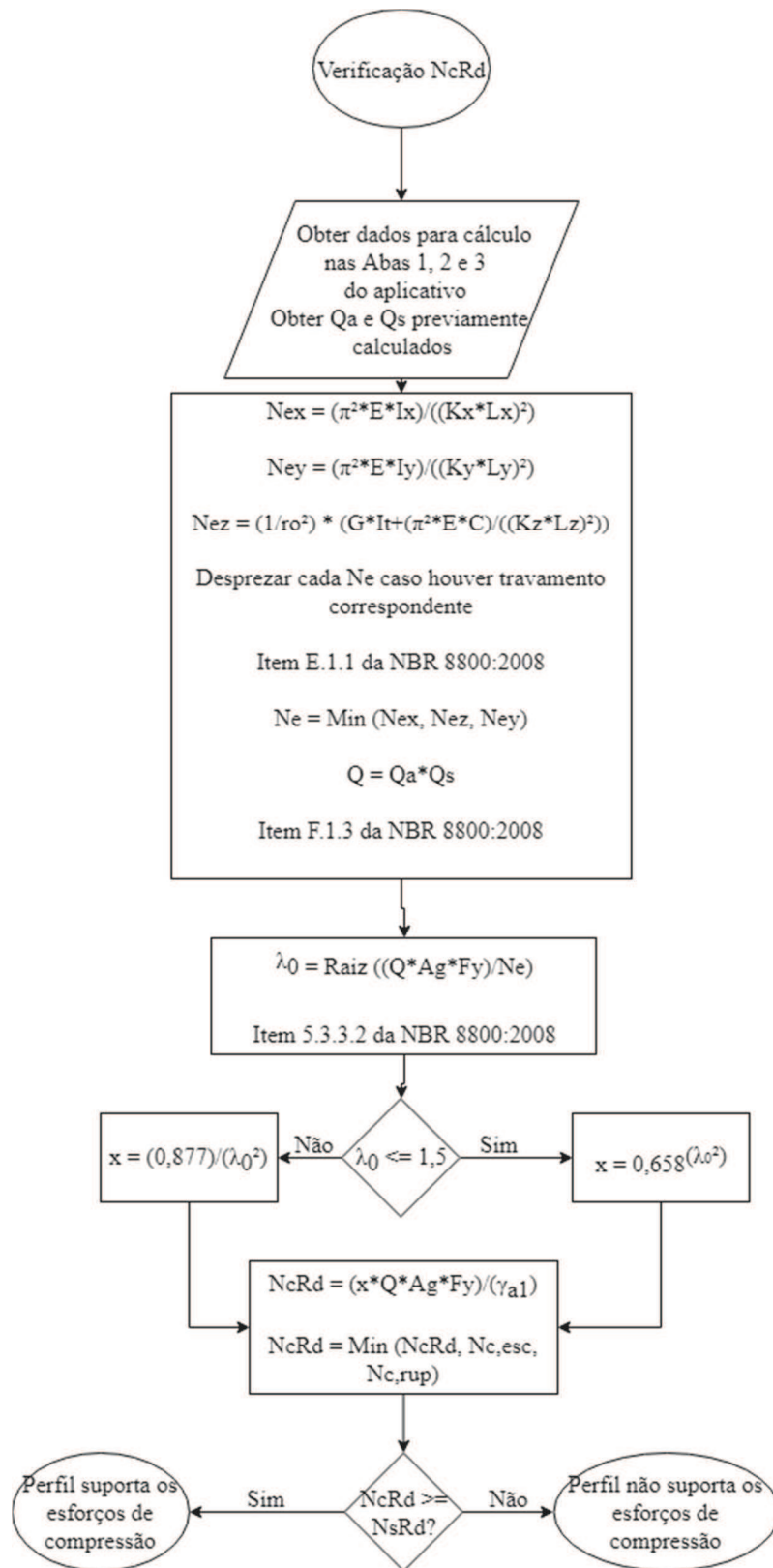
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a determinação dos fatores Q_a e Q_s , é possível determinar o fator de redução total associado à flambagem local Q , através do produto de ambos. Com o fator Q obtido, pode-se calcular o índice de esbelteza reduzido λ_0 , e, consequentemente o fator de redução associado à resistência de compressão χ . Calculados os parâmetros Q e χ , através das informações da área bruta do perfil A_g e da tensão de resistência ao escoamento do aço f_y juntamente com o coeficiente de

ponderação das resistências γ_{a1} estabelecido na norma, pode-se concluir o cálculo da resistência à compressão, conforme apresentado no fluxograma a seguir.

Caso se conclua que o perfil não suporte os esforços de compressão, o usuário pode, a seu critério realizar a verificação de outro perfil, alterando os dados de entrada do aplicativo.

Figura 23: Fluxograma de Verificação à Compressão



Fonte: Adaptado de Bellei e Bellei (2011).

4.4. VERIFICAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO

De acordo com o item 5.4.2.1. da NBR 8800:2008, o momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} deve considerar, conforme o caso, os estados-limites últimos de flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa comprimida (FLM), flambagem local da alma (FLA), flambagem local da aba, flambagem local da parede do tubo e escoamento da mesa tracionada. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

O item 5.4.2.2 da norma, apresenta que para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor de cálculo não pode ser tomado maior que $1,50 \cdot W \cdot f_y / \gamma_{a1}$, sendo W o módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal da barra em relação ao eixo de flexão.

Inicialmente, são calculados os parâmetros de esbeltez λ (índice de esbeltez), λ_p (índice de esbeltez limite para seções compactas) e λ_r (índice de esbeltez limite para seções semicompactas) para os estados limites últimos FLT (flambagem lateral com torção), FLM (flambagem local da mesa comprimida) e FLA (flambagem local da alma), conforme o anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Em seguida, são calculados os momentos fletores M_{pl} (de plastificação), M_r (de início do escoamento) e M_{cr} (de flambagem elástica), seguindo o Anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Prosseguindo, são calculados os momentos fletores resistentes de cálculo para os estados limites últimos FLT, FLM e FLA, o Anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Deve-se observar que os estados limites últimos FLT e FLA não se aplicam para análise dos momentos fletores na direção y , eixo de menor momento de inércia, conforme notas 3 e 7 do anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

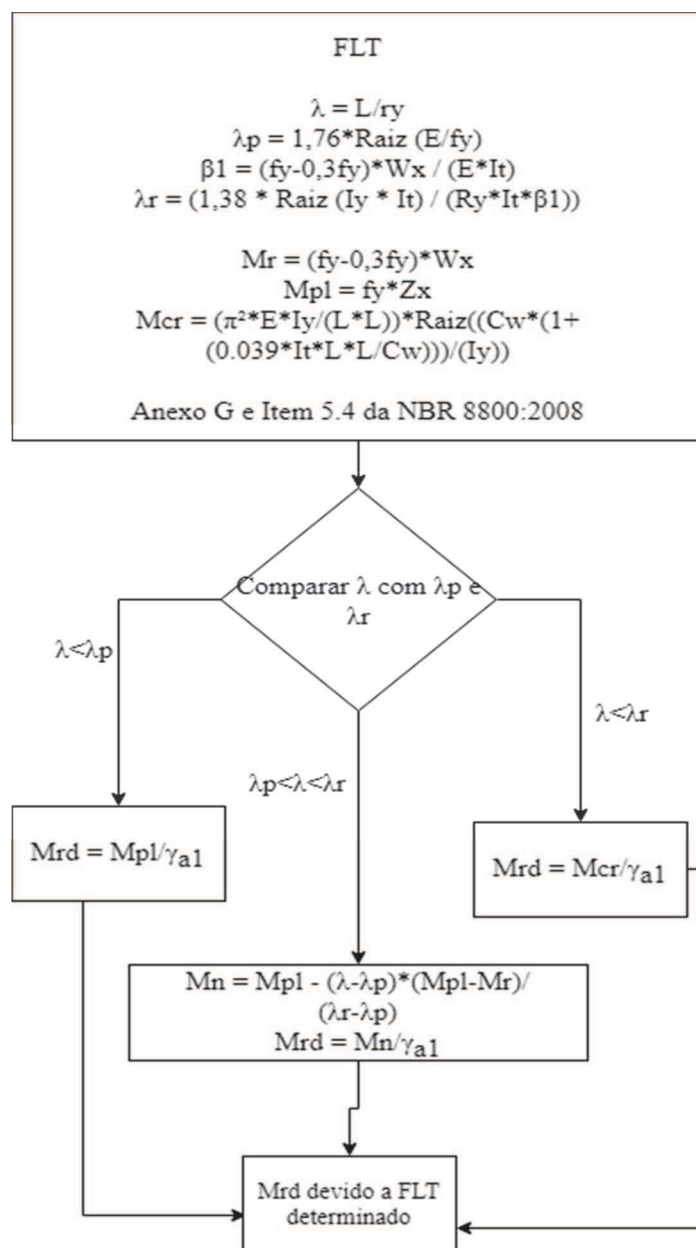
O estado limite último FLT não se aplica pois, para momentos fletores na direção y , tem-se momentos de inércia muito maiores em torno do eixo perpendicular a esta direção.

Quanto ao estado limite último FLA, para momentos fletores na direção y , tem-se a linha neutra coincidente com o eixo da alma na seção transversal do perfil.

4.4.1 Fluxograma de verificação à flexão

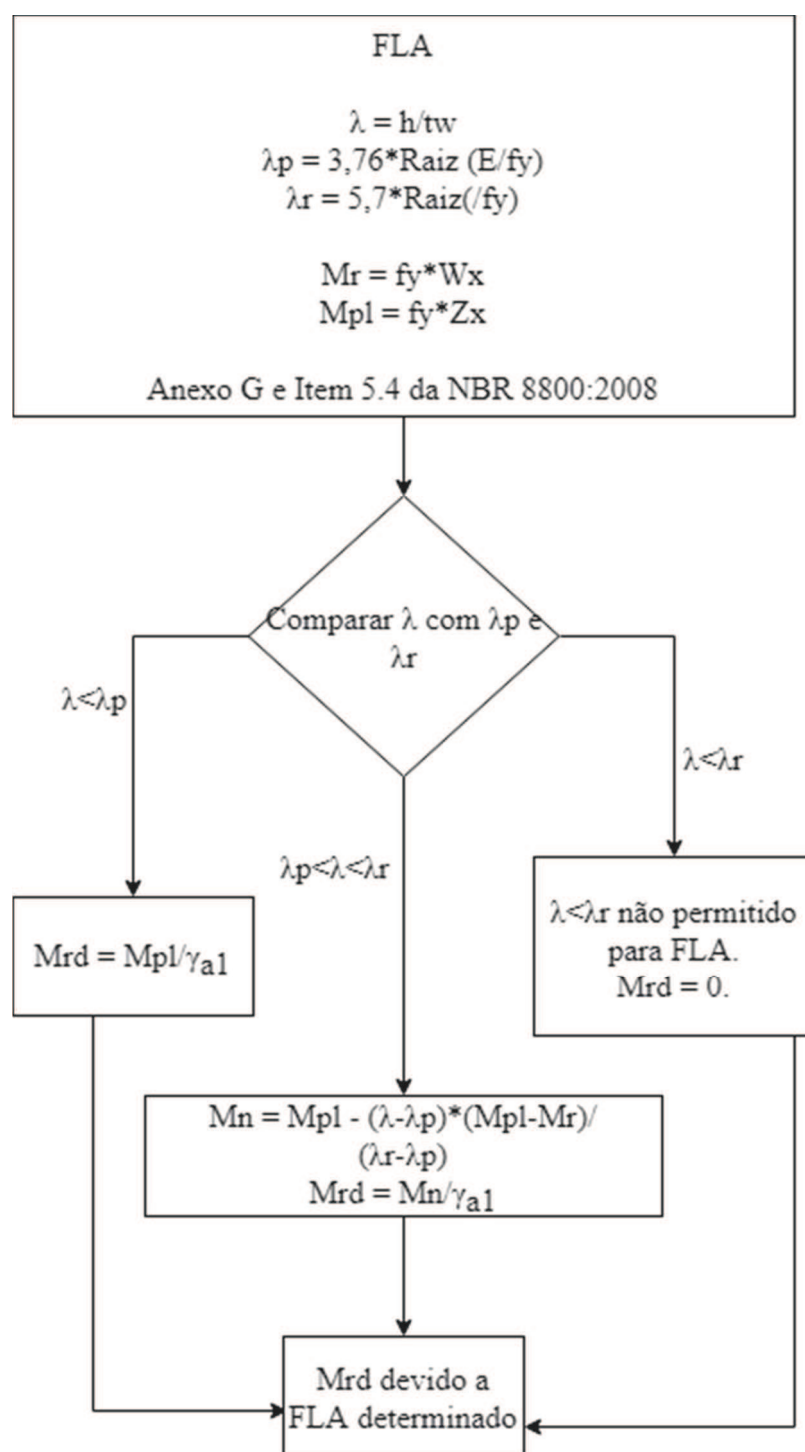
Os fluxogramas apresentados nas figura 24, 25 e 26 foram criados para guiar o desenvolvimento da rotina interna de cálculo do aplicativo, baseado nos cálculos dos estados limites últimos FLT, FLM e FLA para determinação do momento fletor resistente na direção x de acordo com os parâmetros do Anexo G e do item 5.4 da BR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Figura 24: Fluxograma de Verificação à Flexão – FLT – Eixo x

