

---

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

---

**Paulo Celso Russi de Carvalho**

Análise crítica de livros-texto de  
Resistência dos Materiais  
usados nas escolas de engenharia brasileiras



Rio Claro

2015

**Paulo Celso Russi de Carvalho**

**Análise crítica de livros-texto de  
Resistência dos Materiais  
usados nas escolas de engenharia brasileiras**

Tese apresentada ao Programa Pós-Graduação em Educação Matemática do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Educação Matemática.

**Orientador: Prof. Dr. Irineu Bicudo**

Rio Claro

2015

# DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa,  
Leonora Canguçu Lobo da Costa,  
minha amada “Nora”,  
companheira de todas as horas.

# AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à vida, que me proporcionou mais esta alegria;

agradeço às inúmeras pessoas que, de alguma forma, com um gesto, uma conversa, um conselho, um pequeno favor, e mesmo sem o saber, me ajudaram muito;

agradeço de modo especial:

ao Prof. Dr. Irineu Bicudo, pela orientação, pelos ensinamentos e por ter se tornado uma referência intelectual para mim por sua vasta cultura e sua grande erudição;

à minha esposa, Leonora, que me apoiou e incentivou em todos os momentos;

à Universidade Estadual Paulista - UNESP–RC, que me acolheu como aluno;

ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo - IFSP, que me propiciou as condições necessárias para a realização deste trabalho.

# EPÍGRAFE

(...) no século 21 as utopias parecem coisas de um passado remoto. Mesmo não gostando do mundo como está, parece que desistimos de mudá-lo. Vivemos ou em sociedades consumistas, ou burocráticas, ou fundamentalistas. Fingimos que a felicidade pode ser encontrada comprando mercadorias, obedecendo regras, ou acreditando em um improvável mundo pós-morte.

Jogamos no lixo milhares de anos de avanço civilizatório e nos transformamos em meros consumidores de softwares. Estamos perdendo a habilidade de ler textos complexos, nos conformamos com a pobreza da linguagem das redes sociais.

Em nome da interatividade sentimo-nos qualificados a ser banais. Sem leituras sérias, abdicamos do patrimônio cultural da humanidade, arduamente construído ao longo de milênios.

Não precisamos sequer de um Grande Irmão para ordenar a queima de livros: queimamos nossas estantes, por inúteis. E nem as substituímos por livros digitais, já que vamos deixar o saber apenas para os criadores de softwares.

Jaime Pinsky  
Professor, escritor e historiador

# RESUMO

Neste trabalho é defendida a tese de que os livros-texto de “Resistência dos Materiais” publicados no Brasil e adotados nas escolas de Engenharia brasileiras têm perdido qualidade. Para contextualizar o estudo, é feita uma breve revisão da história da “Resistência dos Materiais” e da história da Engenharia no Brasil. As pesquisas realizadas permitiram ao autor identificar o primeiro livro de “Resistência dos Materiais” publicado no Brasil, em 1887. Para evidenciar a evolução dos livros publicados ao longo desses 128 anos, é feita uma seleção e escolhido um livro representativo de cada uma das 13 décadas. Os livros selecionados são analisados quantitativa e qualitativamente. Para viabilizar a análise qualitativa, são feitos “recortes” em que aspectos específicos como qualidade do texto, didática, matemática utilizada etc. são minuciosamente avaliados. Os resultados são apresentados na forma de tabelas, gráficos e comentários.

**Palavras-chave:** Livros-texto; Resistência dos Materiais; Ensino de Engenharia; História da Resistência dos Materiais; História da Engenharia, Educação Matemática.

# ABSTRACT.

In this work is defended the thesis that the textbooks on "Strength of Materials" published in Brazil and adopted in Brazilian Engineering schools have lost quality. To contextualize the study, it is made a brief review of the history of "Strength of Materials" and the history of Engineering in Brazil. The research carried out allowed the author to identify the first book on "Strength of Materials" published in Brazil in 1887. In order to evidence the evolution of books published over these 128 years, a selection is made and a representative book of each one of these 13 decades is chosen. The selected books are analyzed quantitatively and qualitatively. To enable qualitative analysis, "clippings" are made in which specific aspects such as quality of the text, didactics, mathematics used etc. are thoroughly evaluated. The results are shown in the form of tables, graphs and comments.

**Keywords:** Textbooks; Strength of Materials; Engineering Education; History of Strength of Materials; History of Engineering; Mathematics Education.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. “RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS”: O NASCIMENTO DE UMA CIÊNCIA.....	19
2.1. Da pré-história à Antiguidade.....	19
2.1.1. Arquimedes.....	23
2.1.2. Marcus Vitruvius Polio.....	25
2.1.3. Heron de Alexandria.....	26
2.1.4. Pappus de Alexandria.....	27
2.2. A Idade Média.....	27
2.2.1. O império Islâmico.....	28
2.2.2. O surgimento das universidades.....	29
2.3. A Renascença.....	30
2.3.1. Leonardo da Vinci.....	31
2.4. Galileo Galilei.....	34
2.4.1. O livro de Galileo Galilei.....	37
2.5. O surgimento das escolas de engenharia na França.....	39
2.6. O livro de Pierre-Simon Girard.....	39
2.7. O livro de Claude-Louis Navier.....	41
2.7.1. Saint-Venant.....	41
2.8. O livro de Jean Résal.....	43
2.9. O surgimento das escolas de engenharia alemãs.....	44
2.10. O livro de August Föppl.....	46
2.11. O livro de Stephen Timoshenko.....	47
2.11.1. Biografia resumida de Timoshenko.....	50
2.11.2. Timoshenko e a Resistência dos Materiais.....	50
2.11.3. Prefácio da primeira edição de “Strength of Materials”.....	54
2.11.4. Prefácio da segunda edição de “Strength of Materials”.....	56
2.11.5. A tradução para o português do livro de Timoshenko.....	57
2.11.6. Prefácio do professor Antonio Alves de Noronha.....	58
3. A GENEALOGIA BRASILEIRA DO LIVRO-TEXTO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS.....	62
3.1. A educação no Brasil-Colônia (de 1500 a 1808).....	62



3.1.1.	As primeiras Aulas Militares no Brasil.....	65
3.2.	Brasil Reino Unido (de 1808 a 1822).....	72
3.3.	Brasil Império (de 1822 a 1889).....	80
3.3.1.	A Escola Politécnica do Rio de Janeiro.....	82
3.3.2.	O Instituto Militar de Engenharia – IME.....	83
3.3.3.	A Escola de Minas de Ouro Preto.....	84
3.3.4.	O primeiro livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil.....	87
3.4.	Brasil República (de 1889 aos dias atuais).....	88
3.4.1.	O segundo livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil.....	89
3.4.2.	Antonio Francisco de Paula Souza e a Escola Politécnica de São Paulo.....	90
3.4.3.	O nascimento da Escola Politécnica de São Paulo.....	92
3.4.4.	O livro de Paula Souza: Resistencia dos Materiaes e Graphostatica.....	95
3.4.5.	A Escola de Engenharia Mackenzie.....	96
3.4.6.	Augusto de Brito Belford Roxo e a Politécnica do Rio de Janeiro.....	97
3.4.7.	O livro de Belfod Roxo.....	100
3.4.8.	Segunda edição do livro de Belford Roxo.....	103
3.4.9.	Oscar Machado de Almeida.....	104
3.4.10.	Flavio Suplicy de Lacerda.....	105
4.	ANÁLISE CRÍTICA DE LIVROS-TEXTO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS USADOS NAS ESCOLAS DE ENGENHARIA BRASILEIRAS.....	109
4.1.	Critério adotado para a seleção dos livros a serem analisados.....	109
4.2.	“Duas novas ciências”.....	111
4.3.	“Résumé des leçons”.....	115
4.4.	Método de avaliação.....	119
4.5.	Livro 1: “Tratado de Mecanica applicada á Resistencia dos Materiaes”.....	121
4.6.	Livro 2: “Resistencia dos Materiaes”.....	131
4.7.	Livro 3: “Resistencia dos Materiaes e Grapho-Estatica”.....	139
4.8.	Livro 4: “Lições de Resistencia dos Materiaes”.....	152
4.9.	Livro 5: “Graphostatica e Resistencia dos Materiais”.....	160
4.10.	Livro 6: “Resistência dos Materiais”.....	172
4.11.1.	Livro 7 (a): “Resistência dos Materiais – Tensões”.....	181
4.11.2.	Livro 7 (b): “Vigas simples e isostáticas”.....	183
4.11.3.	Livro 7 (a): “Resistência dos Materiais – Tensões”.....	187
4.11.4.	Livro 7 (c): “Resistência dos Materiais – Deformações I”.....	192
4.12.	Livro 8: “Resistência dos Materiais”.....	199
4.13.	Livro 9: “Curso de Resistência dos Materiais”.....	209

