



# Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias 2

Henrique Ajuz Holzmann  
Micheli Kuckla  
(Organizadores)

Atena  
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann  
Micheli Kuckla  
(Organizadores)

# Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias 2

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Natália Sandrini e Lorena Prestes

**Revisão:** Os autores

### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P856 Possibilidades e enfoques para o ensino das engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Micheli Kuckla. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-273-9

DOI 10.22533/at.ed.739192204

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 3. Prática de ensino. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Kuckla, Micheli.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

As obras Possibilidades e Enfoques para o Ensino das Engenharias Volume 1 e Volume 2 abordam os mais diversos assuntos sobre a aplicação de métodos e ferramentas nas diversas áreas das engenharias a fim de melhorar a relação ensino-aprendizado, sendo por meio de levantamentos teórico-práticos de dados referentes aos cursos ou através de propostas de melhoria nestas relações.

O Volume 1 está disposto em 26 capítulos, com assuntos voltados a relações ensino-aprendizado, envolvendo temas atuais com ampla discussão nas áreas de Ensino de Ciência e Tecnologia, buscando apresentar os assuntos de maneira simples e de fácil compreensão.

Já o Volume 2 apresenta uma vertente mais prática, sendo organizado em 24 capítulos, nos quais são apresentadas propostas, projetos e bancadas, que visam melhorar o aprendizado dos alunos através de métodos práticos e aplicados as áreas de tecnologias e engenharias.

Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre ensino-aprendizado são apresentados, a fim de se levantar dados e propostas para novas discussões em relação ao ensino nas engenharias, de maneira atual e com a aplicação das tecnologias hoje disponíveis.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann

Micheli Kuchla

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA PRODUTIVO NO ENSINO DE GESTÃO DA PRODUÇÃO	
Daniel Antonio Kapper Fabricio Lisiane Trevisan	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>10</b>
CULTURA DE SEGURANÇA – FATOR DETERMINANTE PARA A SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO EM INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA	
Lucass Melo Renata Evangelista Alexandre Bueno Débora Vasconcelos Carla Souza André Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>23</b>
ABORDAGEM DE SUSTENTABILIDADE NOS CURSOS BRASILEIROS DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO	
Gabriella Cavalcante de Souza Isadora Cristina Mendes Gomes Gustavo Fernandes Rosado Coêlho Ciliana Regina Colombo	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
ANÁLISE ERGONÔMICA DO TRABALHO NUMA EMPRESA RECUPERADA POR TRABALHADORES: UMA EXPERIÊNCIA PARA O EXERCÍCIO DA INDISSOCIABILIDADE ENSINO-PESQUISA-EXTENSÃO	
Beatriz Mota Castro de Abreu Alice Oliveira Fernandes Tarcila Mantovan Atolini	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>47</b>
PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE BUSCA E ARMAZENAGEM DE MATERIAIS PARA FINS DIDÁTICOS	
Walber Márcio Araújo Moraes Wesley de Almeida Souto	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7391922045</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 58**

LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO DE ROBÓTICA BÁSICA APLICADA NO ENSINO DE MATEMÁTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL

Márcio Mendonça  
Lucas Botoni de Souza  
Rodrigo Henrique Cunha Palácios  
Paulo Henrique Arizono Lima  
Marília Gabriela de Souza Fabri  
José Augusto Fabri

**DOI 10.22533/at.ed.7391922046**

**CAPÍTULO 7 ..... 71**

ROBÓTICA EDUCACIONAL NA ENGENHARIA – SUMÔ DE ROBÔS

Alessandro Bogila  
Denis Borg  
Fernando Deluno Garcia  
Ivan Luiz de Camargo Barros Moreira  
Joel Rocha Pinto  
Thales Prini Franchi  
Thiago Prini Franchi

**DOI 10.22533/at.ed.7391922047**

**CAPÍTULO 8 ..... 84**

BR.INO: UMA FERRAMENTA PARA ENSINO DE PROGRAMAÇÃO EM ARDUINO PARA APLICAÇÕES EM ROBÓTICA USANDO LINGUAGEM NATIVA

Gabriel Rodrigues Pacheco  
Mateus Berardo de Souza Terra  
Rafael Mascarenhas Dal Moro  
Víctor Rodrigues Pacheco  
Carlos Humberto Llanos

**DOI 10.22533/at.ed.7391922048**

**CAPÍTULO 9 ..... 94**

RELATO DE EXPERIÊNCIA: USO DE TÉCNICAS GAMIFICAÇÃO NO ENSINO DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS

Caio Sanches Bentes  
Ronaldo de Freitas Zampolo

**DOI 10.22533/at.ed.7391922049**

**CAPÍTULO 10 ..... 105**

LABORATÓRIO DE SISTEMAS HIDRELÉTRICOS APLICADO À FORMAÇÃO DO ENGENHEIRO DE ENERGIA – GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E CONTROLE DE SISTEMAS DINÂMICOS

Kariston Dias Alves  
Rudi Henri Van Els

**DOI 10.22533/at.ed.73919220410**

**CAPÍTULO 11 ..... 117**

A IMPORTÂNCIA DO LABORATÓRIO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS E FORMAÇÃO DE ENGENHEIROS

Francisco Jeandson Rodrigues da Silva  
Douglas Aurélio Carvalho Costa  
Obed Leite Vieira  
Fellipe Souto Soares  
Paulo Cesar Marques de Carvalho  
Magna Livia Neco Rabelo  
Pollyana Rodrigues de Carvalho

**DOI 10.22533/at.ed.73919220411**

**CAPÍTULO 12 ..... 129**

AValiação DO USO DA TECNOLOGIA SOFTPLC PARA APRENDIZAGEM DE TÉCNICAS DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Deliene Costa Guimarães  
Reberth Carolino de Oliveira  
Renata Umbelino Rêgo

**DOI 10.22533/at.ed.73919220412**

**CAPÍTULO 13 ..... 140**

CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA DE BAIXO CUSTO PARA ENSINO DE SISTEMAS DE CONTROLE

Everton Machado  
Alexsandro dos Santos Silveira  
João Artur de Souza

**DOI 10.22533/at.ed.73919220413**

**CAPÍTULO 14 ..... 152**

PAINEL DIDÁTICO PARA ENSINO-APRENDIZAGEM DE INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA APLICADA À MANUTENÇÃO ELÉTRICA