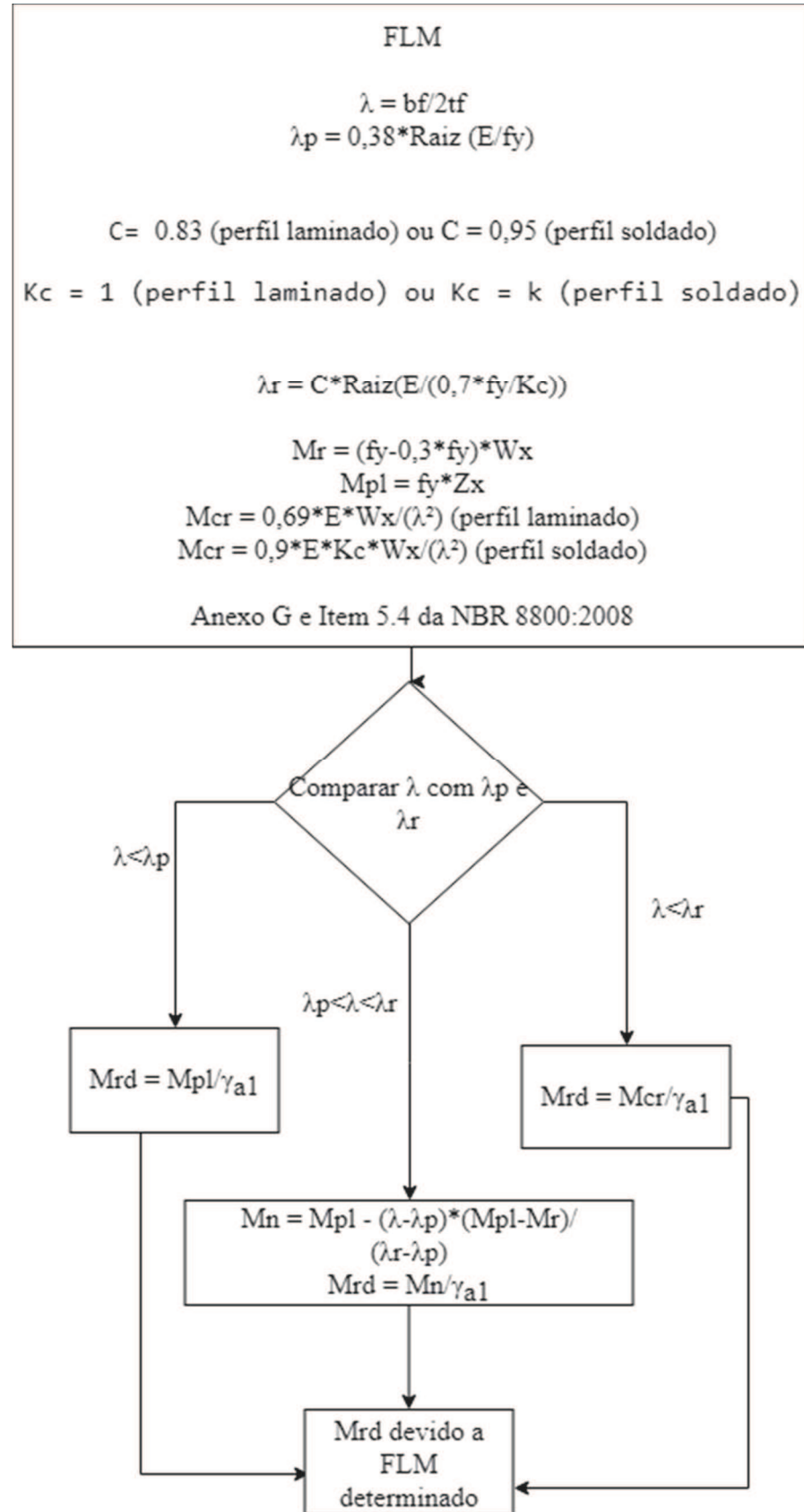


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25: Fluxograma de Verificação à Flexão – FLA – Eixo x



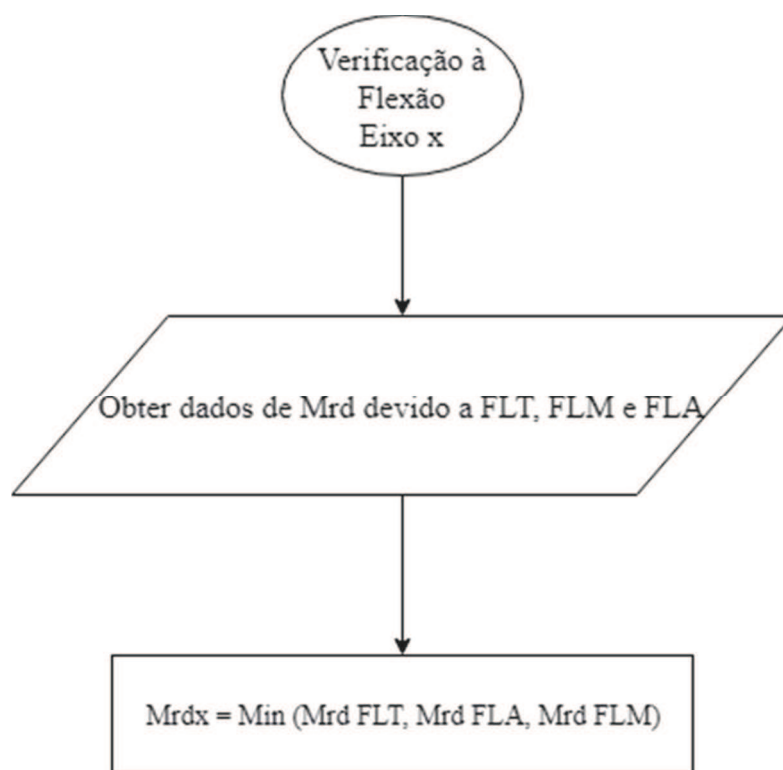
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26: Fluxograma de Verificação à Flexão – FLM – Eixo x

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes efeitos são considerados para determinação do momento fletor de cálculo na direção x, conforme fluxograma apresentado na figura 27, sendo o momento resistente de cálculo determinado pelo menor dos três momentos resistentes obtidos associados a cada um dos estados limites últimos avaliados.

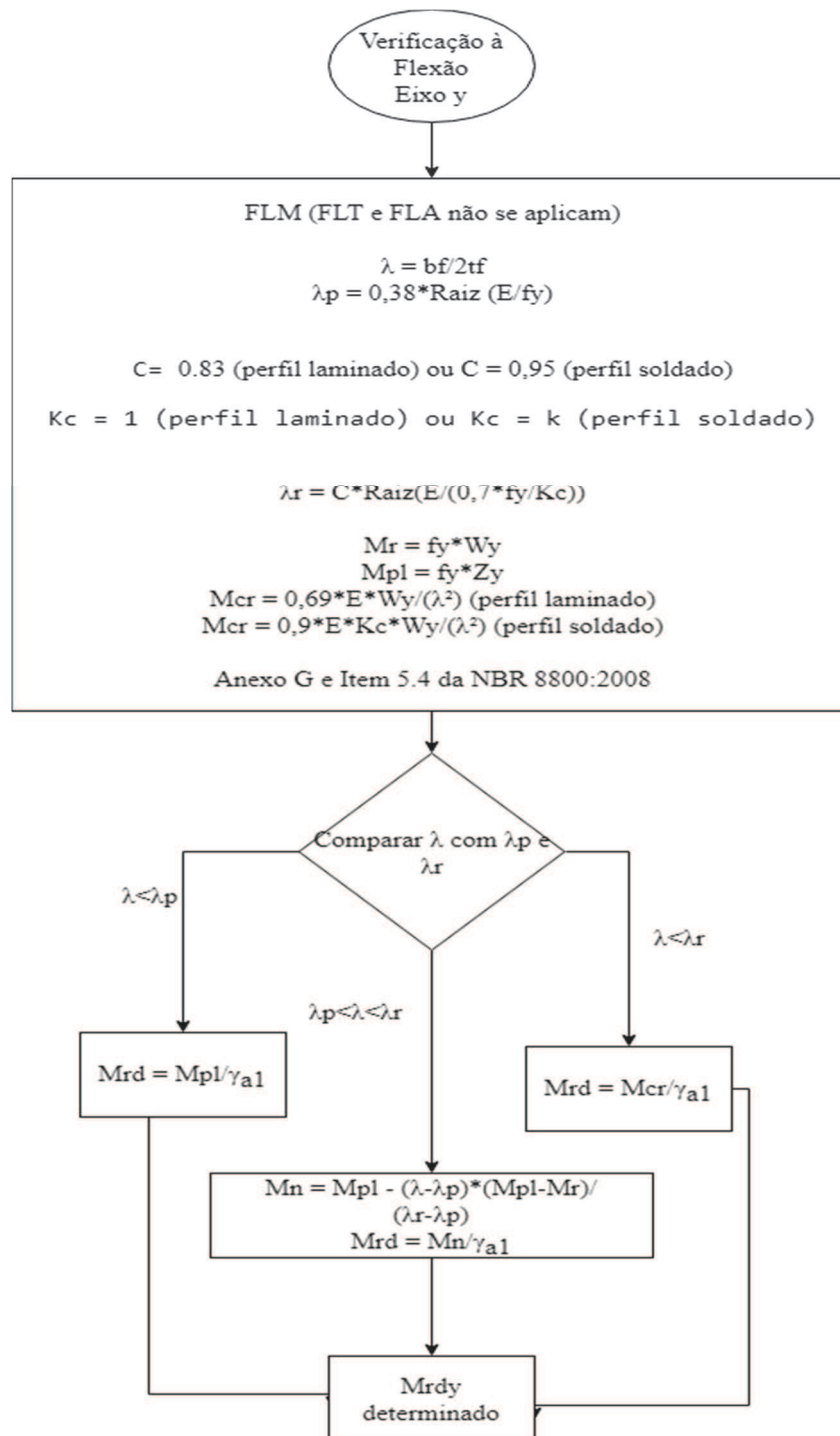
Figura 27: Fluxograma de Verificação à Flexão – Eixo x



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme mencionado no item 4.4 deste trabalho, deve-se observar que os estados limites últimos FLT e FLA não se aplicam para análise dos momentos fletores na direção y. Dessa maneira, a análise para determinação do momento fletor resistente de cálculo na direção y se restringe à determinação através do estado limite último FLM, conforme fluxograma apresentado na figura 28 a seguir.