5.	Livro 10: “Mecânica dos Sólidos”.....	225
4.15.	Livro 11: “Resistência dos Materiais”.....	236
4.16.	Livro 12: “Resistência dos Materiais”.....	245
4.17.	Livro 13: “Mecânica dos Materiais”.....	268
5.	TABELAS.....	294
5.1.	Tabela com dados numéricos dos livros analisados.....	295
5.2.	Tabela de avaliações dos livros.....	296
5.3.	Tabela de classificação dos livros de acordo com a avaliação.....	297
6.	GRÁFICOS.....	298
6.1.	Gráfico de avaliação dos livros.....	299
6.2.	Evolução do número de páginas dos livros (N).....	300
6.3.	Evolução do número de problemas propostos nos livros.....	301
6.4.	Evolução do número de problemas resolvidos nos livros.....	302
6.5.	Evolução do número de figuras nos livros.....	303
6.6.	Evolução do número de páginas em que o Cálculo Diferencial e Integral é usado.....	304
6.7.	Evolução do número de notas de rodapé encontradas nos livros.....	305
6.8.	Evolução do número de autores referidos nos livros.....	306
6.9.	Evolução do número de referências bibliográficas apresentadas nos livros.....	307
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO.....	308
	BIBLIOGRAFIA.....	

# EXPLICAÇÕES PRELIMINARES

Mecânica é a arte de descrever fenômenos da natureza, que envolvam forças e movimentos, através de equações matemáticas, ou, segundo o dicionário Houaiss, é o “ramo da física que estuda o comportamento de sistemas (como os de equilíbrio ou movimento dos corpos) submetidos à ação de uma ou mais forças”.

Dentre as diversas subdivisões da Mecânica, consideraremos esta:

- **Mecânica dos Fluidos**, ciência que estuda o comportamento dos materiais gasosos e dos materiais líquidos;
- **Mecânica dos Sólidos**, ciência que estuda o comportamento dos materiais sólidos.

Neste trabalho, interessar-nos-emos pela Mecânica dos Sólidos que, simplificada, é a ciência que, com o uso da Matemática, deverá responder as seguintes questões:

- dado um sólido, seja sobre ele aplicada uma força, ou diversas forças. Como esse sólido se comportará sob a ação desse carregamento? Ele se romperá? Como será sua deformação?

ou:

- qual deveria ser a geometria de uma estrutura para suportar determinada carga e apresentar um comportamento determinado?

O nome “Resistência dos Materiais” teria sido adotado a partir do livro “Résistance des Solides”, escrito por Pierre-Simon Girard, publicado em 1798. De “Résistance des Solides” teria se transformado em “Résistance des Matériaux Solides” e, em seguida, simplificado para “Résistance des Matériaux”.

Neste trabalho, ao grafarmos “**Resistência dos Materiais**”, com as primeiras letras maiúsculas, estaremos nos referindo à Mecânica dos Sólidos. Ao grafarmos “**resistência dos materiais**”, com todas as letras minúsculas, estaremos nos referindo à capacidade de suportar cargas de determinados materiais. Por exemplo: ‘a resistência dos materiais plásticos à tração, normalmente, é menor que a dos aços’.



# 1 INTRODUÇÃO

Nosso primeiro contato com a disciplina Resistência dos Materiais ocorreu em 1975, durante a graduação, no curso de Engenharia Mecânica. Em 1978, ministramos dois cursos, de curta duração, de Resistência dos Materiais e, em 1981, iniciamos a carreira de Professor de Engenharia. Ao longo desses quarenta anos, observamos grandes mudanças nos livros-texto de Resistência dos Materiais: houve uma grande evolução na qualidade gráfica, um aparente aumento da preocupação com a didática e um notável empenho em tornar a matéria mais “palatável” aos alunos. Cremos que várias dessas iniciativas foram válidas e que, de fato, algumas delas facilitaram o ensino e a aprendizagem da Resistência dos Materiais. Entretanto, ao compararmos livros de décadas passadas com livros de hoje, observamos uma tendência à “infantilização”, na forma como a disciplina é apresentada, e uma perda preocupante de conteúdo matemático.

O incômodo e o inconformismo que essas observações vinham nos causando, ao longo de décadas, atingiram o ponto máximo em 2007, ao tomarmos contato com o livro “Resistência dos Materiais”, de R. C. Hibbeler, autor americano, traduzido para o português. A leitura desse livro deixou-nos indignados. Naquele momento, a nossa pergunta foi: como é possível que um livro de tão baixa qualidade tenha sido trazido para o Brasil e esteja sendo adotado em escolas de engenharia? Ali ficou claro que não poderíamos nos omitir e assim começou a nascer este trabalho.

Alguns dos aspectos que têm chamado nossa atenção nos livros-texto de Resistência dos Materiais atuais são:

- a quantidade de figuras, muitíssimo maior que em livros do passado;
- o desaparecimento das referências bibliográficas, das notas de rodapé, das citações, da atribuição de créditos a outros autores, das notas e comentários dos tradutores e dos revisores;
- o desaparecimento do “espírito científico”;
- o incrível aumento do número de exercícios;
- a padronização e uniformização dos textos;
- o monopólio editorial americano;
- o declínio da Matemática.

Nos livros-texto de Resistência dos Materiais atuais, vemos o leitor sendo tratado com uma condescendência que não se observa nos livros mais antigos. Isso se evidencia, por exemplo, no número de figuras: tem-se a impressão de que todas as frases e todos os conceitos precisam ser traduzidos por figuras. Tratando-se da formação de alunos universitários, futuros engenheiros, dos quais esperaríamos um mínimo de maturidade e percepção espacial, em alguns casos as figuras são primárias e infantis, além de, eventualmente, apresentarem erros inaceitáveis. Parece-nos, também, que a lógica dos autores é: *sem a explicação gráfica o leitor será incapaz de compreender o texto.*

Certamente não somos contrários a um livro bem ilustrado. Não se trata disso. Nossa crítica é em relação ao uso abusivo, inconsequente, inadequado que, com frequência, tem sido feito dos recursos gráficos. Consideramos que seja parte fundamental da formação do engenheiro o exercício de “enxergar” os problemas. Ao contrário, parece-nos que essa oportunidade de desenvolvimento intelectual está sendo subtraída dos atuais livros-texto.