Priscila Ribeiro Amorim de Almeida  
Pablo Rodrigues Muniz

**DOI 10.22533/at.ed.73919220414**

**CAPÍTULO 15 ..... 165**

PROPOSTA DE KIT DIDÁTICO PARA ESTUDO DE INTEGRIDADE DE SINAL EM PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Pablo Dutra da Silva  
Giovane Rodrigues de Oliveira  
Gustavo Melsi Floriani

**DOI 10.22533/at.ed.73919220415**

**CAPÍTULO 16 ..... 177**

ANÁLISE E ATENUAÇÃO DE RISCOS DE INCÊNDIOS E CHOQUE ELÉTRICO EM INSTALAÇÕES ELÉTRICAS EM MORÁDIAS DE BAIXA RENDA

Márcio Mendonça  
Lucas Botoni de Souza  
Rodrigo Henrique Cunha Palácios  
Giovanni Bruno Marquini Ribeiro  
Marco Antônio Ferreira Finocchio  
José Augusto Fabri

**DOI 10.22533/at.ed.73919220416**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>190</b>
SIMULADOR COMPUTACIONAL PARA ENSINO DE PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA	
Luiz Guilherme Riva Tonini Oureste Elias Batista Augusto César Rueda Medina Andrei Carlos Bastos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220417</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>203</b>
CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA CARACTERIZAÇÃO DE COMPRESSORES	
Alexsandro dos Santos Silveira João Artur de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>215</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM PÓRTICO INSTRUMENTADO DIDÁTICO	
Matheus Berghetti Albino Moura Guterres Alexsander Furtado Carneiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>226</b>
AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE VERIFICAÇÃO DE PERFIS DE AÇO LAMINADO SOLICITADOS À FLEXÃO NORMAL SIMPLES E AXIALMENTE CONFORME CRITÉRIOS DA ABNT NBR 8800:2008	
Lucas Tarlau Balieiro Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro Roberto Racanicchi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>241</b>
ENSAIO DE FLEXÃO DE UMA VIGA COMO FERRAMENTA PARA O ENSINO DE TRANSFORMAÇÕES DE TENSÕES	
Bruno Eizo Higaki Fernando Cesar Dias Ribeiro Marcello Cherem	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220421</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>251</b>
UTILIZAÇÃO DE PROJETOS DE DIMENSIONAMENTO DE ADUTORAS E CANAIS NA DISCIPLINA HIDRÁULICA DO CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL	
Kelliany Medeiros Costa José Leandro da Silva Duarte Maria Leandra Madeiro de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220422</b>	
<b>CAPÍTULO 23</b> .....	<b>259</b>
MEDIÇÃO DA PRODUTIVIDADE DA EQUIPE DE MANUTENÇÃO ATRAVÉS DA INOVADORA METODOLOGIA SIX SIGMA: UM ESTUDO EMPÍRICO	
André Luis Martins de Souza Pedro de Freitas Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.73919220423</b>	

<b>CAPÍTULO 24 .....</b>	<b>287</b>
UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DE DEFORMAÇÕES EM PAINÉIS DE MADEIRA DE <i>PINUS OCCARPA</i>	
Eduardo Hélio de Novais Miranda	
Rodrigo Allan Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.73919220424	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES.....</b>	<b>295</b>

## AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE VERIFICAÇÃO DE PERFIS DE AÇO LAMINADO SOLICITADOS À FLEXÃO NORMAL SIMPLES E AXIALMENTE CONFORME CRITÉRIOS DA ABNT NBR 8800:2008

**Lucas Tarlau Balieiro**

Universidade Brasil

Fernandópolis – São Paulo (SP)

**Marcelo Rodrigo de Matos Pedreiro**

Universidade Brasil

Fernandópolis – São Paulo (SP)

**Roberto Racanicchi**

Universidade Brasil

Fernandópolis – São Paulo (SP)

**RESUMO:** A automatização de procedimentos técnicos de engenharia vem em crescimento gradativo a cada ano, onde junto ao avanço tecnológico surgem novas ferramentas cada vez mais surpreendentes e inovadoras para apoio acadêmico e profissional. Rotinas computacionais que surgem e tornam o trabalho mais rápido e efetivo são de fundamental importância, garantindo menor dispêndio de tempo para a execução de análises e maior eficiência nos resultados obtidos. O conhecimento técnico é fundamental, e nada o substitui, porém, a utilização de aplicativos automatizados como apoio no decorrer da elaboração das atividades se torna uma ferramenta importante e prática. Este trabalho apresentará o desenvolvimento de um aplicativo para verificação de perfis de aço laminado solicitados a esforços axiais (tração

e compressão) e de flexão normal simples conforme os critérios estabelecidos pela norma técnica ABNT NBR 8800:2008 através de rotinas computacionais desenvolvidas em linguagem de programação Visual Basic. O aplicativo servirá de apoio no estudo de perfis de aço laminado da disciplina de estruturas metálicas oferecida pelo curso de graduação em engenharia civil da Universidade Brasil, possibilitando aos alunos o desenvolvimento de maior número de exemplos práticos, conferência junto aos resultados obtidos manualmente e diversos estudos de casos e soluções de problemas, devido às otimizações de tempo e resultados oferecidos pelo aplicativo, bem como também na verificação desses perfis para projetos de engenharia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Perfis Laminados, Estruturas Metálicas, Programação.

**ABSTRACT:** The automation of technical engineering procedures has been growing steadily every year, where technological advances have given rise to new and increasingly surprising tools for academic and professional support. Computational routines that arise and make the work faster and more effective are of fundamental importance, guaranteeing less expenditure of time for the execution of analyzes and greater efficiency in the obtained results. The technical knowledge is fundamental, and

nothing replaces it, however, the use of automated applications as support during the elaboration of activities becomes an important and practical tool. This work will present the development of an application for verification of rolled steel profiles required for axial stresses (traction and compression) and simple normal bending according to the criteria established by the technical standard ABNT NBR 8800: 2008 through computational routines developed in a programming language Visual Basic. The application will support the study of rolled steel profiles of the discipline of metallic structures offered by the undergraduate course in civil engineering of the University Brazil, enabling students to develop a greater number of practical examples, conference with the results obtained manually and several studies Of cases and problem solutions, due to the optimizations of time and results offered by the application, as well as in the verification of these profiles for engineering projects.