Figura 28: Fluxograma de Verificação à Flexão - FLM – Eixo y



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. DESENVOLVIMENTO DO APLICATIVO

O desenvolvimento do aplicativo, conforme previsto no item 3.2 deste trabalho, se deu utilizando como principais ferramentas o Android Studio (ao qual está integrado o Android SDK), o gerenciador de banco de dados (DBBrowser for SQLite) e a ferramenta de modelagem de software (Astarh).

No ambiente de desenvolvimento Android Studio se concentraram os maiores esforços do desenvolvimento do projeto, sendo elaborados neste ambiente:

1. As telas de interação com o usuário;
2. As rotinas internas de cálculo;
3. O módulo interno de conversão de unidades;
4. A conexão com o banco de dados SQLite e as rotinas envolvidas para inserção, atualização e recuperação de dados;
5. O relatório exportável em PDF para apresentação de resultados.

Por meio do gerenciador de banco de dados DDBrowser for SQLite, por sua vez, foi desenvolvido e alimentado o banco de dados SQLite.

A ferramenta de modelagem de software Astah foi utilizada como software acessório, servindo como suporte para a criação dos fluxogramas utilizados para guiar o desenvolvimento das rotinas internas de cálculo, apresentados no capítulo 4 deste trabalho.

5.1. DESENVOLVIMENTO DAS TELAS DE INTERAÇÃO COM O USUÁRIO

O procedimento de desenvolvimento das telas de interação com o usuário foi realizado principalmente através do editor visual de layout do Android Studio, embora fosse possível também desenvolvê-lo diretamente por meio de linhas de código, utilizando a linguagem XML.

A opção por adotar o editor visual, em detrimento da programação por linhas de código, se deu em virtude da possibilidade de posicionar e visualizar em tempo

real os elementos do layout como imagens e caixas de texto, facilitando o trabalho de concepção dos elementos que iriam compor as telas de interação com o usuário.

Durante as etapas preliminares de concepção do layout, houve a intenção de que todos os dados de entrada fossem preenchidos em uma única tela, de maneira a minimizar a necessidade de transferência de dados entre diversas telas no aplicativo, o que demandaria menores esforços durante o processo de programação posterior.

No entanto, ao se elaborar o primeiro esboço no Android Studio, verificou-se que a usabilidade do aplicativo seria prejudicada ao se trabalhar com uma única tela de entrada de dados. O processo de entrada de dados se tornaria mais exaustivo ao usuário, que necessitaria de preencher um grande número de informações em uma única tela.

O preenchimento errôneo ou incompleto de dados também poderia ser mais frequente, uma vez que a tela teria muitas informações dispostas na vertical, demandando constantes rolagens na tela e impedindo que as informações fossem visualizadas como um conjunto.

Por estes motivos, adotou-se uma solução para concepção de layout utilizando-se de abas, telas sequenciais de preenchimento de dados, agrupadas por tipo de informação inserida. As abas podem ser preenchidas e conferidas gradativamente pelo usuário, que pode alternar entre as mesmas utilizando-se de um menu superior ou deslizando a tela na horizontal, sendo as cinco abas definidas a seguir.

5.1.1. Aba de perfil e material

Na aba de perfil e material o usuário inicialmente preenche as informações referentes ao aço utilizado, devendo preencher sua tensão de escoamento, sua tensão de ruptura, seu módulo de elasticidade longitudinal e seu módulo de cisalhamento, bem como suas unidades de medida.

As informações de módulo de elasticidade longitudinal e de cisalhamento são previamente preenchidas pelo aplicativo, com base nos valores apresentados no item 4.5.2.9 da NBR 8800:2008, sendo estes $E = 200.000 \text{ MPa}$ e $G = 77.000 \text{ MPa}$. O usuário pode, entretanto, alterar estes valores caso julgue pertinente e possua outro valor de referência para o material que será utilizado, como resultados de ensaios, por exemplo.

A tensão de escoamento e a tensão de ruptura são preenchidas automaticamente caso o usuário selecione um tipo de aço no aplicativo, ou devem ser inseridas manualmente caso o usuário escolha a opção “Personalizado” ao invés de definir o aço utilizado. As informações de tensão de escoamento e tensão de ruptura, bem como dos tipos de aço disponíveis no aplicativo, foram extraídas do livro de Pfeil e Pfeil (2009).

Em seguida, o usuário deve selecionar o perfil metálico a ser verificado. Para isso, deve selecionar inicialmente a tabela a ser utilizada: Perfil W (Laminado), Perfil CS (Soldado), Perfil VS (Soldado) ou Perfil CVS (Soldado). Em seguida, deve selecionar o perfil desejado por meio de uma lista.

São apresentadas na tela algumas dimensões referentes ao perfil selecionado, bem como uma figura que ilustra a disposição destas dimensões na peça, de maneira a guiar o usuário e permitir uma prévia conferência em relação ao perfil desejado.

Após as informações do perfil, o usuário deve inserir a área líquida e o coeficiente de redução da área líquida, para que o aplicativo possa verificar o estado limite último de ruptura da seção líquida.

Estes cálculos devem ser realizados pelo usuário para inserção no aplicativo, uma vez que o mesmo não aborda a verificação de ligações. As etapas de cálculo de área líquida efetiva, área líquida e coeficiente de redução da área líquida podem ser consultadas no item 5.2.3, 5.2.4 e 5.2.5 da NBR 8800:2008.

Por fim, há o botão de gravar informações, que, ao ser clicado, irá armazenar os dados preenchidos nesta aba para serem utilizados posteriormente com finalidades de cálculo. Caso haja dados inválidos ou dados necessários sem

preenchimento, uma mensagem de alerta é exibida ao usuário e os dados não são gravados.

A figura 29 apresenta uma captura de tela referente à aba de perfil e material. A tela foi apresentada por completo para fins de apresentação, entretanto pode ser necessária rolagem vertical para navegação nesta tela, de acordo com a resolução do dispositivo Android utilizado.

Figura 29: Captura de tela - aba de perfil e material

08:37 99%

Flexão Composta - NBR 8800:2...

PERFIL E MAT... COMP. FLAMB... CARRE-GAME... CONF. DADOS RESULTADOS

Material

Selecionar Tipo de Aço

ABNT MR 250

Tensão de Escoamento (f_y):

250 MPa

Tensão de Ruptura (f_u):

400 MPa

Módulo de Elasticidade (E):

200000 MPa

Módulo de Cisalhamento (G):

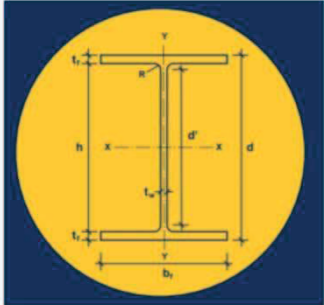
77000 MPa

Perfil

Selecionar Perfil

Perfil W Laminado

W150x13,0



Fonte: Tabela de Bitolas - Perfis Estruturais GERDAU

Área: 16.6 cm² tf: 4.9 mm
d: 148 mm h: 138 mm
bf: 100 mm
tw: 4.3 mm
Área Líquida - A_n (cm²):

Coef. Redução da Área Líquida - Ct:

GRAVAR INFORMAÇÕES

IFG - 2018 - Marcello Gomes Marques Filho
Orientador: Cláudio Marra Alves

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.2. Aba de comprimentos de flambagem

Na aba de comprimentos de flambagem o usuário deve preencher o maior comprimento destravado do elemento estrutural e sua unidade de medida, bem como os coeficientes de flambagem: nas direções x, y e devido a torção. Por meio de switches (chaves de ativação), o usuário pode indicar se a flambagem em alguma direção está impedida, por meio de travamento e se a peça deve ser considerada lateralmente contida para os efeitos de flexão.

Os coeficientes de flambagem são inicialmente preenchidos pelo aplicativo com o valor inicial de 1,00, sendo este o valor teórico para um pilar bi-apoiado. No entanto, o valor pode ser alterado pelo usuário para corresponder à situação de cálculo pertinente, de acordo com as condições de apoio de projeto.

A tabela apresentada nesta aba do aplicativo foi retirada do Anexo E da NBR 8800:2008 e pode guiar o usuário para a correta seleção dos coeficientes de flambagem, apresentando os valores teóricos e recomendados para cada condição de apoio. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Por fim, há o botão de gravar informações, que, ao ser clicado, irá armazenar os dados preenchidos nesta aba para serem utilizados posteriormente com finalidades de cálculo. Caso haja dados inválidos ou dados necessários sem preenchimento, uma mensagem de alerta é exibida ao usuário e os dados não são gravados.

A figura 30 apresenta uma captura de tela referente à aba de comprimentos de flambagem. A tela foi apresentada por completo para fins de apresentação, entretanto pode ser necessária rolagem vertical para navegação nesta tela, de acordo com a resolução do dispositivo Android utilizado.

Figura 30: Captura de tela - aba de comprimentos de flambagem

Comprimentos de Flambagem

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valores técnicos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0

Código para condição de apoio

	Rotação e translação impedidas
	Rotação livre, translação impedida
	Rotação impedida, translação livre
	Rotação e translação livres

Fonte: ABNT NBR 8800:2008

Maior Comprimento Des travado

_____ m

Coeficiente de Flambagem - Direção X 1.00

Impedir flambagem na direção X ☐

Coeficiente de Flambagem - Direção Y 1.00

Impedir flambagem na direção Y ☐

Coeficiente de Flambagem - Torção 1.00

Impedir flambagem devido à torção ☐

GRAVAR INFORMAÇÕES

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.3. Aba de carregamentos

Na aba de carregamentos o usuário deve selecionar o tipo de carregamento normal (compressão ou tração), bem como os esforços solicitantes: esforço normal, momento fletor em x e momento fletor em y, bem como suas unidades de medida.

O botão de gravar informações, ao ser clicado, irá armazenar o tipo de carregamento normal e os esforços preenchidos nesta aba para serem utilizados

posteriormente com finalidades de cálculo. Diferentemente das demais abas, a ausência de preenchimento dos esforços não gera mensagem de alerta, sendo os esforços não preenchidos considerados como nulos, por não haver solicitação daquele tipo de esforço.

A figura 31 apresenta uma captura de tela referente à aba de carregamentos. A tela foi apresentada por completo para fins de apresentação, entretanto pode ser necessária rolagem vertical para navegação nesta tela, de acordo com a resolução do dispositivo Android utilizado.

Figura 31: Captura de tela - aba de carregamentos

Flexão Composta - NBR 8800:2008

PERFIL E MATERIAL COMP. FLAMBA... **CARREGAMENTOS** CONF. DADOS RESULTADOS

Carregamentos de Cálculo

Diagrama de um perfil I com eixos de referência. Uma seta vermelha indica a direção da carga.

Esforço Normal (N_{sd})

☒ Compressão ☐ Tração

_____ kN

Momento Fletor em x (M_{sdx})

_____ kN.m

Momento Fletor em y (M_{sdy})

_____ kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.4. Aba de confirmação dos dados

Na aba de confirmação de dados o usuário pode conferir o preenchimento de todas as abas anteriores, facilitando a verificação de alguma informação errônea inserida, para que possa ser efetuada a devida correção antes de se efetuar os cálculos. Para obter os dados preenchidos, basta que o botão presente nesta aba seja pressionado.

A figura 32 apresenta uma captura de tela referente à aba de confirmação de dados. A tela foi apresentada por completo para fins de apresentação, entretanto pode ser necessária rolagem vertical para navegação nesta tela, de acordo com a resolução do dispositivo Android utilizado.

Figura 32: Captura de tela - aba de confirmação de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.5. Aba de apresentação de resultados

Na aba de apresentação de resultados, quando o botão de cálculo de resultados é pressionado, são executadas as rotinas internas de cálculo e apresentados os diversos resultados ao usuário, quando aplicáveis.