Outra mudança que vem ocorrendo nos livros-texto de Resistência dos Materiais é o desaparecimento das citações, das notas de rodapé, das referências bibliográficas, da

atribuição de crédito aos autores originais. Essas ausências transformam os livros em obras sem lastro. As informações, os conceitos, as deduções “brotam do nada”. Um estudante que esteja se iniciando na disciplina poderia se perguntar: “de onde veio isso tudo?”; “como se chegou a essa teoria?”, ficando privado de informações absolutamente relevantes e essenciais para a contextualização e o aprofundamento do seu estudo.

Num curso de engenharia, o estudante deveria ser formado para pensar e agir segundo o “método científico”, o qual, entre outras características, pressupõe uma transmissão honesta e clara do conhecimento, ou seja, é fundamental que os créditos sejam atribuídos a quem de direito e que as fontes sejam citadas. Ao escrever um livro-texto de Resistência dos Materiais, o autor certamente se valerá de outras obras, de outros autores, de outros pesquisadores, os quais, obrigatoriamente, devem ser citados. Nem mesmo Galileo Galilei, autor do primeiro livro de Resistência dos Materiais, deixou de fazer inúmeras referências a autores que o precederam e nos quais fundamentou seus estudos.

Assim, o leitor dos livros-texto atuais é mantido alheio ao fluxo histórico do desenvolvimento científico.

É certo que nos últimos cinquenta anos o mundo passou por enormes transformações e o nosso viver foi profundamente modificado. Assim, não seria razoável imaginar que a educação e, particularmente, os livros-texto se mantivessem inalterados, à margem dessas transformações. A “era da informática”, na qual vivemos, impôs uma revisão de conceitos, em especial daqueles relativos às atividades de ensino e aprendizagem. Professores mais velhos, como no nosso caso, têm sido obrigados a reconsiderar muito do que tinham como certo.

Das transformações que têm ocorrido, as mais impressionantes, as mais assustadoras, são, para nós, a “aceleração da vida” e a nossa dependência quase que total da informática: o aumento contínuo da velocidade com que inúmeras tarefas são realizadas e a conseqüente mudança na nossa percepção em relação à passagem do tempo. Vivemos, repetindo Aldous Huxley, num “admirável mundo novo” e sentimo-nos, usando as palavras que Sérgio Buarque de Holanda usou num outro contexto, “desterrados em nossa própria terra”.

Especificamente, em relação à formação dos novos engenheiros, se o advento da informática trouxe indiscutíveis benefícios, há alguns aspectos preocupantes. Em 1984, o Professor Henry Petroski, da Duke University, dizia:

(...) (during the 1970s) (...) the vast majority of faculty members did not ask where all those digits the calculator could display were going to come from or go to; they did not ask if the students were going to continue to appreciate the approximate nature of engineering answers, and they did not ask whether students would lose their feel for the decimal point if the calculator handled it all the time. Now, a decade after the calculator displaced the slide rule, we are beginning to ask these questions, but we are asking them not about the calculator but about the personal computer. And the reason these questions are being asked is that the assimilation of the calculator and the computers is virtually complete with the newer generations of engineers now leaving school, and the bad effects are beginning to surface. Some structural failures have been attributed to the use and misuse of the computer, and not only by recent graduates, and there is a real concern that its growing power and use will lead to other failures.<sup>1</sup> (PETROSKI, 1992, p. 193)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (...) (nos anos 1970) (...) a grande maioria dos professores não perguntava de onde vinham todos os dígitos que a calculadora podia exibir ou para onde eles iam; eles não perguntavam se os alunos continuavam a considerar a natureza aproximada das respostas de engenharia e se os estudantes perderiam sua sensibilidade em relação à posição do ponto decimal, já que a calculadora o “modificava” o tempo todo. Agora, uma década depois que a calculadora “tornou obsoleta” a régua de cálculo, estamos começando a fazer essas perguntas, mas não em relação às calculadoras e sim em relação aos computadores pessoais. E a razão pela qual essas perguntas estão sendo feitas é que a assimilação da calculadora e do computador pelas novas gerações de engenheiros, que estão saindo das escolas, está virtualmente completa e os efeitos ruins estão começando a vir à tona. Algumas falhas

Contudo, a despeito do turbilhão de transformações a que estamos expostos, nossas raízes permanecem. No contexto deste trabalho, isso significa que continuamos acreditando na importância dos livros na educação. Cremos que um livro usado na formação de um estudante deveria ampliar seu horizonte, despertar seu desejo de ir além, contribuir para o seu crescimento e para o seu amadurecimento, situando-o em relação à história. Se não for assim, o livro será apenas um manual de fórmulas, um receituário.

Nesse processo de mudança pelo qual passa o livro-texto, nessa transformação de *o que foi* para *o que é*, outro aspecto chama nossa atenção: durante os primeiros 450 anos da história deste país, estivemos sob a influência europeia. Desde as primeiras aulas dadas pelos padres jesuítas, no início do século XVI, até, aproximadamente, 1950, toda a nossa educação, toda a nossa ciência, toda a nossa bibliografia teve origem no velho continente, ou esteve sob sua influência. A transição da influência europeia para a influência dos Estados Unidos ocorre após a Segunda Guerra Mundial. A partir dali, a interferência dos Estados Unidos nos rumos do Brasil passa a ser contundente.

Está fora do escopo deste trabalho analisar a influência que os Estados Unidos vêm exercendo neste país há décadas, todavia, no que concerne especificamente à educação e, conseqüentemente, aos livros-texto e livros didáticos, cremos ser indispensáveis algumas considerações.

Em 1965, foram assinados, secretamente, acordos de cooperação entre Brasil e Estados Unidos, denominados acordos MEC-USAID<sup>3</sup>. Esses acordos, mantidos como “ultra confidenciais”, só se tornaram públicos, parcialmente, em 1966, após intensa pressão política e popular. Em relação a esse sigilo, o Prof. Lauro de Oliveira Lima<sup>4</sup> assim se manifestou, no prefácio do livro “BEABÁ dos MEC-USAID<sup>5</sup>”, de Márcio Moreira Alves<sup>6</sup>:

(...) Como podem os técnicos brasileiros pronunciar-se, com lealdade e objetividade, sobre matéria tão secreta? (...) É a primeira vez, que se saiba, que o planejamento educacional de um país é objeto de sigilo para o próprio povo que o utilizará... (...) Afinal, que há de tão grave nesses trabalhos que não pode chegar, amplamente, ao conhecimento do povo brasileiro? (ALVES, 1968, p. 7, 8)

Mais adiante, no mesmo prefácio, o Prof. Lima diz:

(...) a padronização dos armamentos e do treinamento militar pode levar, numa lógica brutal, à padronização dos sistemas escolares para que a cultura do ocidente possa ser programada, ciberneticamente, para a utilização de um único computador eletrônico... Se for plausível esta interpretação, facilmente se compreenderá que a escolha de “comissões de planejamento” esteja no mesmo nível político da escolha

---

estruturais têm sido atribuídas ao uso, e abuso, do computador, não apenas por recém-formados, e há uma preocupação real de que seu crescente poder [do computador] e seu uso cada vez maior leve a outras falhas.

<sup>2</sup> PETROSKI, H. *To engineer is human*. New York: 1<sup>st</sup>. Vintage Books ed., 1992.

<sup>3</sup> MEC: Ministério da Educação e Cultura.  
USAID: United States Agency for International Development.

<sup>4</sup> Lauro de Oliveira Lima (1921- 2013) foi um pedagogo brasileiro, conhecido pela sua atuação política na educação.

<sup>5</sup> ALVES, M. M. *BEABÁ dos MEC-USAID*. Rio de Janeiro: Edições Gernasa, 1968.