**KEYWORDS:** Rolled Profiles, Metal Structure, Programming.

## 1 | INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico dos últimos anos, a automatização de procedimentos técnicos de engenharia vem crescendo gradativamente. Nos dias atuais, existem softwares e aplicativos para aplicação em todas as áreas da engenharia.

A utilização de softwares e aplicativos nos procedimentos técnicos de engenharia garantem maior efetividade no trabalho a ser realizado, gerando um menor dispêndio de tempo, bem como também maior eficiência nos resultados obtidos.

Os profissionais da área de engenharia, professores e alunos devem investir em instrumentos tecnológicos, a fim de se tornarem cada vez mais informatizados, visando conseguir transformar e transmitir seus conhecimentos práticos para rotinas computacionais, aplicativos e softwares que tornem o seu meio de trabalho mais prático e efetivo.

Em um curso de engenharia ferramentas de cálculos e modelagem são indispensáveis. Muitas vezes para um melhor entendimento do problema é preciso trabalhar em um ambiente virtual, em que ele possa ser visualizado. A computação e os programas específicos de engenharia ajudam nessa tarefa, proporcionando aos alunos um melhor entendimento e fixação, por isso, são ferramentas poderosas no ensino de engenharia (PECK, 2004).

Quanto as estruturas metálicas, o crescimento da utilização de estruturas de aço na construção civil vem aumentando gradativamente a cada ano que se passa. O principal motivo para o crescimento se dá pelas diversas vantagens que o aço apresenta em relação a outros tipos de estruturas, como concreto e madeira, por exemplo. As estruturas metálicas de aço apresentam maior rapidez de execução, pois o processo executivo é através de montagem, ou seja, as peças podem vir prontas de fábrica para a obra. Outro fator importante, é que as estruturas constituídas por aço são relativamente leves e com altas condições de resistência, gerando assim um

excelente custo benefício.

No Brasil, a primeira norma que apresentava procedimentos técnicos para a elaboração de projeto e execução de estruturas de aço em perfis laminados e soldados foi a NB-14 (1958), que possuía embasamento técnico de dimensionamento pelo método das tensões admissíveis, o mais comum e efetivo da época. Este método baseava-se somente nos estudos das tensões. Entendia-se que a tensão resistente de um determinado elemento de aço nada mais era do que a divisão de seu limite de escoamento por um coeficiente de segurança interno previamente fixado, ignorando as perdas de linearidade físicas e geométrica das estruturas, considerando que as mesmas apresentariam ao longo de toda sua vida útil um comportamento perfeitamente linear. Este método seria abolido mais a frente devido a falta de considerações de fatores determinantes para a elaboração de um dimensionamento amplo e seguro.

Durante alguns anos o Brasil se deu por falta de uma norma que contemplasse todos os fatores necessários para um projeto estrutural adequado, o que acarretava na necessidade de buscar técnicas apresentadas em normas internacionais.

Com as dificuldades em processo crescente, especialistas se juntaram e deram início na realização de estudos para produzir uma norma técnica atualizada e com maior amplitude de especificações e procedimentos para a aplicação em projetos de estruturas de aço no Brasil, onde então foi publicada a ABNT NBR 8800:1986.

A principal inovação foi a substituição do método das tensões admissíveis pelo método dos estados-limites. Substituíam-se um método concentrado puramente em análise de tensões, por um método atualizado que contemplava diversos fatores condicionantes ao dimensionamento estrutural, como as verificações de serviço dos elementos, visando o controle das deformações.

No início dos anos 2000, especialistas começaram a discutir a atualização da ABNT NBR 8800:1986, devido ao surgimento de novas tecnologias e melhoramentos nos métodos já utilizados. O crescimento do mercado siderúrgico no Brasil contribuiu para a comercialização de novos produtos, os quais também faziam necessários de serem passíveis de estudo e especificações de aplicação. Foi formado um grupo de professores e pesquisadores de importantes universidades do Brasil, tendo como coordenador o Professor Ricardo Hallal Fakury e sub-coordenador o Professor Gilson Queiroz, para a elaboração do texto-base de revisão da norma. Durante os estudos, verificou-se que a norma de 1986 estava tão ultrapassada que não seria necessário ser efetuada apenas uma revisão, e sim a elaboração de uma nova norma.

No ano de 2003 foi concluído o texto-base, onde o mesmo foi encaminhado a ABNT para as formalizações de discussões e aprovação, bem como também disponibilizados a outros profissionais para juntar sugestões e opiniões sobre os novos procedimentos.

Foi formada uma comissão de estudos, onde elegeram coordenador o Professor Julio Fruchtengarten, sendo o Professor Ricardo Hallal Fakury, ex-coordenador, nomeado secretário.

Entre o fim de 2003 e início de 2004 foram realizadas diversas reuniões, bem como também colhidas e integradas aos estudos opiniões e sugestões de outros profissionais da área, onde o texto-base foi aprimorado até ser aprovado pela comissão de estudos em julho de 2008, o qual foi encaminhado a ABNT e editado em 25 de agosto de 2008 com validade a partir de 25 de setembro de 2008.

A ABNT NBR 8800:2008 trouxe condições que aprimoraram a efetividade e segurança da aplicabilidade dos procedimentos técnicos nos projetos estruturais, como o aprimoramento de processos de verificação e dimensionamento dos elementos com base no método dos estados-limites, maior amplitude de análise de estruturas mistas e ligações, entre outros diversos avanços técnicos que hoje são imprescindíveis para a prática segura de engenharia estrutural.

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de um aplicativo prático e de fácil manuseio para verificação de perfis de aço laminado solicitados aos esforços axiais (tração e compressão) e de flexão normal simples, conforme os critérios estabelecidos pela norma técnica ABNT NBR 8800:2008, que estabelece todo o embasamento a ser seguido para verificação deste tipo de perfil de aço. As rotinas computacionais implementadas no aplicativo foram desenvolvidas através do Microsoft Visual Basic 2010.

A ideia principal da utilização do aplicativo desenvolvido é servir de apoio para estudantes da disciplina de estruturas metálicas oferecida pelo curso de graduação em engenharia civil da Universidade Brasil no estudo de perfis de aço laminado e aplicações em projetos de estruturas metálicas constituídas por este tipo de perfil.