No aplicativo, os esforços solicitantes e resistentes de cálculo são comparados, como, por exemplo, na relação entre o esforço normal solicitante de cálculo (N_{sd}) e o esforço normal resistente de cálculo (N_{rd}) ou entre o momento fletor solicitante de cálculo (M_{sdx}) na direção x e o momento fletor resistente de cálculo na direção x (M_{rdx}).

Nesta comparação, os resultados adequados (relação menor ou igual a 1) são apresentados como “ok” pelo aplicativo e indicados pela cor verde, e os resultados inadequados (relação maior que 1) são apresentados como “não ok” e indicados pela cor vermelha.

Nesta aba também, pode-se exportar o relatório de cálculo como arquivo em formato PDF, por meio de clique no botão correspondente, conforme item 5.4 deste trabalho.

A figura 33 apresenta uma captura de tela referente à aba de confirmação de dados. A tela foi apresentada por completo para fins de apresentação, entretanto pode ser necessária rolagem vertical para navegação nesta tela, de acordo com a resolução do dispositivo Android utilizado.

Figura 33: Captura de tela - aba de apresentação de resultados

PERFIL E MAT... COMP FLAMB... CARRE- GAME... CONF DADOS RESUL- TADOS

Resultados Obtidos

CALCULAR RESULTADOS

Escoamento da Seção Bruta

Escoamento da Seção Bruta

Nrd: kN

Nsd/Nrd: %

Esforços Normais (Compressão)

Cargas Críticas de Flambagem Elástica

Nex: kN

Ney: kN

Nez: kN

Ne: kN

Flambagem Local

Qs:

Qa:

Q:

Esbeltez

λ_0 :

χ :

Esforço Normal Resistente à Compressão

Nrd: kN

Nsd/Nrd: %

Momentos Fletores em X (Maior Inércia)

Flambagem Lateral com Torção

λ :

λ_p :

λ_r :

Mcrit: kN*m

Mr: kN*m

Mpl: kN*m

Mrd,x: kN*m

Momento Resistente em X

Mrdx lim: kN*m

Mrdx: kN*m

MsdX/Mrdx: %

Momentos Fletores em Y (Menor)

Flambagem Lateral com Torção

Não se Aplica

Flambagem Local da Alma

Não se Aplica

Flambagem Local da Mesa

λ :

λ_p :

λ_r :

Mcrit: kN*m

Mr: kN*m

Mpl: kN*m

Mrd,y: kN*m

Momento Resistente em Y

Mrdy lim: kN*m

Mrdy: kN*m

MsdY/Mrdy: %

Equação de Interação

Nsd/Nrd

Para $\frac{N_{sd}}{N_{rd}} \geq 0,2$: $\frac{N_{sd}}{N_{rd}} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$

Para $\frac{N_{sd}}{N_{rd}} < 0,2$: $\frac{N_{sd}}{2N_{rd}} + \left(\frac{M_{x,sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,Rd}} \right) \leq 1,0$

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2. ROTINAS INTERNAS DE CÁLCULO

As rotinas internas de cálculo foram desenvolvidas em linguagem Java conforme premissas apresentadas no capítulo 4 deste trabalho, utilizando-se dos fluxogramas elaborados como guia para desenvolvimento das mesmas.

Inicialmente, a rotina verifica se os dados das abas anteriores estão adequadamente preenchidos, evitando que ocorram cálculos inválidos devido a ausência de preenchimento de dados essenciais, sendo informado ao usuário caso exista alguma aba com preenchimento pendente.

Nesta etapa preliminar, também é conferida a esbeltez limite, verificando se a maior relação entre comprimento destravado e raio de giração correspondente não supera os valores limites de 300 (para peças tracionadas) e 200 (para peças comprimidas), de acordo com os itens 5.2.8 e 5.3.4 da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Estando as abas preenchidas e a esbeltez menor ou igual ao valor de esbeltez limite, o aplicativo prossegue para a resolução do cálculo. Primeiro, são importados os dados preenchidos nas 3 abas de entradas de dados, que haviam sido armazenados em uma tabela temporária do banco de dados, conforme abordado no item 5.5 deste trabalho.

Após obter os dados preenchidos nas 3 abas de entradas de dados, o aplicativo busca no banco de dados as informações correspondentes ao perfil metálico selecionado que sejam relevantes para cálculo como, por exemplo, a área, a espessura da alma, os raios de giração, etc.

Em seguida, calcula-se os estados limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, obtendo-se a força axial de tração resistente de cálculo N_{tRd} através do menor dos dois valores, conforme fluxograma de cálculo apresentado no item 4.2.1 deste trabalho e de acordo com o item 5.2.2 da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

De posse do valor da força axial de tração resistente de cálculo, o programa a compara com a força axial de tração solicitante de cálculo e emite um parecer, indicando se a peça atende a esta solicitação.

Posteriormente, o aplicativo passa para a etapa de cálculo da verificação à compressão. Para tal, são calculadas inicialmente as cargas críticas de flambagem por flexão em relação ao eixo central de inércia x da seção transversal, em relação ao eixo central de inércia y da seção transversal e por torção em relação ao eixo longitudinal z , conforme fluxogramas de cálculo apresentados no capítulo 4.3.2 deste trabalho e de acordo com o Anexo E da NBR 8800:2008. Caso haja algum travamento registrado na aba de comprimentos de flambagem, o aplicativo ignora o cálculo daquela carga crítica de flambagem. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Em seguida, o aplicativo prossegue para o cálculo do fator de redução total Q , formado pelo produto do fator Q_s e Q_a , que se referem, respectivamente, à flambagem local de elementos com uma borda longitudinal vinculada e com duas bordas longitudinais vinculadas, conforme apresentado nos fluxogramas de cálculo do item 4.3.2 deste trabalho e de acordo com o anexo F da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Prosseguindo, através da menor carga crítica de flambagem (situação mais crítica), o aplicativo determina o índice de esbeltez reduzido λ_0 e o fator de redução χ , de acordo com os fluxogramas de cálculo apresentados no item 4.3.2 deste trabalho e os itens 5.3.3.2 e 5.3.3.1 da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

De posse dos fatores χ e Q calculados previamente, bem como da área líquida e da tensão de escoamento e do coeficiente de segurança de norma, a força axial de compressão resistente de cálculo N_{crd} é calculada associada aos estados limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou por flexo-torção e de flambagem local, conforme fluxogramas de cálculo apresentados no item 4.3.2 deste trabalho e de acordo com o item 5.3.2 da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Como as peças comprimidas devem também atender aos estados limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, é adotado o menor valor encontrado como força normal de compressão resistente de cálculo N_{crd} .

De posse do valor da força axial de compressão resistente de cálculo, o programa a compara com a força axial de compressão solicitante de cálculo e emite um parecer, indicando se a peça atende a esta solicitação.

Prosseguindo, o aplicativo prossegue para a verificação dos momentos fletores nas direções x e y. Inicialmente, são calculados os parâmetros de esbeltez λ (índice de esbeltez), λ_p (índice de esbeltez limite para seções compactas) e λ_r (índice de esbeltez limite para seções semicompactas) para os estados limites últimos FLT (flambagem lateral com torção), FLM (flambagem local da mesa comprimida) e FLA (flambagem local da alma), conforme apresentado nos fluxogramas de cálculo presentes no item 4.4.2 e de acordo como anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Em seguida, são calculados os momentos fletores M_{pl} (de plastificação), M_r (de início do escoamento) e M_{cr} (de flambagem elástica), de acordo com os fluxogramas de cálculo apresentados no item 4.4.2 e de acordo com o Anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Em seguida são calculados os momentos fletores resistentes de cálculo para os estados limites últimos FLT, FLM e FLA, conforme com os fluxogramas de cálculo apresentados no item 4.4.2 e de acordo com o Anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Deve-se observar que os estados limites últimos FLT e FLA não se aplicam para análise dos momentos fletores na direção y, eixo de menor momento de inércia, conforme notas 3 e 7 do anexo G da NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor resistente de cálculo não pode ser tomado maior que o valor indicado no item 5.4.2.2 da NBR 8800:2008, logo o aplicativo também realiza esta verificação. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

O menor momento fletor resistente é adotado como momento fletor resistente de cálculo, sendo realizadas as verificações individualmente nas direções x e y. De posse do valor dos momentos fletores resistentes de cálculo nas direções x e y, o

programa os compara com os momentos fletores solicitantes de cálculo nas direções x e y e emite um parecer, indicando se a peça atende as estas solicitações.

Por fim, o aplicativo verifica a atuação simultânea da força axial (de tração ou compressão) e de momentos fletores, através das equações de interação apresentadas no item 5.5.1.2 da NBR 8800:2008, indicando um parecer se a peça atende às solicitações combinadas. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

5.3. MÓDULO INTERNO DE CONVERSÃO DE UNIDADES

O módulo interno de conversão de unidades foi estabelecido através da criação de uma classe Java, na qual foram inseridas quatro funções, destinadas à:

1. Conversão de unidades de comprimento;
2. Conversão de unidades de força;
3. Conversão de unidades de tensão;
4. Conversão de unidades de momento.

Estas funções possuem como dados de entrada o valor e a unidade inserida pelo usuário. Em seguida, de acordo com a unidade de entrada selecionada pelo usuário, o sistema multiplica o valor entrado pelo fator de conversão e retorna como resultado o valor convertido para a unidade que é utilizada pelo aplicativo em suas rotinas internas de cálculo, conforme item 5.2 deste trabalho.

A maioria dos programas, aplicativos e planilhas de cálculo possuem uma unidade fixa para a entrada de dados, mas a possibilidade de trabalhar com diversas unidades facilita bastante a usabilidade do sistema e minimiza erros por parte do usuário, evitando uma etapa preliminar de cálculo. Desta maneira, a escolha por esta sistemática de um módulo interno de conversão de unidades objetiva evitar a necessidade de uma conversão paralela de unidades de medida para que os valores sejam inseridos no aplicativo.

O aplicativo internamente, por exemplo, trabalha com unidades de força em kN, unidades de tensão em kN/cm² e unidades de comprimento em cm, mas o

usuário pode entrar com as informações de tensão em MPa, de maneira a compatibilizar com as unidades utilizadas nas tabelas de fabricantes de perfis, sendo a conversão efetuada internamente pelo aplicativo antes de ser aplicada nos cálculos.

O módulo é acionado automaticamente pelas rotinas internas de cálculo ao importar algum dado preenchido nas abas anteriores que demande a conversão de unidades, de maneira que os cálculos prossigam conforme esperado.

5.4. RELATÓRIO DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A geração de um relatório exportável de apresentação de resultados objetiva facilitar o compartilhamento e armazenamento dos resultados obtidos por meio do aplicativo, permitindo que futuramente estes sejam consultados, encaminhados por e-mail ou mesmo visualizado em outros dispositivos como leitores digitais de livros, computadores ou mesmo smartphones que utilizam outro sistema operacional.

Para que o relatório seja gerado, deve-se clicar no botão de geração de PDF “GERAR PDF” presente ao final da aba de apresentação de resultados. Dependendo da versão do dispositivo Android utilizado para abrir o programa, o aplicativo pode solicitar a permissão do usuário para acessar arquivos do dispositivo, de maneira a autorizar que o arquivo PDF seja salvo e aberto, conforme ilustrado na figura 34.

Figura 34: Captura de tela – Solicitação de permissão para acesso a arquivos do dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, o arquivo PDF é aberto no dispositivo do usuário, sendo solicitada a escolha de um aplicativo a ser utilizado para abertura do arquivo PDF ou aberto diretamente no aplicativo padrão de leitura no dispositivo, de acordo com as configurações do dispositivo.

O relatório exportado é composto exatamente pela composição das telas presentes nas abas de dados de cálculo e de apresentação de resultados, de maneira que os resultados possam ser facilmente associados aos dados de entrada

utilizados no momento do cálculo, uma vez que este relatório tenderá a ser exportado para outros dispositivos.