<sup>6</sup> Márcio Moreira Alves (1936 - 20091) foi um jornalista e político brasileiro.

de “missões militares” e que a uniformização dos livros didáticos (COLTED)<sup>7</sup> seja equivalente à padronização continental de armamentos e implementos bélicos.  
(id. *ibid.*, p. 9).

(...) [a COLTED – Comissão do livro técnico e do livro didático] foi criada para coordenar e executar as atividades desse Ministério [MEC], relacionadas com o aperfeiçoamento do livro técnico e didático. O Ministro da Educação e Cultura, Tarso Dutra, desenvolveu um Programa de dimensão nacional, cujo objetivo maior era a distribuição de livros a todos os estudantes nos três níveis de ensino (primário, secundário e superior). E para que fosse viabilizado esse projeto ambicioso, o MEC firmou um convênio com o Sindicato Nacional dos Editores de Livros (SNEL) e com a USAID. (KRAFZIK, 2006, p. 57)<sup>8</sup>.

Verificamos que a “padronização” dos livros-texto de Resistência dos Materiais realmente aconteceu. A tabela abaixo mostra os livros adotados hoje pela maioria das faculdades de engenharia no Brasil:

título	autor	origem
Mecânica dos Materiais <sup>9</sup>	Beer, Johnston, DeWolf, Mazurek <sup>10</sup>	americana
Mecânica dos Materiais	Gere, Goodno <sup>11</sup>	americana
Mecânica dos Materiais	Craig <sup>12</sup>	americana
Mecânica dos Materiais	Ugural <sup>13</sup>	americana
Mecânica dos Materiais	Riley <sup>14</sup>	americana
Resistência dos Materiais	Hibbeler <sup>15</sup>	americana

Tabela 1.

<sup>7</sup> COLTED: Comissão do livro técnico e do livro didático instituída pelo MEC em 04/10/1966, pelo Decreto nº 59.355, no governo do Presidente Castelo Branco.

<sup>8</sup> KRAFZIK, M. L. A. Acordo MEC / USAID – A Comissão do livro técnico e do livro didático – COLTED (1966 / 1971). Dissertação de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2006.

<sup>9</sup> Há alguns anos a designação “Resistência dos Materiais” vem sendo substituída por “Mecânica dos Materiais Sólidos” ou, simplesmente, “Mecânica dos Materiais” ou “Mecânica dos Sólidos”.

<sup>10</sup> BEER, F. P. et alii. Mecânica dos Materiais. 5ª ed. Porto Alegre : AMGH Editora Ltda., 2006.

<sup>11</sup> GERE, J. M. e GOODNO, B. J. Mecânica dos Materiais. Tradução da 7ª ed. norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

<sup>12</sup> CRAYG Jr., R. R. Mecânica dos Materiais. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2003.

<sup>13</sup> UGURAL, A. C. Mecânica dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

<sup>14</sup> RILEY, W. Mecânica dos Materiais. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.

<sup>15</sup> HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 7ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.



Creemos que seja pertinente perguntar: e os livros franceses, italianos, alemães e de tantos outros países? Fica evidente o monopólio americano. Acrescentemos o fato de que os livros listados acima têm, basicamente, as mesmas características e são, em sua essência, muito parecidos.

Observamos também que, nas últimas décadas, foram lançados diversos livros-texto de Resistência dos Materiais de autores brasileiros. Contudo, fica claro que esses livros tiveram e continuam tendo “vida curta”: em pouco tempo desaparecem das livrarias. Enquanto isso, alguns títulos da tabela 1 se perpetuam, por exemplo:

Beer-Johnston: lançado no Brasil em 1981, está na sua 5ª edição;

Hibbeler: lançado no Brasil em 2003, está na sua 7ª edição.

Voltemos ao livro de Márcio Moreira Alves:

É evidente que os propósitos de independência do Brasil conflitam com os interesses diretos dos Estados Unidos. É, portanto, claro que se a educação é um instrumento de independência, não pode ser ela planejada e dirigida pelo grande império de que nos procuramos libertar. Resulta que o planejamento educacional traçado através de acordos com a Embaixada Americana, que o financiou em grande parte e lhe emprestou o concurso preponderante de técnicos contratados pelo seu Governo, terá de ser dirigido pelos interesses norte-americanos e não pelos do Brasil.

(id. *ibid.*, p. 23).

É preciso que se tenha uma boa-fé beirando a idiotice para se imaginar que, estando os centros de decisão das grandes indústrias instaladas no Brasil fora do nosso País, pudessem ou quisessem elas determinar o desenvolvimento da Universidade brasileira no sentido de aquisição de conhecimentos científicos e tecnológicos independentes. (id. *ibid.*, p. 25).

As indústrias estrangeiras importam ciência e tecnologia de seus países de origem. Neles é que investem em pesquisa. No Brasil têm interesse apenas em investir na formação de gerentes e técnicos, capazes unicamente de aplicarem o know-how importado. Todo mundo sabe que são os conhecimentos técnicos e científicos a grande mola moderna de aceleração do desenvolvimento. Abrindo mão desta mola, o Brasil estaria simplesmente colocando o seu desenvolvimento na dependência das decisões políticas e econômicas dos países desenvolvidos.

(id. *ibid.*, p. 26).

Hoje, lendo as palavras de Márcio Moreira Alves, escritas em 1968, portanto há quase cinquenta anos, constatamos que elas foram proféticas: temos verificado na nossa prática docente e no acompanhamento de ex-alunos, hoje profissionais nas indústrias, que há décadas formamos engenheiros que, com raras exceções, não são mais do que administradores de sistemas de produção, sem qualquer acesso a tecnologias de ponta e sem a mínima condição de desenvolvê-las.

Citaremos dois exemplos da nossa região: temos em Piracicaba, SP, duas grandes empresas metalúrgicas multinacionais: a Caterpillar, fabricante de tratores americana, instalada na cidade há mais de três décadas, e a Hyundai, fabricante de automóveis sul-coreana, na cidade há alguns anos. As duas companhias empregam centenas de engenheiros

que, absolutamente, não têm acesso à tecnologia de fabricação de seus produtos. Se algum dia, por algum motivo, essas empresas deixarem o Brasil, nós não seremos capazes de fabricar seus tratores nem seus automóveis. Em termos de desenvolvimento tecnológico de ponta, para o Brasil, essas empresas não acrescentam nada.

E assim tem sido com nossos livros-texto: trazem-nos informações, mas pouco contribuem para nossa formação; somos impedidos de participar do “fluxo da ciência”. Estamos nos mantendo à margem da ciência, como meros espectadores, como cidadãos de terceira classe.

Se, como referência, considerarmos aquele que é tido como o primeiro livro-texto de Resistência dos Materiais: “*Traité Analytique de la Résistance des Solides*”, de Girard, escrito em 1798, teremos um livro com pouquíssimas ilustrações e no qual o Cálculo Integral e Diferencial é a ferramenta usada do início ao fim. Nos livros de hoje, raramente o Cálculo é usado!

E, assim, chegamos ao cerne do nosso trabalho. Nossa tese é: a Matemática está desaparecendo dos livros-texto de Resistência dos Materiais. Nossos livros ‘universitários’, hoje, tendem a ser o que, no passado, eram os livros do segundo grau.

Quanto mais remota for nossa referência, mais se evidenciará o declínio no nível da abordagem matemática no tratamento das questões da Resistência dos Materiais. Certamente, esse não é um caso isolado: faz parte de um conjunto bastante complexo de fatores no qual se evidencia a perda de qualidade da Educação no Brasil.

É nesse contexto que se inserem os novos livros-texto de Resistência dos Materiais: um contexto de “mercado”, em que o objetivo primordial é que o livro seja um produto “vendável”.