O uso do aplicativo torna o processo de verificação muito mais eficiente, podendo o estudante verificar vários tipos de perfis em diversas situações de solicitações e geometria, a fim de testar várias opções e conseguir de forma mais eficiente definir um elemento seguro e econômico para cada situação, agregando essa ferramenta no acompanhamento junto às soluções analíticas e conferência junto a seus resultados obtidos.

## **2 | EMBASAMENTO TEÓRICO E MÉTODOS DE CÁLCULO**

### **2.1 Propriedades dos aços estruturais**

Segundo a composição química, os aços utilizados em estruturas são divididos em dois grupos: aços-carbono e aços de baixa liga. Os dois tipos podem receber tratamentos térmicos que modificam suas propriedades mecânicas (PFEIL & PFEIL, 2009).

Os aços-carbono são constituídos por ferro puro, carbono (2,0%), manganês (1,65%), silício (0,60%) e cobre (0,35%). O teor de carbono aumenta a resistência do aço, porém, diminui sua capacidade de se deformar, tornando-o menos dúctil.

Os aços de baixa liga são aços-carbono que recebem o acréscimo de elementos químicos de liga, como cromo colúmbio, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio e zircônio, que ajudam a melhorar as propriedades mecânicas de acordo com as proporções utilizadas. Alguns dos elementos de liga acrescentados podem contribuir para o aumento da resistência do aço de tal forma, que com apenas 0,20% de teor de carbono (baixo carbono) pode-se obter resistências elevadas.

A ABNT NBR 8800:2008 apresenta os principais tipos de aço-carbono e aços de baixa liga para uso estrutural em perfis segundo os padrões da própria ABNT e da ASTM (American Society for Testing and Materials), indicando os valores de resistência ao escoamento ( $f_y$ ) e a ruptura ( $f_u$ ):

Denominação	Classificação	$f_y$ MPa	$f_u$ MPa
ABNT MR 250	Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral	250	400-560
ABNT AR 350	Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral	350	450
ABNT AR 350 COR	Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral	350	485
ABNT AR 415	Aços-carbono e microligados para uso estrutural e geral	415	520
ASTM A36	Aços-carbono	250	400-500
ASTM A500 (Grau A)	Aços-carbono	230	310
ASTM A500 (Grau B)	Aços-carbono	290	400
ASTM A572 (Grau 42)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	290	415
ASTM A572 (Grau 50)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	345	450
ASTM A572 (Grau 55)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	380	485
ASTM A572 (Grau 60)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	415	520
ASTM A572 (Grau 65)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	450	550
ASTM A992	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica	345-450	450
ASTM A242 (Grupo 1)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	345	485
ASTM A242 (Grupo 2)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	315	460
ASTM A242 (Grupo 3)	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	290	435

ASTM A588	Aços de baixa liga e alta resistência mecânica resistentes à corrosão atmosférica	345	485
ASTM A913 (Grau 50)	Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos	345	450
ASTM A913 (Grau60)	Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos	415	520
ASTM A913 (Grau 65)	Aços de baixa liga temperados e auto-revenidos	450	550

Tabela 1 – Aços para uso estrutural especificados pela ABNT NBR 8800:2008

Em condições normais de temperaturas ambientes, a ABNT NBR 8800:2008 especifica de modo geral os valores de propriedades mecânicas a serem considerados para efeito de cálculo com a utilização dos aços estruturais padronizados: Módulo de elasticidade longitudinal ( $E$ ) = 200000 MPa; Coeficiente de Poisson ( $\nu_a$ ) = 0,30; Módulo de elasticidade transversal ( $G$ ) = 77000 MPa; Coeficiente de dilatação térmica ( $\beta_a$ ) =  $1,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  e Massa específica ( $\rho_a$ ) = 7850 kg/m<sup>3</sup>.

## 2.2 Perfis metálicos

As estruturas metálicas de aço são constituídas por perfis, que são nada mais do que a seção transversal de uma determinada barra.

Os perfis de aço laminado são constituídos basicamente por quatro tipos de geometrias, mais comumente utilizadas nos projetos das obras de estruturas metálicas na construção civil: Cantoneira “Figura 1.a”, T “Figura 1.b”, U “Figura 1.c” e I “Figura 1.d”.



a) Cantoneira    b) Perfil T    c) Perfil U    d) Perfil I

Figura 1 - Tipos de perfis laminados comumente utilizados em projetos de obras de estruturas metálicas

Os perfis I são comercializados com a nomenclatura de perfis W e HP. Os perfis W são assim chamados, pois vem do padrão americano que utiliza a inicial “Wide” (Wide Shape Flange), que significa “Forma Larga da Flange”, ou seja, esses perfis apresentam altura maior em relação a largura. Os perfis HP são o contrário dos perfis W, possuindo a base maior em relação à altura. Ambos são idênticos, se diferenciando apenas na conformação geométrica da relação entre base e altura.

Outras geometrias podem ser obtidas através da união entre dois tipos de perfis, onde estes são denominados perfis compostos. Exemplos comuns de perfis compostos

são como nos casos de união entre dois perfis L resultando em um perfil T, ou no caso da união entre dois perfis U resultando em um perfil I.

Diferente dos perfis formados a frio, que possuem uma norma técnica específica referente as padronizações (ABNT NBR 6355), os perfis laminados não possuem norma para padronização. Porém, a fabricação e comercialização dos perfis laminados seguem uma padronização comercial, onde os catálogos comerciais apresentam perfis com dimensões e características geométricas equivalentes independente do fornecedor.

### 2.3 Verificação de barras submetidas à tração conforme a ABNT NBR 8800:2008

A força axial de tração resistente de cálculo,  $N_{t,Rd}$ , a ser usada no dimensionamento é o menor dos valores obtidos, considerando-se os estados-limites últimos de escoamento da seção bruta e ruptura da seção líquida, de acordo com as expressões a seguir:

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad (1)$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} \quad (2)$$

Onde:

$A_g$  é a área bruta da seção transversal da barra;

$A_e$  é a área líquida efetiva da seção transversal da barra;

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço;

$f_u$  é a resistência à ruptura do aço;

$\gamma_{a1}$  é o coeficiente de ponderação das resistências para escoamento, tomado igual a 1,10 para as condições mais críticas de combinações de esforços;

$\gamma_{a2}$  é o coeficiente de ponderação das resistências para ruptura, tomado igual a 1,35 para as condições mais críticas de combinações de esforços;

A área líquida efetiva  $A_e$  é obtida como o produto de  $A_n C_t$ , sendo  $A_n$  a área líquida da barra e  $C_t$  o coeficiente de redução da área líquida obtido com base no tipo de ligação da peça.