5.5. BANCO DE DADOS SQLITE

Com auxílio da interface visual do gerenciador de banco de dados (DBBrowser for SQLite), foi criado um banco de dados SQLite, de maneira a armazenar os perfis estruturais disponíveis para verificação no aplicativo, bem como para o armazenamento temporário de dados durante o processo de execução do aplicativo.

Para isto, foram criadas as seguintes tabelas no banco de dados:

1. Tabela de Perfis W, alimentada através de dados obtidos do catálogo de perfis estruturais da empresa Gerdau (GERDAU S.A., 2017);
2. Tabela de Perfis CS alimentada através de dados obtidos do catálogo de perfis estruturais da empresa FAM (FAM CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS LTDA, 2015);
3. Tabela de Perfis VS alimentada através de dados obtidos do catálogo de perfis estruturais da empresa FAM (FAM CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS LTDA, 2015);
4. Tabela de Perfis CVS alimentada através de dados obtidos do catálogo de perfis estruturais da empresa FAM (FAM CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS LTDA, 2015);
5. Tabela de dados temporários, utilizada durante os processos de execução do aplicativo para armazenar temporariamente informações e/ou transferir dados entre telas.

A escolha da tabela comercial para perfis laminados da Gerdau se deu pela tradição apresentada pela empresa, que surgiu em 1901, possuindo mais de cem anos de história, sendo uma das principais fornecedoras de aços longos nas Américas e de aços especiais no mundo. (GERDAU S.A., 2018)

Na ausência de uma tabela catálogo de perfis soldados disponível no site da Gerdau, foram utilizadas as tabelas da empresa FAM Construções Metálicas

Pesadas LTDA., que possui mais de 30 anos de atuação no mercado e atende a normas como a NBR 5884:2013 e ISO 9001:2008. (FAM CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS LTDA, 2017)

5.6. ELABORAÇÃO DO MANUAL DE INSTRUÇÕES

Embora a navegação de aplicativos para celular seja geralmente intuitiva, para fins de facilitar o uso do aplicativo, foi elaborado um manual de instruções, apresentado no apêndice A deste trabalho.

O manual apresenta as abas presentes no aplicativo, explicando para cada aba como preencher os dados e quais dados são essenciais para o cálculo. São apresentadas também informações gerais sobre o trabalho em si.

5.7. PUBLICAÇÃO DO APLICATIVO

Para que um aplicativo possa ser publicado na loja virtual Google Play, é necessário que uma conta de desenvolvedor do Google Play seja criada, necessitando-se pagar uma taxa cadastro, que permite que o desenvolvedor de aplicativos publique, conforme sua necessidade, seus aplicativos nessa loja.

Dessa maneira, em 09 de dezembro de 2018 foi realizado o cadastro, sendo paga a taxa de cadastro de 25 dólares para publicação do aplicativo e inseridos os dados do desenvolvedor do aplicativo como nome, e-mail e telefone.

Em 10 de dezembro de 2018 o aplicativo foi submetido para publicação, sendo aprovado na mesma data. Desta maneira, o aplicativo se encontra disponível para download, podendo ser encontrado através de seu nome “Flexão Composta – NBR 8800:2008”.

Caso seja necessário, podem ser efetuados versionamentos do aplicativo a qualquer momento, para a aplicação de melhorias, correções de eventuais falhas pontuais ou mesmo adequações gerais como alterações de layout, por exemplo.

6. VALIDAÇÃO DO SISTEMA

Neste capítulo, busca-se verificar a confiabilidade dos resultados obtidos pelo aplicativo desenvolvido frente à verificação por flexão composta, bem como por flexão simples, tração e compressão de elementos estruturais em aço, em consonância com a norma NBR 8800:2008. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008)

Para fins de validação do aplicativo foram selecionados exercícios resolvidos do livro Estruturas de Aço – Dimensionamento Prático de Pfeil e Pfeil (2009), um livro que se encontra em sua 8ª edição e é amplamente utilizado como bibliografia de referência em universidades em todo o território nacional para a disciplina de estruturas metálicas. Os dados de entrada foram inseridos no aplicativo e os resultados obtidos foram comparados com os resultados apresentados pelos autores do livro.

6.1. VERIFICAÇÃO À COMPRESSÃO

Para confirmação dos cálculos realizados no aplicativo para verificação à compressão, foram selecionados dois exercícios do livro de Pfeil e Pfeil (2009), sendo que em um deles é utilizado um perfil soldado e no outro um perfil laminado, sendo comparados os resultados apresentados com os resultados obtidos pelo aplicativo. Nos itens 6.1.1 e 6.1.2 serão apresentados os exercícios e resultados obtidos.

6.1.1. Verificação à compressão de Perfil Laminado

Para fins de confirmação dos resultados de verificação à compressão de um perfil laminado, foi selecionado o exercício 5.8.1 do livro de Pfeil e Pfeil (2009), que se trata de uma verificação à compressão de um perfil laminado W.

O exercício solicita a determinação da resistência de cálculo à compressão do perfil W150 x 37,1 kg/m de aço ASTM A36 com comprimento de 3m, sabendo-se que suas extremidades são rotuladas e que há contenção lateral impedindo a flambagem em torno do eixo y. Em seguida, solicita que o resultado seja comparado para uma peça sem contenção lateral, podendo flambar em torno do eixo y-y. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Foram inseridos os dados no aplicativo e obtidos os resultados, para os dois casos propostos no exercício em separado (com contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y e sem a contenção lateral), sendo inserido também um impedimento para flambagem devido à torção, uma vez que o livro não executa essa verificação.

Inicialmente, conforme figuras 35 e 36 a seguir, foram inseridos os dados no aplicativo e obtidos os resultados para resolução do exercício considerando-se a contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.

Pode-se observar que os carregamentos de cálculo inseridos foram nulos, uma vez que se busca, neste caso, apenas a determinação da resistência de cálculo à compressão do perfil, sem verificação em relação a esforços de cálculo.

Figura 35: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 5.8.1 com Contenção Lateral

PERFIL E MAT... COMP. FLAMB... CARRE- GAME... CONF. DADOS RESUL- TADOS

Confirmar Dados de Cálculo

OBTER DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (f_y): 250 MPa
Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa
Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: W 150 X 37,1 (H)

Comprimentos de Flambagem

Maior Comprimento Destravado: 3 m
Coef. Flamb - Direção X (K_x): 1
Coef. Flamb. - Direção Y (K_y): Travado!
Coef. Flamb. - Torção (K_z): Travado!

Carregamentos de Cálculo:

Esforço Normal (N_{sd}): 0 kN Compressão
Momento Fletor em x (M_{sdx}): 0 kN.m
Momento Fletor em y (M_{sdy}): 0 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 36: Captura de tela – Resultados - Exercício 5.8.1 com Contenção Lateral



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi obtido o seguinte esforço normal resistente:

$$N_{rd,app} = 981,4 \text{ kN}$$

(com contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.)

Em seguida, conforme figuras 37 e 38 a seguir, foram inseridos os dados no aplicativo e obtidos os resultados para resolução do exercício, desconsiderando-se a contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.

Pode-se observar, novamente, que os carregamentos de cálculo inseridos foram nulos, uma vez que se busca, neste caso, apenas a determinação da resistência de cálculo à compressão do perfil, sem verificação em relação a esforços de cálculo.

Figura 37: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 5.8.1 sem Contenção Lateral

PERFIL E MAT... COMP. FLAMB... CARRE-GAME... **CONF. DADOS** RESULTADOS

Confirmar Dados de Cálculo

OBTER DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (f_y): 250 MPa
Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa
Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: W 150 X 37,1 (H)

Comprimentos de Flambagem

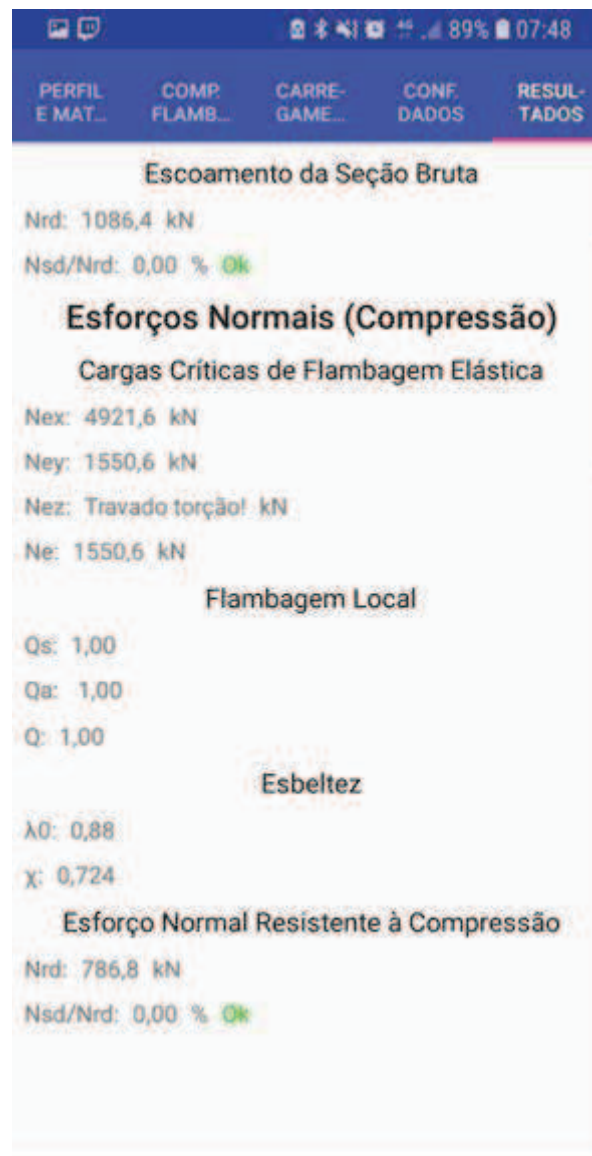
Maior Comprimento Destravado: 3 m
Coef. Flamb - Direção X (K_x): 1
Coef. Flamb. - Direção Y (K_y): 1
Coef. Flamb. - Torção (K_z): Travado!

Carregamentos de Cálculo:

Esforço Normal (N_{sd}): 0 kN Compressão
Momento Fletor em x (M_{sdx}): 0 kN.m
Momento Fletor em y (M_{sdy}): 0 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38: Captura de tela – Resultados - Exercício 5.8.1 sem Contenção Lateral



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi obtido o seguinte esforço normal resistente:

$$N_{rd,app} = 786,8 \text{ kN}$$

(sem contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.)

O livro apresenta como resultados os valores a seguir:

$$N_{rd,livro} = 982,1 \text{ kN}$$

(com contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.)

$$N_{rd,livro} = 786 \text{ kN}$$

(sem contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.)

Comparando-se os valores obtidos no aplicativo com os valores obtidos no livro, tem-se:

$$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{981,4 \text{ kN}}{982,1 \text{ kN}} * 100 \cong 99,93 \%$$

(com contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.)

$$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{786,8 \text{ kN}}{786 \text{ kN}} * 100 \cong 100,10 \%$$

(sem contenção lateral para impedir a flambagem em torno do eixo y.)

6.1.2. Verificação à compressão de Perfil Soldado

Para fins de confirmação dos resultados de verificação à compressão de um perfil soldado, foi selecionado o exercício 5.8.8 do livro, apresentado no Anexo B deste trabalho (PFEIL; PFEIL, 2009), que se trata de um dimensionamento à compressão de um perfil soldado CS.

Embora se trate de um dimensionamento e não uma verificação em si, ao final do exercício ocorre a verificação do perfil selecionado, podendo-se realizar os cálculos de verificação deste perfil selecionado no aplicativo para fins de comparação de resultados obtidos.