Neste trabalho, além de defender a tese de que a Matemática vem perdendo espaço e importância nos livros-texto de Resistência dos Materiais, nos propomos a estudar as transformações gerais por que têm passado tais obras. Isso implica uma revisão da história dos livros-texto de Resistência dos Materiais publicados no Brasil, o que, necessariamente, nos levará à história da Engenharia, à história da Mecânica e à história da Matemática.

Nossa convicção é: Resistência dos Materiais, assim como tantas outras disciplinas, só pode ser, de fato, aprendida com esforço e dedicação. São necessárias muitas horas de estudo concentrado, muitas horas de leitura e reflexão, de exercícios, de idas e vindas, de consultas a diferentes autores etc. Porém, essa forma de encarar o estudo está fora de moda. Ao longo de nossa, já longa, carreira docente temos conhecido alunos que não sabem o que significa sentar-se meia hora para ler e, até mesmo, alguns que jamais leram um livro. Assim, nesse clima “festivo”, em que estudar não é mais necessário e em que não há mais tempo nem disposição para tal, as editoras lançam novos livros e novas edições de livros conhecidos. Autores novos associam seus nomes a autores consagrados no passado e relançam antigos livros, mas em versões “mais leves”, “mais atuais”, “muito bem ilustrados”, “coloridos”, e a Matemática vai desaparecendo.

Com o passar dos anos, temos dado cada vez mais valor ao formalismo matemático. Cremos que uma sólida formação matemática seja essencial para que um engenheiro possa participar do desenvolvimento científico e tecnológico mundial. Sem essa formação, um engenheiro será apenas um técnico, sem condição de responder aos desafios da ciência e do desenvolvimento tecnológico.

Talvez seja um tênue vislumbre do significado das palavras inscritas na entrada da Academia de Platão: “não entre aquele que não souber Geometria”. Nossa visão, hoje, é a seguinte: as disciplinas dos cursos de engenharia, se não forem embasadas num sólido conhecimento de Matemática, serão como “castelos de areia”: podem ser belos, mas são efêmeros. E assim nos parecem os livros-texto atuais de Resistência dos Materiais: muito bonitos, mas, sem consistência.

Contudo, como disse o poeta Luiz Maurício Pragana dos Santos<sup>16</sup>:

Nada do que foi será  
De novo do jeito que já foi um dia  
Tudo passa  
Tudo sempre passará

A vida vem em ondas,  
Como um mar,  
Num indo e vindo infinito

Tudo que se vê não é  
Igual ao que a gente  
Viu há um segundo  
Tudo muda o tempo todo  
No mundo (...) (SANTOS, 1983)<sup>17</sup>

“A vida vem em ondas, como o mar”... Em seu livro “Ponto de Mutação”<sup>18</sup>, Fritjof Capra nos diz:

(...) parece que todas as civilizações passam por processos cíclicos semelhantes de gênese, crescimento, colapso e desintegração. O gráfico seguinte mostra esse padrão nas principais civilizações em torno do Mediterrâneo. (CAPRA, 1982, p. 24).

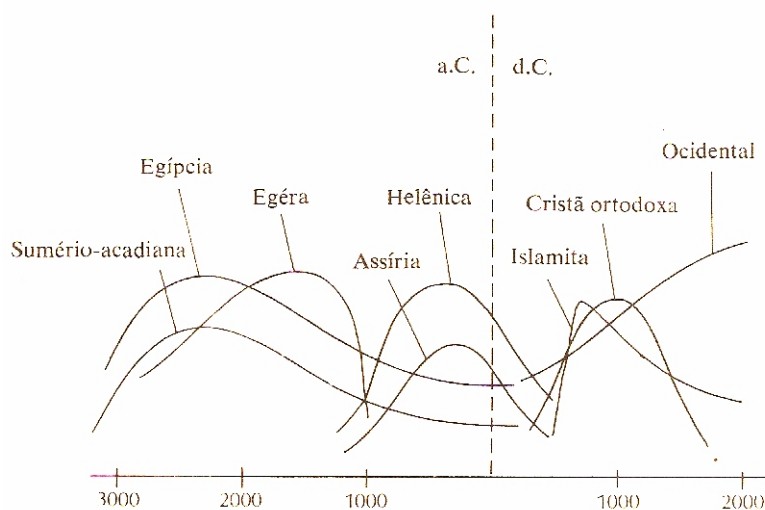


Fig. 1. Gráfico<sup>19</sup> de “O ponto de Mutação”, (id. *ibid.*, p. 25)

Parece-nos que nesses ciclos da vida estamos num ramo descendente da curva, um momento de declínio, particularmente em relação à educação. Há uma enorme preocupação

<sup>16</sup> Luiz Maurício Pragana dos Santos (1953), conhecido como Lulu Santos, é um cantor, compositor e guitarrista brasileiro.

<sup>17</sup> "Como uma Onda" é uma canção gravada por Lulu Santos em 1983, composta pelo próprio Lulu Santos e pelo jornalista e escritor Nelson Motta.

<sup>18</sup> CAPRA, F. O ponto de mutação. São Paulo: Editora Cultrix, 1982.

<sup>19</sup> “Esse gráfico não pretende dar uma representação exata das civilizações indicadas, mas foi desenhado meramente para ilustrar seus padrões gerais de desenvolvimento. Foram usadas datas aproximadas para o início, a culminação e o fim de cada civilização, mas a cada curva foi dada altura igual e arbitrária. Todas as curvas foram deslocadas verticalmente para garantir a clareza.” (id. *ibid.*, p. 411)

com “números”, com quantidades, com crescimento, enquanto perdemos qualidade. Nunca se publicou tanto quanto hoje, mas, com que qualidade?

No caso específico de livros-texto de Resistência dos Materiais, quais, dentre tantos existentes, representam algum avanço, têm realmente qualidade, apresentam algo novo, ou, pelo menos, mantém a qualidade de bons livros do passado? Ao contrário, antigos bons livros se perderam ou foram transformados em livros ruins, apesar de sua magnífica embalagem.

Como sói acontecer, nossas perguntas nos levam a mais perguntas:

- que credenciais têm os autores?
- quando escreve um “novo” livro-texto de Resistência dos Materiais, qual a motivação do autor?
- que critérios usam os professores das escolas de engenharia para adotar determinado livro-texto?

De modo geral, feitas as ressalvas de praxe, cremos que os engenheiros de muitas décadas atrás tinham uma formação com muito mais lastro que os engenheiros de hoje. É certo que temos hoje ferramentas com as quais nossos antepassados sequer sonharam, as quais nos dão a ilusão de termos evoluído. Mas, pensamos que nossos espíritos empobreceram.

Antes de chegarmos à análise dos livros-texto de Resistência dos Materiais, objetivo deste trabalho, abordaremos, mesmo que superficialmente, a história da Resistência dos Materiais, ciência que “nasceu” no século XVI, na Europa.

Considerando especificamente o Brasil, cremos que seja necessário estabelecer conexões entre a Educação, o nascimento das escolas de engenharia, as principais atividades da engenharia e o surgimento dos livros-textos de Resistência dos Materiais, temas que são fios entrelaçados de uma mesma trama. Assim surgirão os primeiros textos de Resistência dos Materiais escritos no Brasil, no início do século XX, os quais, juntamente com aqueles que os sucederam, nos propomos analisar.

## 2. “RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS”: O NASCIMENTO DE UMA CIÊNCIA.

### 2.1. Da pré-história à Antiguidade

Parece-nos aceitável supor que o “homem” tenha se interessado pela resistência dos materiais desde os primórdios de sua existência. Há cerca de dois milhões e meio de anos, o "Homo Habilis", ao optar, por exemplo, pela pedra como matéria prima para fabricar algumas de suas ferramentas, certamente o fez por perceber sua maior resistência em relação a outros materiais.