O coeficiente de redução da área líquida,  $C_t$ , quando se tratando de perfis, tem os seguintes valores:

a) Quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:

$$C_t = 1,00$$

b) Quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g} \quad (3)$$

Onde  $A_c$  é a área da seção transversal dos elementos conectados.

c) Nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas longitudinais ou ainda por uma combinação de soldas longitudinais e transversais para alguns (não todos) elementos da seção transversal (devendo, no entanto, ser usado 0,90 como limite superior, e não sendo permitido o uso de ligações que resultem em um valor inferior a 0,60):

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{\ell_c} \quad (4)$$

Onde:

$e_c$  é a excentricidade da ligação, igual à distância do centro geométrico da seção da barra ao plano de cisalhamento da ligação (em perfis com um plano de simetria, a ligação deve ser simétrica em relação a ele e são consideradas, para cálculo de  $C_t$ , duas barras fictícias e simétricas, cada uma correspondente a um plano de cisalhamento da ligação, por exemplo, duas seções T no caso de perfis I ou H ligados pelas mesas ou duas seções U, no caso desses perfis serem ligados pela alma);

$\ell_c$  é o comprimento efetivo da ligação (esse comprimento, nas ligações soldadas, é igual ao comprimento da solda na direção da força axial; nas ligações parafusadas é igual a distância do primeiro ao último parafuso da linha de furação com maior número de parafusos, na direção da força axial).

Para o estado-limite de serviço, recomenda-se que o índice de esbeltez das barras tracionadas, tomado como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente ( $L/r$ ), excetuando-se tirantes de barras redondas pré-tensionadas ou outras barras que tenham sido montadas com pré-tensão, não supere 300.

## 2.4 Verificação de barras submetidas à compressão conforme a ABNT NBR 8800:2008

A força axial de compressão resistente de cálculo,  $N_{c,Rd}$ , de uma barra, associada aos estados-limites últimos de instabilidade por flexão, por torção ou por flexo-torção e de flambagem local, deve ser determinada pela expressão:

$$N_{c,Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{al}} \quad (5)$$

Onde:

$\chi$  é o fator de redução associado à resistência à compressão;

$Q$  é o fator de redução total associado à flambagem local, cujo valor é obtido conforme Anexo F da ABNT NBR 8800:2008;

$A_g$  é a área bruta da seção transversal da barra;

$f_y$  é a resistência ao escoamento do aço;

$\gamma_{at}$  é o coeficiente de ponderação das resistências para escoamento, tomado igual a 1,10 para as condições mais críticas de combinações de esforços;

O fator de redução associado à resistência à compressão,  $\chi$ , é dado por:

$$\lambda_0 \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_0^2} \quad (6)$$

$$\lambda_0 > 1,5: \chi = 0,877 / \lambda_0^2 \quad (7)$$

Onde  $\lambda_0$  é o índice de esbeltez reduzido, dado por:

$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q A_g f_y}{N_e}}$	(8)
--	-----

Sendo  $N_e$  a força axial de flambagem elástica, obtida conforme o Anexo E da ABNT NBR 8800:2008. Nas análises para o estado-limite de serviço, o índice de esbeltez das barras comprimidas, tomado como a maior relação entre o produto  $KL$  e o raio de giração correspondente  $r$ , portanto  $KL/r$ , onde  $K$  é o coeficiente de flambagem que depende da vinculação do elemento na estrutura e  $L$  é o comprimento destravado, não deve ser superior a 200.

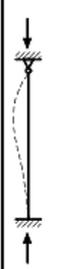
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<b>A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem</b>						
Valores teóricos de $K_x$ ou $K_y$	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	 Rotação e translação impedidas  Rotação livre, translação impedida  Rotação impedida, translação livre  Rotação e translação livres					

Tabela 2 – Coeficientes de flambagem por flexão conforme vinculação do elemento na estrutura

## 2.5 Verificação de barras submetidas à momento fletor e força cortante conforme a ABNT NBR 8800:2008

O momento fletor resistente de cálculo,  $M_{Rd}$ , deve ser dimensionado conforme o Anexo G da ABNT NBR 8800:2008, que trata de vigas de alma não esbelta, o que normalmente é o caso das vigas constituídas por perfis laminados.

A verificação do momento fletor resistente de cálculo atuante em perfis I, H e U, com flexão em torno de um eixo de simetria, consiste na análise dos estados-limites últimos de flambagem lateral com torção (FLT), flambagem local da mesa (FLM) e flambagem local da alma (FLA). No caso de perfis T, deve ser analisados os estados-limites FLT e FLM, junto ao escoamento da mesa tracionada.

Para assegurar a validade da análise elástica, o momento fletor resistente de cálculo não pode ser tomado maior que  $1,50 W_{f_y} \gamma_{a1}$ , sendo  $W$  o módulo de resistência elástico mínimo da seção transversal da barra em relação ao eixo de flexão.

Para a determinação do momento fletor resistente de cálculo para o estado limite FLT, pode ser necessário calcular um fator de modificação para o diagrama de momento fletor não uniforme ( $C_b$ ), para o comprimento destravado ( $L_b$ ) analisado, dado por:

$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} R_m \leq 3,0$	(9)
---	-----

Onde:

$M_{\max}$  é o valor do momento fletor máximo solicitante de cálculo, em módulo, no comprimento destravado;

$M_A$  é o valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a um quarto do comprimento destravado, medido a partir da extremidade da esquerda;

$M_B$  é o valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção central do comprimento destravado;

$M_C$  é o valor do momento fletor solicitante de cálculo, em módulo, na seção situada a três quartos do comprimento destravado, medido a partir da extremidade da esquerda;

$R_m$  é um parâmetro de monossimetria da seção transversal, tomado igual a 1,00 para seções fletidas em relação ao eixo de simetria.

Os valores da força cortante resistente de cálculo,  $V_{Rd}$ , das barras fletidas, são calculados considerando os estados-limites últimos de escoamento e flambagem por cisalhamento, de acordo com a geometria do perfil e plano de flexão conforme os itens 5.4.3.1 a 5.4.3.6 da ABNT NBR 8800:2008.