O exercício solicita a seleção de um perfil soldado CS de aço A36 para uma coluna com 4,0m de altura e coeficientes de flambagem iguais a 0,8 em torno do eixo y e 2,1 em torno do eixo x que suporte um esforço solicitante de 870 kN. Ao final do exercício, é selecionado o perfil CS 250 x 52 e verificado o mesmo. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Foram inseridos os dados no aplicativo, conforme figura 39 a seguir, para o caso proposto, sendo inserido também um impedimento para flambagem devido à

torção, uma vez que o livro não executa essa verificação, para que se possa comparar resultados de cálculos semelhantes.

Figura 39: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 5.8.8

PERFIL E MAT... COMP. FLAMB... CARRE-GAME... **CONF. DADOS** RESULTADOS

OBTER DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (fy): 250 MPa
 Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa
 Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: CS 250X52

Comprimentos de Flambagem

Maior Comprimento Destravado: 4 m
 Coef. Flamb - Direção X (Kx): 2.1
 Coef. Flamb. - Direção Y (Ky): 0.8
 Coef. Flamb. - Torção (Kz): Travado!

Carregamentos de Cálculo:

Esforço Normal (Nsd): 870 kN Compressão
 Momento Fletor em x (Msdx): 0 kN.m
 Momento Fletor em y (Msdy): 0 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi obtido o seguinte esforço normal resistente, conforme figura 40:

$$N_{rd,app} = 1088,3 \text{ kN}$$

Figura 40: Captura de tela – Resultados - Exercício 5.8.8



Fonte: Elaborado pelo autor.

O livro apresenta como resultados o valor a seguir:

$$N_{rd,livro} = 1084 \text{ kN}$$

Comparando-se o valor obtido no aplicativo com o valor obtido no livro, tem-se:

$$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{1088,3 \text{ kN}}{1084 \text{ kN}} * 100 \cong 100,40 \%$$

6.2. VERIFICAÇÃO À FLEXÃO

Para confirmação dos cálculos realizados no aplicativo para verificação à flexão, foi selecionado um exercício do livro de Pfeil e Pfeil (2009). Neste exercício, são calculados momentos resistentes de projeto para um perfil soldado e um perfil laminado. Os cálculos foram realizados também no aplicativo, para fins de comparação dos resultados obtidos. No item a seguir o exercício será apresentado, bem como os resultados obtidos.

6.2.1. Verificação à flexão de Perfil Laminado e Perfil Soldado

Para fins de confirmação dos resultados de verificação à flexão de um perfil laminado e um perfil soldado, foi selecionado o exercício 6.5.1 do livro.

O exercício solicita o cálculo dos momentos resistentes de projeto de uma viga de perfil laminado W530 x 85,0 e uma viga soldada VS 500 x 86 com contenção lateral, sendo o aço utilizado MR250. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Foram inseridos os dados no aplicativo e obtidos os resultados para o perfil laminado W530 x 85,0, conforme figuras 41 e 42 a seguir.

Figura 41: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 6.5.1 – W530x85,0

Dados de Cálculo

OBTER DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (f_y): 250 MPa
Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa
Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: W 530 x 85,0

Comprimentos de Flambagem

Maior Comprimento Destravado: 3 m
Coef. Flamb. - Direção X (K_x): 1
Coef. Flamb. - Direção Y (K_y): 1
Coef. Flamb. - Torção (K_z): 1

Carregamentos de Cálculo:

Esforço Normal (N_{sd}): 0 kN Compressão
Momento Fletor em x (M_{sdx}): 0 kN.m
Momento Fletor em y (M_{sdy}): 0 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 42: Captura de tela – Resultados - Exercício 6.5.1 – W530x85,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o perfil W530 x 85,0 foi obtido o seguinte momento fletor resistente em x:

$$M_{rdx,app} = 477,2 \text{ kNm}$$

(Perfil W530 x 85,0 contido lateralmente)

Em seguida, foram inseridos os dados e obtidos os resultados para o perfil soldado VS 500 x 86, conforme figuras 43 e 44.

Figura 43: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 6.5.1 – VS 500 x 86

PERFIL E MAT... COMP. FLAMB... CARRE-GAME... **CONF. DADOS** RESULTADOS

Dados de Cálculo

OBTER DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (f_y): 250 MPa
Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa
Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: VS 500 x 86

Comprimentos de Flambagem

Maior Comprimento Destravado: 3 m
Coef. Flamb. - Direção X (K_x): 1
Coef. Flamb. - Direção Y (K_y): 1
Coef. Flamb. - Torção (K_z): 1

Carregamentos de Cálculo:

Esforço Normal (N_{sd}): 0 kN Compressão
Momento Fletor em x (M_{sdx}): 0 kN.m
Momento Fletor em y (M_{sdy}): 0 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 44: Captura de tela – Resultados - Exercício 6.5.1 VS 500 x 86



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o perfil VS 500 x 86 foi obtido o seguinte momento fletor resistente em x, conforme figura 44:

$$M_{rdx,app} = 518,4 \text{ kNm}$$

(Perfil VS 500 x 86 contido lateralmente)

O livro apresenta como resultados os valores a seguir:

$$M_{rd,livro} = 477,3 \text{ kNm}$$

(Perfil W530 x 85,0 contido lateralmente)

$$M_{rd,livro} = 518,4 \text{ kNm}$$

(Perfil VS 500 x 86 contido lateralmente)

Comparando-se os valores obtidos no aplicativo com os valores obtidos no livro, tem-se:

$$\frac{M_{rd,app}}{M_{rd,livro}} = \frac{477,2 \text{ kNm}}{477,3 \text{ kNm}} * 100 \cong 99,98 \%$$

(Perfil W530 x 85,0 contido lateralmente)

$$\frac{M_{rd,app}}{M_{rd,livro}} = \frac{518,4 \text{ kNm}}{518,4 \text{ kNm}} * 100 = 100,00\%$$

(Perfil VS 500 x 86 contido lateralmente)

6.3. VERIFICAÇÃO À FLEXOCOMPRESSÃO

Para confirmação dos cálculos realizados no aplicativo para verificação à flexocompressão, foi selecionado um exercício do livro de Pfeil e Pfeil (2009), referente à verificação de um perfil soldado à flexocompressão. Os cálculos foram realizados no aplicativo, para fins de comparação dos resultados obtidos com os resultados apresentados pelo livro. No item 6.3.1 o exercício será apresentado, bem como os resultados obtidos.

6.3.1. Verificação à Flexocompressão de Perfil Soldado

Para fins de confirmação dos resultados de verificação à flexocompressão de um perfil soldado, foi selecionado o exercício 7.6.1 do livro.

O exercício solicita a verificação da segurança de uma coluna com extremidades indeslocáveis CVS 450 x 116, de aço MR250, sujeita a esforço normal solicitante de projeto de 1120kN e momento fletor solicitante de projeto de 72,7 kNm atuando no plano da alma, sendo o comprimento de flambagem de 6m no plano do momento fletor. O exercício apresenta ainda contenção lateral contínua no plano perpendicular à alma. (PFEIL; PFEIL, 2009)

Foram inseridos os dados no aplicativo, conforme figura 45 a seguir.

Figura 45: Captura de tela – Entrada de Dados - Exercício 7.6.3

Dados de Cálculo

OBTEN DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (fy): 250 MPa
Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa
Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: CVS 450x116

Comprimentos de Flambagem

Maior Comprimento Destravado: 6 m
Coef. Flamb. - Direção X (Kx): 1
Coef. Flamb. - Direção Y (Ky): 1
Coef. Flamb. - Torção (Kz): 1

Carregamentos de Cálculo:

Esforço Normal (Nsd): 1120 kN Compressão
Momento Fletor em x (Msdx): 72.7 kN.m
Momento Fletor em y (Msdy): 31.2 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram obtidos pelo aplicativo, os seguintes resultados:

$$N_{rd,app} = 3194,7 \text{ kN}$$

$$M_{rdx,app} = 597,5 \text{ kNm}$$

O livro apresenta como resultados os valores a seguir:

$$N_{rd,livro} = 3192 \text{ kN}$$

$$M_{rdx,livro} = 591,7 \text{ kNm}$$

Comparando-se os valores obtidos no aplicativo com os valores obtidos no livro, tem-se:

$$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{3194,7 \text{ kN}}{3192 \text{ kN}} * 100 \cong 100,08 \%$$

$$\frac{M_{rdx,app}}{M_{rdx,livro}} = \frac{597,5 \text{ kNm}}{591,7 \text{ kNm}} * 100 \cong 100,98 \%$$

6.4. AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

A figura 46, apresentada abaixo, representa os resultados obtidos no processo de validação apresentado previamente neste capítulo, bem como o erro relativo obtido para cada caso verificado.

Figura 46: Resultados da Validação

Exercício	Tipo de Verificação	Resultados Obtidos pelo Aplicativo	Resultados Apresentados pelo Livro	Comparação de Resultados	Erro Relativo
5.8.1	Compressão de perfil laminado com contenção lateral no eixo y	Nrd = 981,4 kN	Nrd = 982,1 kN	$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{981,4 \text{ kN}}{982,1 \text{ kN}} * 100 \cong 99,93 \%$	0,07%
	Compressão de perfil laminado sem contenção lateral	Nrd = 786,8 kN	Nrd = 786 kN	$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{786,8 \text{ kN}}{786 \text{ kN}} * 100 \cong 100,10 \%$	0,10%
5.8.8	Compressão de perfil soldado	Nrd = 1088,3 kN	Nrd = 1084 kN	$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{1088,3 \text{ kN}}{1084 \text{ kN}} * 100 \cong 100,40 \%$	0,40%
6.5.1	Flexão de Perfil Laminado	Mrdx = 477,2 kNm	Mrdx = 477,3 kNm	$\frac{M_{rd,app}}{M_{rd,livro}} = \frac{477,2 \text{ kNm}}{477,3 \text{ kNm}} * 100 \cong 99,98 \%$	0,02%
	Flexão de Perfil Soldado	Mrdx = 518,4 kNm	Mrdx = 518,4 kNm	$\frac{M_{rd,app}}{M_{rd,livro}} = \frac{518,4 \text{ kNm}}{518,4 \text{ kNm}} * 100 = 100,00\%$	0,00%
7.6.1	Flexocompressão de Perfil Soldado	Nrd = 3194,7 kN	Nrd = 3192 kN	$\frac{N_{rd,app}}{N_{rd,livro}} = \frac{3194,7 \text{ kN}}{3192 \text{ kN}} * 100 \cong 100,08 \%$	0,08%
		Mrdx = 597,5 kNm	Mrdx = 591,7 kNm	$\frac{M_{rdx,app}}{M_{rdx,livro}} = \frac{597,5 \text{ kNm}}{591,7 \text{ kNm}} * 100 \cong 100,98 \%$	0,98%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação aos resultados apresentados pelo aplicativo, pode-se concluir que os mesmos estão satisfatórios, uma vez que foram observadas diferenças sempre inferiores a 1% em relação aos resultados apresentados no livro de Pfeil e Pfeil (2009), o que permite atestar a validade dos resultados obtidos pelo sistema.

Estas diferenças encontradas se devem, na maioria dos casos, a pequenos arredondamentos de valores e fatores utilizados pelo livro e pelo aplicativo nos cálculos, bem como pequenas variações referentes às tabelas de perfil, uma vez que o aplicativo utilizou tabelas comerciais e o livro utilizou suas próprias tabelas de referência.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, serão apresentadas as conclusões obtidas durante a execução deste trabalho, bem como sugestões para a realização de trabalhos futuros em linhas semelhante.

7.1. CONCLUSÕES

Em relação ao objetivo geral proposto no item 1.2.1 deste trabalho, pode-se concluir que o mesmo foi alcançado conforme planejado, sendo devidamente iniciado, desenvolvido, validado e publicado o aplicativo proposto, disponibilizando-o gratuitamente aos usuários interessados.