Africa provides the earliest archaeological evidence for systematic stone tool-making, with artefact assemblages recovered from the Gona region of Ethiopia in deposits radiometrically dated to 2.6–2.5 mya.<sup>20</sup>  
(BARHAM e MITCHELL, 2008, p. 60)<sup>21</sup>

Mesmo em eras muito mais recentes, a pedra continuou sendo o registro mais seguro da atividade humana:

We know more about stone tool technology simply because stone survives better in the archaeological record<sup>22</sup> (...) (id. ibid. p. 59)

Assim, os “documentos” mais antigos que atestam o conhecimento da resistência dos materiais não são escritos, são ferramentas e estruturas de pedra que venceram os milênios. Exemplo clássico são as pirâmides do Egito: aquelas estruturas não poderiam ter sido erigidas e não teriam resistido a mais de 4000 anos se seus construtores não tivessem conhecimentos relativos à resistência dos materiais. Entretanto, os registros dos inúmeros cálculos que teriam precedido sua construção se perderam.

The use of 4 on 3 (which has hypotenuse 5) in the Second Pyramid, and 20 on 21 (which has hypotenuse 29) in the Pyramid of Dahshur, seems to suggest that the square of the hypotenuse being equal to the squares of the two sides may have been known; particularly as we shall see that the use of squared quantities is strongly indicated in the Great Pyramid.<sup>23</sup>

(PETRIE, 1990, p. 68)<sup>24</sup>

<sup>20</sup> A África fornece as primeiras evidências arqueológicas de fabricação sistemática de ferramentas de pedra, com conjuntos de artefatos recuperados em [Yferze] Gona, região da Etiópia, em depósitos datados, através de medidas de radiação, de 2,6 a 2,5 milhões de anos.

<sup>21</sup> BARHAM, L. e MITCHELL, P. The first Africans – African archaeology from the earliest tool makers to most recent foragers. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008.

<sup>22</sup> Sabemos mais sobre a tecnologia das ferramentas de pedra simplesmente porque a pedra sobrevive melhor no [como] registro arqueológico.

<sup>23</sup> O uso de 4 e 3 [como lados de um triângulo](cuja hipotenusa é 5) na Segunda Pirâmide e 20 e 21 (cuja hipotenusa é 29) na Pirâmide de Dahshur, parece sugerir que o quadrado da hipotenusa sendo igual à [soma] dos quadrados dos [outros] dois lados deveria ser conhecido; particularmente, como veremos, o uso de quantidades elevadas ao quadrado é fortemente indicado na Grande Pirâmide.

<sup>24</sup> PETRIE, W. M. F. The pyramids and temples of Gizeh. London, England: Histories & Mysteries of Man Ltd., 1990.

The Great Pyramid contained about 2,300,000 stones, averaging 50x50x28 inches, or 2,5 tons each<sup>25</sup>. (id. ibid. p. 83)

Within a narrow margin of uncertainty in which actual measurement always differs from absolute mathematical exactness, we may therefore take it as reasonably settled that the Great Pyramid's sides are each nine thousand one hundred and forty of our inches long, and slope upward to a point originally five thousand eight hundred and twenty of the same inches in perpendicular height above the line of the pavement below. This gives us the vastest and highest stone building ever erected by human hands.<sup>26</sup> (SEISS, 1877, p. 33)<sup>27</sup>

Certamente, o conhecimento matemático dos antigos egípcios avançou bastante, entretanto, os registros manuscritos mais antigos que chegaram até os dias atuais são fragmentos de papiros dos quais os mais importantes são o “Papiro de Moscou” (~1850 a.C.) e o “Papiro Rhind” (~1650 a.C.) (TEIXEIRA; MARTINS, 2007, p. 7-8)<sup>28</sup>:

O “Papiro de Moscou” foi comprado no Egito, em 1893, pelo egiptólogo Vladimir Golenischev e ficou conhecido como Papiro de Golenischev. Em 1917, foi comprado pelo Museu Pushkin, em Moscou, onde se encontra atualmente, e passou a ser conhecido como “Papiro de Moscou”. Mede, aproximadamente, 5,5m de comprimento e 8 cm de largura e apresenta 25 problemas matemáticos.

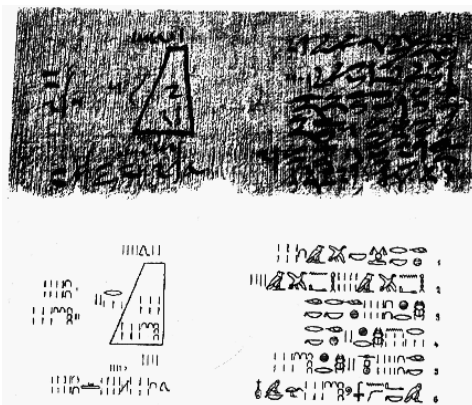


Figura 2. “Papiro de Moscou”.

Muito de nossa informação sobre a matemática egípcia vem do Papiro Rhind ou de Ahmes, o mais extenso documento matemático do antigo Egito.

(BOYER, 1974, p. 14)<sup>29</sup>

<sup>25</sup> A Grande Pirâmide tinha cerca de 2 300 000 pedras [cujas dimensões eram], em média, 1,3m x 1,3m x 0,7m, [pesando] 2,5 toneladas cada uma.

<sup>26</sup> Com uma estreita margem de incerteza, [que faz com que] a medição real sempre difira da absoluta exatidão matemática, podemos, portanto, assumir como razoavelmente estabelecido que os lados da Grande Pirâmide tenham o comprimento igual a nove mil, cento e quarenta de nossas polegadas [ $9140 \times 25,4 / 1000 = 232,2$  m] e inclinem-se para cima até um ponto originalmente a cinco mil, oitocentas e vinte das mesmas polegadas [ $5820 \times 25,4 / 1000 = 147,8$  m], na altura perpendicular, acima da linha do pavimento abaixo. Isso nos dá o maior e mais alto edifício de pedra já erigido por mãos humanas.

<sup>27</sup> SEISS, J. A. A Miracle in Stone: or The Great Pyramid of Egypt. Philadelphia, US: Porter & Coates, 1877.

<sup>28</sup> TEIXEIRA, M. V.; MARTINS, C. R. P. Resolução de Equações Algébricas por Radicais. Coleção História da Matemática para Professores. Guarapuava: Sociedade Brasileira de História da Matemática, 2007.

<sup>29</sup> BOYER, C. B. História da Matemática, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1974.

O “Papiro Rhind” foi descoberto em meados do século XIX, nas ruínas da cidade de Luxor, e foi comprado em uma loja de antiguidades egípcias, por Alexander Henry Rhind, entre 1855 e 1857, no Egito. Depois da morte de Rhind, em 1865, o papiro foi doado ao Museu Britânico, onde se encontra atualmente. Nele um escriba de nome Ahmes detalha a solução de 85 problemas de aritmética, frações, cálculo de áreas, volumes, progressões, repartições proporcionais, regra de três simples, equações lineares, trigonometria básica e geometria (ROBINS; SHUTE, 1987, p. 9)<sup>30</sup>.