### 3 | O APLICATIVO PLAM.CALC

O aplicativo PLAM.Calc é o objetivo deste trabalho, sendo o aplicativo computacional para verificação de perfis de aço laminado solicitados à flexão normal simples e axialmente conforme as especificações da norma técnica ABNT NBR 8800:2008 desenvolvido através da linguagem de programação Visual Basic.

O PLAM.Calc efetua a automação dos processos de verificação de perfis de aço laminado do tipo W, HP, U, T e cantoneira de abas iguais, constituídos por todos os tipos de aço estrutural especificados pela ABNT e ASTM contidos na ABNT NBR 8800:2008.

As solicitações nas quais o aplicativo realiza as verificações conforme a ABNT NBR 8800:2008 são: tração, para todos os perfis; compressão, para todos os perfis; e flexão normal simples em torno dos eixos X e Y para os perfis W e HP (por se tratar de perfis com dupla simetria), em torno do eixo X para o perfil U (por ser o eixo que contém simetria) e em torno do eixo X para o perfil T, conforme as condições de tração e compressão na extremidade da alma oposta à mesa especificadas pela ABNT NBR 8800:2008. O perfil cantoneira de abas iguais não é analisado para solicitações quanto à flexão normal simples por se tratar de um perfil assimétrico. As verificações realizadas no estado-limite último são em combinações últimas normais.

A entrada de dados para os cálculos deve ser realizada através da informação da solicitação de cálculo e seus respectivos valores para verificação. Cabe ao usuário conter conhecimentos técnicos para levantar todos os carregamentos e obter as devidas solicitações de cálculo e suas condições a serem informadas para o aplicativo.

O PLAM.Calc efetua o procedimento de verificação de forma prática e efetiva de acordo com a inserção de dados do usuário, proporcionando condições para diversas verificações, contendo janelas dinâmicas para escolha do perfil, aço, solicitação e por fim a verificação, que avançam ao clicar no botão “Próximo”, com opção de retornar a janela anterior ao clicar no botão “Voltar”, no caso da necessidade da alteração de algum dado.

#### 3.1 Tela inicial

A tela inicial, “Figura 2”, contém as informações do aplicativo, dos autores e instituição, data e hora, e a escolha do tipo de perfil desejado para efetuar as verificações.

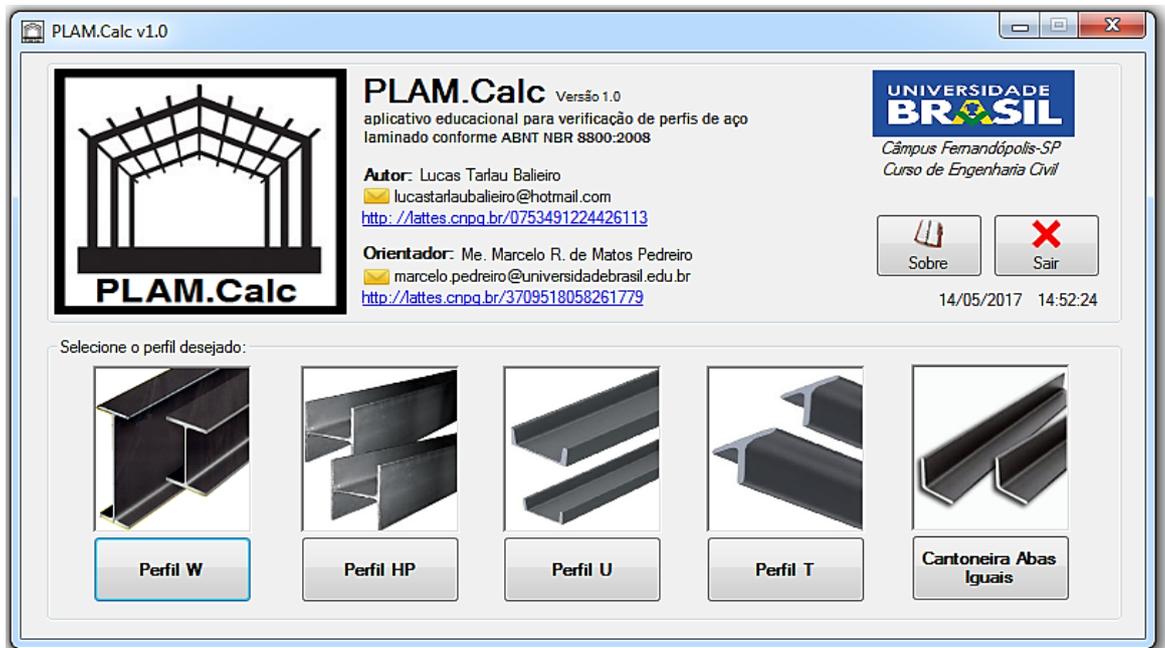


Figura 2 - Tela inicial do aplicativo PLAM.Calc

### 3.2 Tela de seleção da designação do perfil

Após selecionar o perfil escolhido, o usuário é direcionado para a tela de seleção da designação do respectivo perfil, “Figura 3”, que contém caixa de seleção para selecionar a designação desejada relativa ao perfil escolhido na tela inicial, onde são exibidos todos os valores das dimensões e características geométricas relacionadas à designação selecionada para o perfil em análise.