Ainda, pôde-se concluir todos os objetivos específicos propostos no item 1.2.2 deste trabalho, sendo:

- a) Desenvolvido o aplicativo com suas telas de entrada de dados e de apresentação de resultados (item 5.1) e as rotinas internas de cálculo (item 5.2);
- b) Elaborado um relatório exportável de exibição dos resultados;
- c) Desenvolvido um sistema interno de conversão de unidades (item 5.3);
- d) Redigido um manual de instruções (item 5.6);
- e) Validada a utilização do sistema (item 6);
- f) Publicado o aplicativo na loja virtual Google Play, disponibilizando-o gratuitamente aos usuários (item 5.7).

Através do processo de elaboração de um aplicativo Android, foi possível observar que a elaboração de bons *layouts* e linhas de código otimizadas podem ser complicadas caso o desenvolvedor não possua bastante experiência em desenvolvimento de aplicativo, não inviabilizando, entretanto, que se possa buscar e alcançar soluções para resolução do problema.

Constatou-se também que a escolha de uma sistemática de seleção de perfis com base em catálogos comerciais implica em uma necessidade de execução de

trabalhos adicionais como a alimentação de banco de dados e a construção de mecanismos de acesso a estas informações, o que poderia ser contornado com a adoção de uma solução com base na entrada das informações da geometria do perfil por parte do usuário.

No entanto, a opção por utilização de catálogos comerciais acrescenta o benefício de melhor aplicabilidade à rotina do estudante e/ou profissional de engenharia, evitando necessidade de entrada de diversas dimensões para verificação do perfil, além de estar alinhada aos elementos disponíveis no mercado.

Durante as etapas finais do desenvolvimento do projeto, foram lançados dois aplicativos de funcionalidade semelhante para a plataforma Android, que ainda não haviam sido publicados quando o trabalho foi iniciado:

1. Aplicativo PS-NBR8800 (CAVOL FILHO, 2018), publicado em 14 de novembro de 2018 na loja virtual Google Play, voltado à verificação de perfis soldados.
2. Aplicativo Perfis I – RM App (RM PROJETO E CONSULTORIA, 2018), publicado em 21 de novembro de 2018 na loja virtual Google Play, voltado à verificação de perfis metálicos tipo I.

O lançamento de dois aplicativos em períodos semelhantes permite inferir que, de fato havia demanda por este tipo de aplicativo no mercado, conforme identificado no item 1.1 deste trabalho, uma vez que não foram encontrados aplicativos semelhantes disponíveis no início do projeto. Portanto, pode-se concluir que o objeto deste trabalho é um potencial produto relevante para utilização em meio acadêmico e/ou profissional.

Por fim, foi possível concluir que o processo de elaboração de um aplicativo voltado ao cálculo de elementos estruturais permite uma maior interação com os requisitos normativos e com os procedimentos de cálculo com considerações diversas, servindo como ótimo mecanismo de aprimoramento dos conhecimentos para um estudante.

7.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros, são apresentadas opções voltadas ao desenvolvimento de aplicativos na área da Engenharia Civil:

1. Elaboração de um aplicativo voltado à verificação de elementos estruturais em madeira;
2. Elaboração de um aplicativo voltado ao cálculo de ligações metálicas (parafusadas e/ou soldadas), incluindo o cálculo da área líquida efetiva;
3. Elaboração de um aplicativo voltado ao cálculo de elementos mistos aço-concreto;
4. Elaboração de um aplicativo voltado ao cálculo do efeito de cargas móveis sobre uma estrutura, contemplando o traçado da linha de influência e envoltória de esforços em estruturas isostáticas e/ou hiperestáticas.

REFERÊNCIAS

ANDROID. **Android Developers:** Desenvolva Aplicativos. 2018. Disponível em: <<https://developer.android.com/>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800:** Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2008.

ANDROID. **Android Developers:** Desenvolva Aplicativos. 2018. Disponível em: <<https://developer.android.com/>>. Acesso em: 26 jan. 2018.

BELLEI, Ildony Hélio; BELLEI, Humberto N. **Edifícios de pequeno porte estruturados em aço.** 4. ed. Rio de Janeiro: labr/cbca, 2011. 107 p. (Manual de Construção em Aço).

CAELUM. **Apostila do Curso FJ-21:** Java para Desenvolvimento Web. [201-?]. Disponível em: <<https://www.caelum.com.br/apostila-java-web/>>. Acesso em: 14 maio 2018.

CAPOZOLI, Rosangela. Estrutura metálica é aposta na construção. **Valor Econômico.** São Paulo. 14 jul. 2015. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/empresas/4130832/estrutura-metalica-e-aposta-na-construcao>>. Acesso em: 27 maio 2018.

CAVOL FILHO, Leonardo Marchesan. **PS-NBR8800.** Orientação de Zacarias Martin Chamberlain Paiva. Passo Fundo, 2018. Disponível em:

<<https://play.google.com/store/apps/details?id=cco.PSNBR8800>>. Acesso em 05 dezembro 2018.

CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO. **CENÁRIO DOS FABRICANTES DE ESTRUTURAS DE AÇO - 2017**. [s.i.]: CBCA, 2017. Disponível em: <<http://www.cbca-acobrasil.org.br/lib/php/download-restrito.php?cfg=1&arq=estrutura-de-aco-2014/cenario-dos-fabricantes-de-estruturas-de-aco-2017.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2018.

CONSTRUCT. **Aplicativo para construção civil - ConstructApp**. 2017. Disponível em: <<https://constructapp.io/pt/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

COMPANHIA ESTADUAL DE HABITAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS DE SERGIPE. **ORSE - Sistema de Orçamento de Obras de Sergipe**. 2014. Disponível em: <<http://www.cehop.se.gov.br/orse/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

COMTECH. **KANTAR WORLDPANEL**: Android vs IOS. 2018. Disponível em: <<https://www.kantarworldpanel.com/>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

COLUCCI, Rafael. **O que é o AutoCAD Civil 3D?** 2012. Disponível em: <<http://cad.cursosguru.com.br/novidades/o-que-e-o-autocad-civil-3d/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

DEITEL, Paul; DEITEL, Harvey. Introdução aos computadores, à Internet e à World Wide Web. In: DEITEL, Paul; DEITEL, Harvey. **Java: Como Programar**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010. Cap. 1. p. 2-27. Tradução: Edson Furmankiewicz e Revisão Técnica: Fábio Luis Picelli Lucchini.

FAM CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS LTDA. **Perfil Soldado**. São Paulo: Fam, 2015. Disponível em: <<http://perfilsoldado.com.br/catalogo-perfis-vigas-soldadas-fam.pdf#zoom=60>>. Acesso em: 02 out. 2018.

FAM CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS LTDA. **Estruturas Metálicas: FAM Construções Pesadas em Aço**. 2017. Disponível em: <<https://www.famsteel.com.br/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

FERNANDES, Acauan Pereira. UMA COMPARAÇÃO DE IMPLEMENTAÇÕES DE CONCEITOS DE ORIENTAÇÃO A OBJETOS NAS LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO JAVA, C++ E PASCAL. **Revista do Ccei**: Centro de Ciências da Economia e Informática, Bagé, Rs, v. 6, n. 10, p.41-48, ago. 2002. Semestral. Disponível em: <revista.urcamp.tche.br/index.php/Revista_CCEI/issue/view/12>. Acesso em: 08 maio 2018.

GERDAU S.A.. PERFIS ESTRUTURAIS GERDAU: TABELA DE BITOLAS. Brasil: Gerdau, 2017. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/products-services/products/Document%20Gallery/perfil-estrutural-tabela-de-bitolas.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

GERDAU S.A.. **Gerdau Website: Perfil**. 2018. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/sobre-nos/perfil>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

GOOGLE. **Consumer Barometer with Google**. Disponível em: <<https://www.consumerbarometer.com/>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

GSM ASSOCIATION. **NUMBER OF MOBILE SUBSCRIBERS WORLDWIDE HITS 5 BILLION**. 2017. Disponível em: <<http://www.gsma.com/newsroom/press->

release/number-mobile-subscribers-worldwide-hits-5-billion/>. Acesso em: 14 maio 2018.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Instituto Aço Brasil**: Indicadores de Mercado. 2016. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/>>. Acesso em: 19 maio 2018.

LEITE, Jair Cavalcanti. **Notas de Aulas de Engenharia de Software**: Análise e Especificação de Requisitos. 2000. Disponível em: <<https://www.dimap.ufrn.br/~jair/ES/c4.html>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS (São Paulo). **Arquimedes - Software para orçamento, planejamento e controle de obras**. 2017. Disponível em: <<http://www.multipius.com/software/arquimedes/>>. Acesso em: 20 maio 2018.

ORACLE TECHNOLOGY NETWORK. **Obtenha Informações sobre a Tecnologia Java**. [201-?]. Disponível em: <https://www.java.com/pt_BR/about/>. Acesso em: 14 maio 2018.

PIRES, Aécio dos Santos. **O Kernel do Linux: A definição, importância e funcionalidades**. 2007. Disponível em: <<https://www.vivaolinux.com.br/artigo/O-kernel-do-Linux-A-definicao-importancia-e-funcionalidades>>. Acesso em: 28 maio 2018.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Aço**: Dimensionamento Prático de Acordo com a NBR 8800:2008. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.

RIBEIRO NETO, Juliano Geraldo. Notas de aula - Estruturas Metálicas: 5 - Peças Comprimidas. 2016. Disponível em:

<<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17448/material/5%20-%20PECAS%20COMPRIMIDAS.pdf>>. Acesso em: 02 julho 2018.

RM PROJETO E CONSULTORIA. **Perfis I – RM App**. Goiânia, 2018. Disponível em: <https://play.google.com/store/apps/details?id=appinventor.ai_rodolfo_macaranduba.CalculadoraDePerfis>. Acesso em 05 dezembro 2018.

ROGERS, Rick et al. **Android: Application Development**. Sebastopol, Ca, Estados Unidos: O'reilly Media, Inc, 2009.

ROMANATO, Allan. **Introdução ao Java Virtual Machine (JVM)**. 2013. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/introducao-ao-java-virtual-machine-jvm/27624>>. Acesso em: 15 maio 2018.

SANTANA, Otávio Gonçalves de. **Por que Java?** 2011. Disponível em: <<https://www.devmedia.com.br/por-que-java/20384>>. Acesso em: 15 maio 2018.

SILVA, Luciano Alves da. **Apostila de Android - Programando Passo a Passo: Programação Básica (Versão Android Studio)**. [s.i.]: LucianoDEV.com, 2015.

SPECK, Henderson José. **ROPOSTA DE MÉTODO PARA FACILITAR A MUDANÇA DAS TÉCNICAS DE PROJETOS: DA PRANCHETA À MODELAGEM SÓLIDA (CAD) PARA EMPRESAS DE ENGENHARIA DE PEQUENO E MÉDIO PORTE**. 2005. 172 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102197>>. Acesso em: 20 maio 2018.

TOGASHI, Bárbara Sumie. **Desempenho e Resistência à Compressão de Cantoneiras Pultrudadas Curtas de Polímero Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV)**. 2017. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Puc-rio, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/acessoConteudo.php?nrseqoco=98251>>.

Acesso em: 02 jul. 2018.

VERANO ENGENHARIA DE SISTEMAS. **Planejando e Controlando Projetos com Primavera® Enterprise**: Curso Básico Versão 6.0. São Paulo: Verano, 2007.

WORLDSTEEL ASSOCIATION. **STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2017**. Bruxelas, Bélgica: Worldsteel Association, 2017. Disponível em: <<https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/steel-statistical-yearbook-.html>>.

Acesso em: 19 maio 2018.

APÊNDICE A - MANUAL DE INSTRUÇÕES

A.1. INICIANDO O USO DO APLICATIVO.

Inicialmente, deve-se baixar o aplicativo Flexão Composta – NBR 8800:2008 na loja virtual Google Play Store.

Em seguida, através do ícone correspondente, deve-se selecionar o aplicativo Flexão Composta – NBR 8800:2008 na lista de aplicativos instalados de seu dispositivo e clicar para que o aplicativo seja aberto.

A.2. INTERFACE DO APLICATIVO

A interface do aplicativo é composta de 5 abas de navegação: Perfil e Material; Comprimentos de Flambagem; Carregamentos de Cálculo; Dados de Cálculo e Resultados.