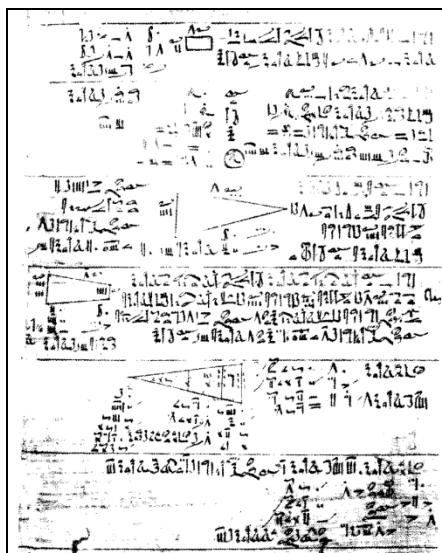


Figura 3. “Papiro Rhind”.

As informações contidas nesses papiros não nos esclarecem sobre conhecimentos específicos, relativos a materiais e sua resistência, sobre Mecânica, de maneira geral, nem sobre eventuais cálculos matemáticos que teriam viabilizado a construção das pirâmides. Assim, neste nosso campo de interesse, não temos um legado escrito da antiga civilização egípcia.

Avançemos, então.

Nas primeiras linhas de “A History of Mechanics”<sup>31</sup>, René Dugas<sup>32</sup> nos diz:

For lack of more ancient records, history of mechanics starts with Aristotle (384-322b.C) or, more accurately, with the author of the probably apocryphal treatise called Problems of Mechanics. This is, in fact, a text-book of practical mechanics devoted to the study of simple machines.<sup>33</sup> (id. *ibid.*, p. 19)

<sup>30</sup> ROBINS, G.; SHUTE, C. The Rhind Mathematical Papyrus: an Ancient Egyptian Text. New York: Rover Publications Inc., 1987.

<sup>31</sup> DUGAS, R. A History of Mechanics (Translation of: Histoire de la Mécanique). New York, US: Dover Publications, Inc., 1988.

<sup>32</sup> René François Dugas (1897-1957) engenheiro e historiador das ciências francês, conhecido por seu tratado de História da Mecânica, obra tida como referência nessa área.

<sup>33</sup> Por falta de registros mais antigos, a história da Mecânica começa com Aristóteles (384-322 a.C.) ou, mais precisamente, com o autor do tratado, provavelmente apócrifo, chamado Problemas de Mecânica. Isto é, na verdade, um livro-texto de mecânica prática dedicado ao estudo de máquinas simples\*.

\*A denominação “máquinas simples” refere-se a planos inclinados, cunhas, alavancas, parafusos, polias e cabos.

De leurs recherches profondes touchant les lois de l'équilibre, les anciens nous ont laissé des monuments peu nombreux, il est vrai, mais dignes d'une éternelle admiration. De ces monuments, les plus beaux, sans contredit, sont le livre consacré par Aristote aux questions mécaniques et les traités d'Archimède.<sup>34</sup>

(DUHEM, 1905, p. 5)<sup>35</sup>

Neste momento, quando damos um salto de aproximadamente dois mil anos e passamos do antigo Egito para a Civilização Helênica, cabe uma explicação: estamos em busca do nascimento de uma ciência que, no século XVIII, será chamada “Resistência dos Materiais”. Essa ciência é um dos ramos da Mecânica: ‘a arte de descrever fenômenos da natureza, que envolvam forças e movimentos, através de uma linguagem matemáticas’. Portanto, a história da Matemática, a história da Mecânica, a história da Engenharia e, conseqüentemente, a história da “Resistência dos Materiais” estão entrelaçadas e, em muitas passagens, são inseparáveis. Os atores dessas histórias, pelo menos até o século XIX, quando se acentua a tendência de especialização na Ciência, são os mesmos.

Outro aspecto que deve ser esclarecido neste ponto é: aquela ciência que será conhecida como “Resistência dos Materiais” terá seus fundamentos no ramo da Mecânica que trata do equilíbrio dos corpos, denominado “Estática”. Portanto, podemos considerar que o nascimento da Estática representa, neste estudo, o início do nosso caminhar. E, como demonstra Duhem, no primeiro capítulo de seu livro, aquele que deve ser considerado o fundador da Estática é Arquimedes:

Archimède est donc parvenu, en étudiant l'équilibre des graves, au même point qu'Aristote; mais il y est parvenu par une voie entièrement différente. Il n'a pas tiré ses principes des lois générales du mouvement; il a fait reposer l'édifice de sa théorie sur quelques lois simples et certaines relatives à l'équilibre. Il a ainsi fait de la science de l'équilibre une science autonome, qui ne doit rien aux autres branches de la Physique; il a constitué la Statique.<sup>36</sup> (id. *ibid.* p. 11)

Archimedes (287-212 B.C.) made of statics an autonomous theoretical science, based on postulates of experimental origin and afterwards supported by mathematically rigorous demonstrations (...)<sup>37</sup> (DUGAS, *op. cit.*, p. 24)

Assim, chegamos a Arquimedes, nosso ‘primeiro autor’.

<sup>34</sup> De suas pesquisas profundas, tocantes às leis de equilíbrio, os antigos nos deixaram monumentos, pouco numerosos, é verdade, mas dignos de uma eterna admiração. Desses monumentos, os mais belos, sem dúvida, são os livros consagrados por Aristóteles às questões mecânicas e os tratados de Arquimedes.

<sup>35</sup> DUHEM, P.\*\* *Les origenes de la statique*. Paris : Librairie Scientifique A. Hermann, 1905.

\*\*Pierre Maurice Marie Duhem (1861—1916), físico, químico, historiador e filósofo da ciência francês.

<sup>36</sup> Arquimedes chega, portanto, ao estudar o equilíbrio dos graves, ao mesmo ponto que Aristóteles; mas fê-lo por um caminho inteiramente diferente. Ele não tirou seus princípios das leis gerais do movimento; ele fez repousar o edifício de sua teoria sobre algumas leis simples e seguras relativas ao equilíbrio. Fez, assim, da ciência do equilíbrio uma ciência autônoma, que não deve nada aos outros ramos da Física; ele criou a Estática.

<sup>37</sup> Arquimedes (287-212 a.C.) fez da Estática uma ciência teórica autônoma, baseada em postulados de origem experimental e posteriormente apoiada por demonstrações matematicamente rigorosas (...)



### 2.1.1. Arquimedes

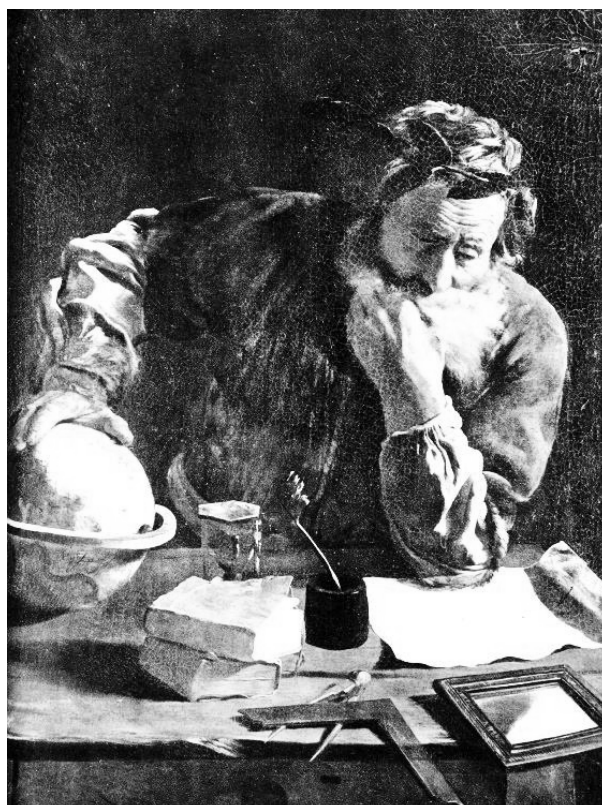


Figura 4. “Arquimedes”, pintura de 1620, de D. Fetti<sup>38</sup>

Arquimedes, por seus trabalhos que chegaram até os dias de hoje e pelo que se escreveu a seu respeito, ao longo dos séculos, é aquele, entre os grandes da antiga Grécia, cujos estudos mais estariam relacionados com a ciência chamada Resistência dos Materiais:

Os trabalhos de Arquimedes que sobreviveram eram endereçados ao astrônomo Conon de Samos (na época vivendo em Alexandria), ao discípulo de Conon, depois de sua morte, Dositeu de Pelúsia, ao rei Gelon, filho do rei Hierão de Siracusa, assim como a Erastóstenes, bibliotecário do Museu de Alexandria (...)