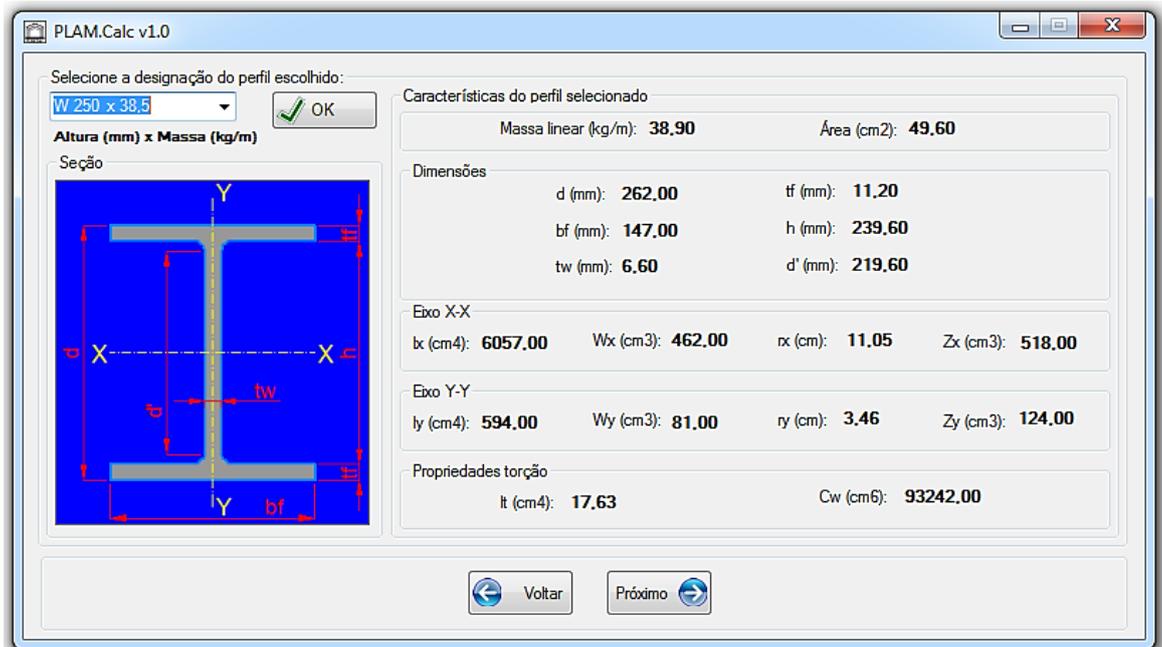


Figura 3 - Seleção da designação W 250x38,5 e apresentação das características geométricas e dimensões

### 3.3 Tela de seleção do aço

Na tela de seleção do aço, “Figura 4”, contém caixa de seleção para selecionar o aço estrutural constituinte do perfil escolhido.

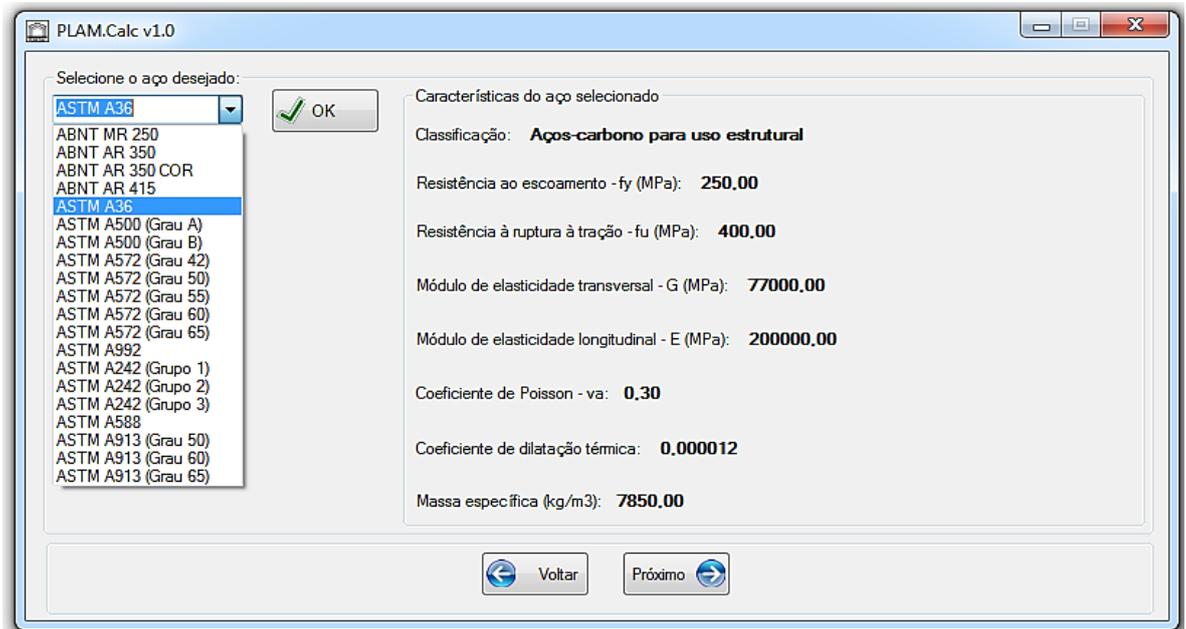


Figura 4 - Seleção do aço estrutural ASTM A36

### 3.4 Tela de seleção da solicitação e entrada de dados

A tela de seleção da solicitação e entrada de dados, “Figura 5”, contém caixa de seleção para selecionar a solicitação atuante e informar os valores e condições da solicitação.

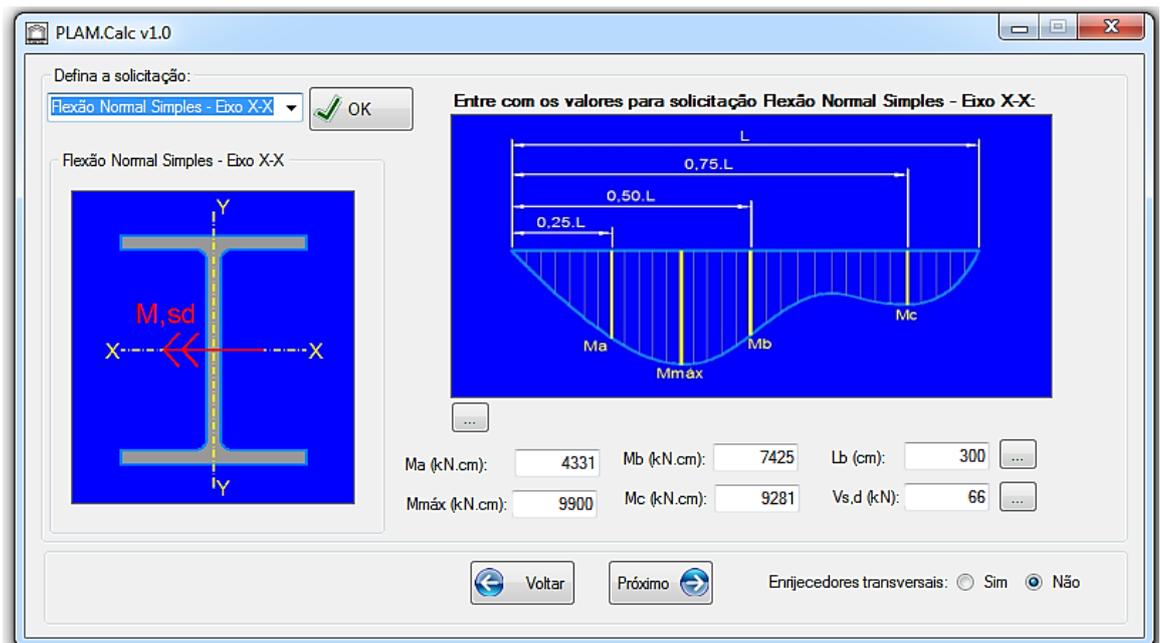


Figura 5 - Tela de seleção da solicitação Flexão Normal Simples - Eixo X-X e entrada dos valores e condições da respectiva solicitação