A navegação entre as barras pode ser realizada através da rolagem horizontal da tela (para a direita ou para a esquerda) ou através de um clique na opção desejada do menu superior, conforme figura A1:

Figura A1: Captura de tela – Menu Superior do Aplicativo



Fonte: Elaborado pelo autor.

A.3. ABA DE PERFIL E MATERIAL

Na aba de perfil e material deve-se, inicialmente, preencher as informações referentes ao aço utilizado, como sua tensão de escoamento, sua tensão de ruptura, seu módulo de elasticidade e seu módulo de cisalhamento, bem como suas unidades de medida, conforme apresentado na figura A2.

As informações de módulo de elasticidade e de cisalhamento são previamente preenchidas pelo aplicativo, com base nos valores apresentados no item 4.5.2.9 da norma NBR 8800:2008, sendo estes $E = 200.000 \text{ MPa}$ e $G = 77.000 \text{ MPa}$. Estes valores podem ser alterados, caso se julgue pertinente e possua outro valor de referência para o material que será utilizado, como resultados de ensaios, por exemplo.

Figura A2: Captura de tela – Informações do Material

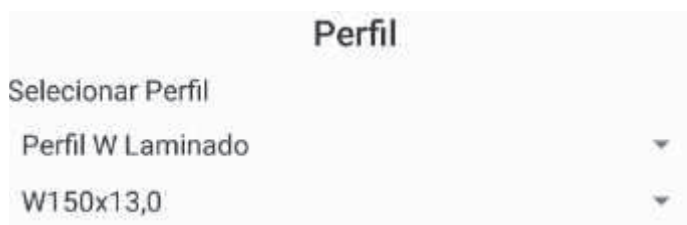
Material		
Selecionar Tipo de Aço		
ABNT MR 250		▼
Tensão de Escoamento (f_y):		
250	MPa	▼
Tensão de Ruptura (f_u):		
400	MPa	▼
Módulo de Elasticidade (E):		
200000	MPa	▼
Módulo de Cisalhamento (G):		
77000	MPa	▼

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, deve-se selecionar o perfil metálico a ser verificado. Para isso, deve-se selecionar inicialmente a tabela a ser utilizada: Perfil W (Laminado), Perfil CS (Soldado), Perfil VS (Soldado) ou Perfil CVS (Soldado). Em seguida, deve

selecionar o perfil desejado por meio de uma lista, conforme apresentado na figura A3.

Figura A3: Captura de tela – Seleção do Perfil



Fonte: Elaborado pelo autor.

São apresentadas na tela algumas dimensões referentes ao perfil selecionado, bem como uma figura que ilustra a disposição destas dimensões na peça, de maneira a permitir uma prévia conferência em relação ao perfil desejado, conforme figura A4.

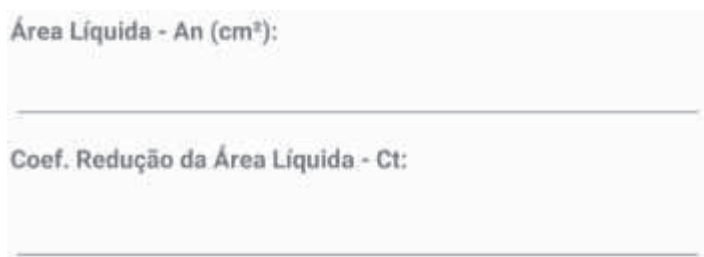
Figura A4: Captura de tela – Informações do Perfil



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as informações do perfil, deve-se inserir a área líquida e o coeficiente de redução da área líquida, para que o aplicativo possa verificar o estado limite último de ruptura da seção líquida, conforme apresentado na figura A5.

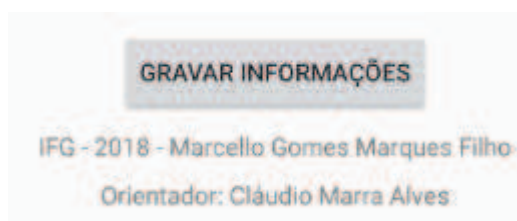
Figura A5: Captura de tela – Área Líquida



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, deve-se clicar no botão Gravar Informações, conforme apresentado na figura A6, que irá armazenar os dados preenchidos nesta aba para serem utilizados posteriormente com finalidades de cálculo. Caso haja dados inválidos ou dados necessários sem preenchimento, uma mensagem de alerta é exibida ao usuário e os dados não são gravados.

Figura A6: Captura de tela – Botão de Gravação de Informações



Fonte: Elaborado pelo autor.

A.4. ABA DE COMPRIMENTOS DE FLAMBAGEM

Na aba de comprimentos de flambagem deve-se preencher o maior comprimento destravado do elemento estrutural e sua unidade de medida, bem como os coeficientes de flambagem: nas direções x, y e devido a torção, conforme figura A7.

Por meio de switches (chaves de ativação), é possível indicar se a flambagem em alguma direção está impedida, por meio de travamento e se a peça deve ser considerada lateralmente contida para os efeitos de flexão.

Figura A7: Captura de tela – Comprimento de Flambagem

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os coeficientes de flambagem são inicialmente preenchidos pelo aplicativo com o valor inicial de 1,00, sendo este o valor teórico para um pilar bi-apoiado. No entanto, o valor pode ser alterado para corresponder à situação de cálculo pertinente, de acordo com as condições de apoio de projeto.

A tabela apresentada nesta aba do aplicativo foi retirada do Anexo E da norma NBR 8800:2008 e pode guiar o usuário para a correta seleção dos coeficientes de flambagem, apresentando os valores teóricos e recomendados para cada condição de apoio.

Por fim, deve-se clicar no botão Gravar Informações, que irá armazenar os dados preenchidos nesta aba para serem utilizados posteriormente com finalidades de cálculo. Caso haja dados inválidos ou dados necessários sem preenchimento, uma mensagem de alerta é exibida ao usuário e os dados não são gravados.

A.5. ABA DE CARREGAMENTOS DE CÁLCULO

Na aba de carregamentos, deve-se selecionar o tipo de carregamento normal (compressão ou tração), bem como os esforços solicitantes: esforço normal, momento fletor em x e momento fletor em y, juntamente com suas unidades de medida, conforme figura A8.

Figura A8: Captura de tela – Carregamentos de Cálculo Preenchidos

Carregamentos de Cálculo

Diagrama de uma seção I com eixos x e y. Os eixos são rotulados como M_{sdx} e M_{sdy} . O eixo x é horizontal e o eixo y é vertical. O centro da seção é marcado com um ponto vermelho.

Esforço Normal (Nsd)

☐ Compressão ☒ Tração

250 kN

Momento Fletor em x (Msdx)

20 kN.m

Momento Fletor em y (Msdy)

10 kN.m

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, deve-se clicar no botão Gravar Informações, que irá armazenar os dados preenchidos nesta aba para serem utilizados posteriormente com finalidades de cálculo. Diferentemente das demais abas, a ausência de preenchimento dos esforços não gera mensagem de alerta, sendo os esforços não preenchidos considerados como nulos, por não haver solicitação daquele tipo de esforço.

A.6. ABA DE DADOS DE CÁLCULO

Na aba de confirmação de dados pode-se conferir o preenchimento de todas as abas anteriores, facilitando a verificação de alguma informação errônea inserida, para que possa ser efetuada a devida correção antes de se efetuar os cálculos.

Para obter os dados preenchidos, basta que o botão presente nesta aba seja pressionado, conforme figura A9.

Figura A9: Captura de tela – Dados de Cálculo

Dados de Cálculo

OBTER DADOS PREENCHIDOS

Material

Tensão de escoamento (f_y): 250 MPa

Tensão de ruptura (f_u): 400 MPa

Módulo de Elasticidade (E): 200000 MPa

Módulo de Cisalhamento (G): 77000 MPa

Perfil

Perfil Selecionado: W150x13,0

A_n : 15.5 cm²

C_t : 1

Comprimentos de Flambagem

Maior Comprimento Destravado: 2 m

Coef. Flamb. - Direção X (K_x): 1

Coef. Flamb. - Direção Y (K_y): 1

Coef. Flamb. - Torção (K_z): 1

Cont. Lat. Flexão: Não

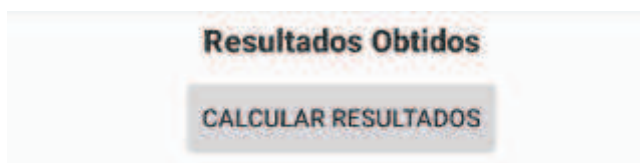
Carregamentos de Cálculo:

Fonte: Elaborado pelo autor.

A.7. ABA DE APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Na aba de apresentação de resultados, deve-se clicar no botão Calcular Resultados para se executar as rotinas internas de cálculo, apresentando-se os resultados, conforme figura A10.

Figura A10: Captura de tela - Botão para Calcular Resultados



Fonte: Elaborado pelo autor.

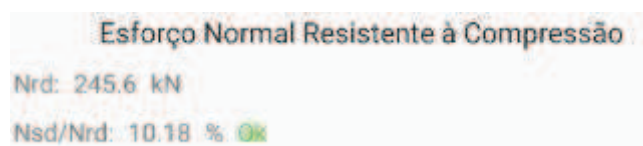
Inicialmente, a rotina verifica se os dados das abas anteriores estão adequadamente preenchidos, evitando que ocorram cálculos inválidos devido a ausência de preenchimento de dados essenciais, sendo informado ao usuário caso exista alguma aba com preenchimento pendente.

Nesta etapa preliminar, também é conferida a esbeltez limite, verificando se a maior relação entre comprimento destravado e raio de giração correspondente não supera os valores limites de 300 (para peças tracionadas) e 200 (para peças comprimidas), de acordo com os itens 5.2.8 e 5.3.4 da norma NBR 8800:2008.

No aplicativo, os esforços solicitantes e resistentes de cálculo são comparados, como, por exemplo, na relação entre o esforço normal solicitante de cálculo (N_{sd}) e o esforço normal resistente de cálculo (N_{rd}) ou entre o momento fletor solicitante de cálculo (M_{sdx}) na direção x e o momento fletor resistente de cálculo na direção x (M_{rdx}).

Nesta comparação, os resultados adequados (relação menor ou igual a 1) são apresentados como “ok” pelo aplicativo e indicados pela cor verde, e os resultados inadequados (relação maior que 1) são apresentados como “não ok” e indicados pela cor vermelha, conforme figura A11.

Figura A11: Captura de tela – Comparação de esforço resistente e solicitante



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta aba também, pode-se exportar o relatório de cálculo como arquivo em formato PDF, por meio de clique no botão correspondente, conforme figura A12.

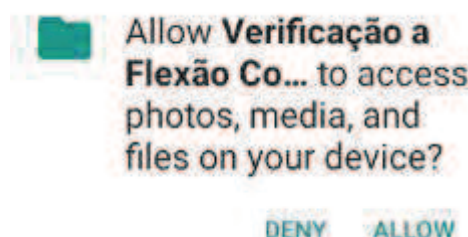
Figura A12: Captura de tela – Botão de Geração de PDF



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dependendo da versão do dispositivo Android utilizado para abrir o programa, o aplicativo pode solicitar a permissão do usuário para acessar arquivos do dispositivo, de maneira a autorizar que o arquivo PDF seja salvo e aberto, conforme figura A13. O formato desta tela pode se alterar de acordo com a versão e idioma do dispositivo Android utilizado, uma vez que está vinculada ao sistema operacional e não ao aplicativo em si.

Figura A13: Captura de tela – Solicitação de Acesso a Arquivos do Dispositivo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso a autorização não seja necessária, ou caso seja autorizada, o relatório exportável é gerado, conforme figura A14, devendo ser aberto no programa desejado pelo usuário.

Figura A14: Captura de tela – Relatório em PDF



Fonte: Elaborado pelo autor.