### 3.5 Tela de verificação

Na tela de verificação, “Figura 6”, são apresentados todos os dados de entrada do usuário, como o perfil escolhido e sua respectiva designação, o aço estrutural selecionado e os valores informados para as solicitações. Finalmente, ao clicar no botão “Verificar”, o aplicativo efetua todas as verificações pertinentes à solicitação selecionada de acordo com a ABNT NBR 8800:2008 e exibe os resultados finais de cálculo.

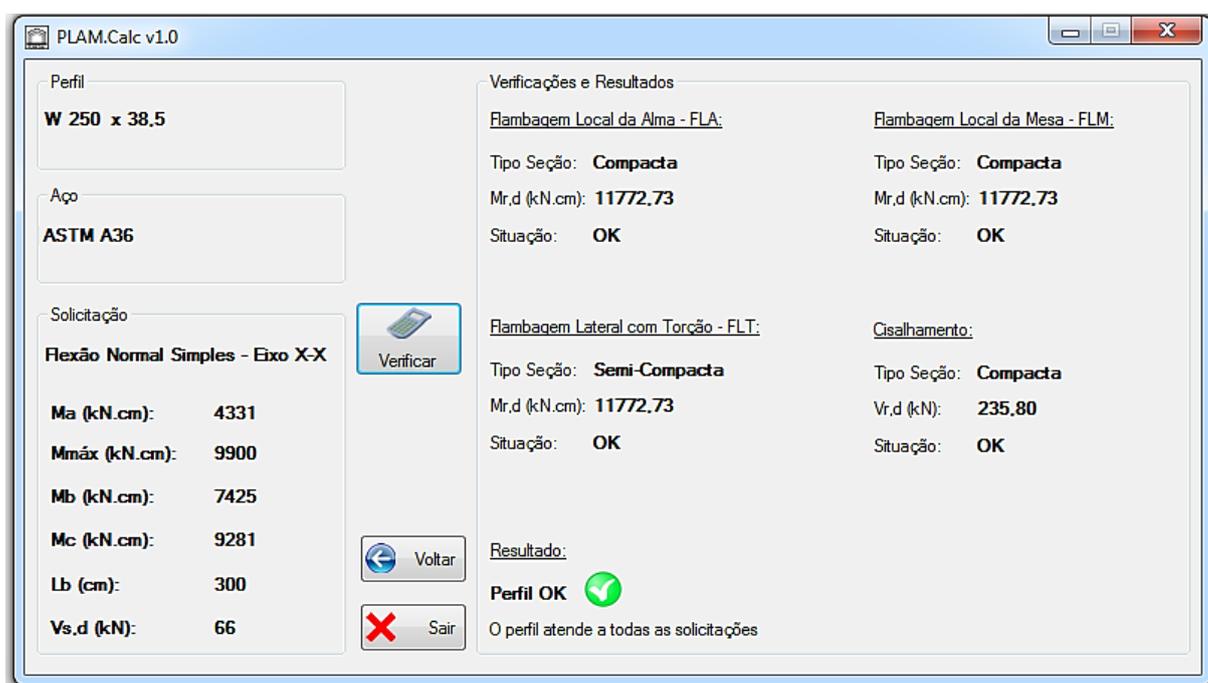


Figura 6 - Verificação e exibição dos resultados dos cálculos do perfil W 250x38,5 solicitado à Flexão Normal Simples - Eixo X-X

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os procedimentos de verificação no cálculo de estruturas metálicas consistem em cálculos onerosos e iterativos, onde a automatização dos cálculos permite maior condição de estudo para a definição de qual perfil se utilizar dependendo de cada tipo de solicitação, apresentando grande eficiência de que se no caso da verificação apresentar resultado negativo, poder substituir o perfil e efetuar nova verificação de forma efetiva e com menor dispêndio de tempo.

O aplicativo PLAM.Calc visa ser mais uma ferramenta tecnológica para a educação em engenharia, a ser utilizado como apoio na disciplina de estruturas metálicas oferecida pela Universidade Brasil, servindo de ferramenta de estudos aos alunos para resolução e análise de diversos exercícios práticos de dimensionamento de perfis laminados para as atividades propostas, devido à efetividade operacional da automação dos cálculos e conferência dos resultados obtidos junto à soluções analíticas manuais, bem como também em projetos de engenharia para obras de

estruturas metálicas em perfis laminados.

Tendo em vista a densidade de considerações referentes aos processos de verificações normativos, a utilização do aplicativo como recurso didático amplia as possibilidades dos estudos de caso em sala de aula, podendo o discente acompanhar os processos de sua análise analítica junto ao aplicativo, e ainda podendo comparar de forma experimental os resultados apresentados pelo programa nas aulas práticas.

Objetiva-se que sejam inseridas nas futuras versões do aplicativo PLAM.Calc, objeto de trabalhos futuros de Iniciação Científica ou afins, a verificação de perfis submetidos a mais tipos de solicitações, disponibilidade de maiores geometrias de perfis, verificações de ligações soldadas e parafusadas, e ainda, em versões mais sofisticadas, a verificação de sistemas estruturais reticulados de aço.

## REFERÊNCIAS

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

CHAMBERLAIN, Z.; FICANHA, R.; FABEANE, R. **Projeto e cálculo de estruturas de aço: Edifício industrial detalhado**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7.ed. São Paulo: ABM, 1996.

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

## SOBE OS ORGANIZADORES

**HENRIQUE AJUZ HOLZMANN** Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**MICHELI KUCKLA** Professora de Química na Rede Estadual do Paraná - Secretaria de Estado de Segurança do Paraná. Graduada em Licenciatura Química pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Especialista em Educação do Campo pela Faculdades Integradas do Vale do Ivaí. Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Doutoranda em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Trabalha com os temas relacionados ao Ensino de Ciência e Tecnologia e Sociedade.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-273-9