(ASSIS, 2008, p.15)<sup>39</sup>.

Embora esses trabalhos que chegaram até nós sejam de matemática e de física teórica, a fama de Arquimedes na antiguidade deve-se aos seus trabalhos como engenheiro e como construtor de máquinas de guerra (...) (id. ibid. p. 16).

Plutarco (46 – 126), em seu texto “Marcellus”<sup>40</sup>, nos conta a seguinte estória:

(...) Hiero being struck with amazement at this, and entreating him to make good this problem by actual experiment, and show some great weight moved by a small

<sup>38</sup> Domenico Fetti (1589-1623), pintor barroco, italiano.

<sup>39</sup> ASSIS, A. K. T. Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca. Montreal, Canadá: C. Roy Keys Inc., 2008.

<sup>40</sup> Plutarch. Marcellus. Texto traduzido para o inglês por John Dryden, disponível em <http://classics.mit.edu/Plutarch/marcellu.html>

engine, he fixed accordingly upon a ship of burden out of the king's arsenal, which could not be drawn out of the dock without great labor and many men; and, loading her with many passengers and a full freight, sitting himself the while far off, with no great endeavor, but only holding the head of the pulley in his hand and drawing the cords by degrees, he drew the ship in a straight line, as smoothly and evenly as if she had been in the sea.<sup>41</sup>

Essa passagem descrita por Plutarco, obviamente, não pode ser vista como o relato de um fato histórico e sim como uma lenda. Contudo, o importante é que ela se refere a Arquimedes como um engenheiro e construtor de máquinas capazes de elevar e movimentar grandes cargas. Isso implica o estudo da resistência de materiais: quaisquer que fossem as dimensões das máquinas projetadas e/ou construídas por Arquimedes e quaisquer que fossem as cargas a serem movimentadas por elas, necessariamente, ele teria estudado questões relativas à resistência dos materiais envolvidos no projeto. Entretanto, esses estudos relativos à resistência de materiais que, provavelmente, Arquimedes teria feito, não chegaram aos dias atuais.

Existem ainda algumas obras de Arquimedes mencionadas por ele ou por outros autores, mas que se encontram perdidas atualmente. Muitas vezes são mencionados por Arquimedes ou por outros autores antigos apenas os títulos e algumas vezes alguns resultados ou teoremas demonstrados nesses trabalhos. (id. *ibid.* p. 31)

Após essa afirmação, Assis apresenta uma lista de obras de Arquimedes que se perderam. Nessa lista, tendo em vista estudos relativos à resistência de materiais, destaca-se a obra “Livro das Colunas” ou “Livro dos Suportes”, a respeito do qual Assis diz:

(De acordo com Heron, Arquimedes tratou aqui de corpos apoiados em duas ou mais colunas e resolveu o problema de saber qual parte do peso total do corpo é suportada em cada pilar.) (id. *ibid.* p. 31).

Teríamos, então, nessa obra, um estudo típico de Estática e, supostamente, também, de Resistência dos Materiais.

Um dos maiores ‘especialistas em Arquimedes’ da atualidade, Reviel Netz<sup>42</sup>, nos diz:

(...) we need only to look at one of the most influential books of modern science, Galileo’s Discourses Concerning Two New Sciences. This book was published in 1638, by which time Archimedes had been dead for exactly 1,850 years—a very long time indeed. Yet throughout it, Galileo is in debt to Archimedes. Essentially, Galileo advances the two sciences of statics (how objects behave in rest) and dynamics (how objects behave in motion). For statics, Galileo’s principal tools are centers of gravity and the law of the balance. Galileo borrows both of these concepts — explicitly, always expressing his admiration—from Archimedes. (...) No other authority is as frequently quoted or quoted with equal reverence. Galileo essentially started out from where Archimedes left off, proceeding in the same direction as defined by his Greek predecessor. This is true not only of Galileo but also of the

---

<sup>41</sup> (...) Hierão ficou maravilhado com aquilo e pediu que [Arquimedes] o demonstrasse com um experimento real, movendo uma grande carga com uma pequena máquina. [Arquimedes] escolheu, então, um dos navios da frota do rei, o qual não poderia ser movimentado sem muito trabalho e por muitos homens. Carregando-o com muitos passageiros e carga total, sentou-se à distância e, sem grande esforço, segurando uma polia em suas mãos e movendo as cordas gradualmente, ele moveu o navio em linha reta, suave e uniformemente, como se estivesse no mar.

<sup>42</sup> Raviel Netz, nascido em Tel Aviv, Israel, em 1968, é professor de história da Matemática pré-moderna e Filosofia Clássica na Universidade de Stanford.

other great figures of the so-called “scientific revolution,” such as Leibniz, Huygens, Fermat, Descartes, and Newton. All of them were Archimedes’ children.<sup>43</sup>  
(NETZ e NOEL, 2007, p. 27)<sup>44</sup>

No contexto deste trabalho, as palavras de Netz, reproduzidas acima, são muito significativas, pois estabelecem, desde já, uma conexão entre Arquimedes e Galileu e seu livro “Duas Novas Ciências”, que, como veremos, constitui-se na “certidão de nascimento” da ‘Resistência dos Materiais’: “Galileu, essencialmente, começou onde Arquimedes parou”. Entretanto, nesta nossa busca pelas raízes da Resistência dos Materiais, não poderíamos simplesmente ignorar esses quase dois mil anos que separam Galileu de Arquimedes; não poderíamos simplesmente ‘saltar de Arquimedes para Galileu’, como se, nesse ínterim, a História tivesse hibernado. Como comenta Boyer:

Diz-se às vezes que os árabes fizeram pouco mais que pôr a ciência grega em “conservação a frio” à espera de que a Europa estivesse preparada para aceitá-la. Mas (...) pelo menos no caso da matemática, a tradição transmitida ao mundo latino nos séculos doze e treze era mais rica do que a que os iletrados conquistadores árabes encontraram no século sete. (BOYER, op. cit., p. 178).

Assim, aceitando que, entre Arquimedes e Galileu, há autores e fatos históricos que, sim, têm relação com o desenvolvimento da Resistência dos Materiais, façamos uma brevíssima e totalmente desprezível passagem por esses vinte séculos.

Antes de entrarmos na Idade Média, designação da época arbitrariamente compreendida entre a dissolução do Império Romano, no século V, e a tomada de Constantinopla pelos turcos, no século XV, devemos mencionar três autores que, têm seus nomes ligados às histórias das construções, da engenharia, da Matemática e da Mecânica: Vitruvius, Heron de Alexandria e Pappus de Alexandria.

### 2.1.2. Marcus Vitruvius Pollio

Conhecido entre os falantes do português como ‘Vitruvius’ (80 a.C.- 15 a.C.), foi um arquiteto e teórico da arquitetura romano. Escreveu a célebre *De Architectura Libri Decem*, conhecida entre nós simplesmente como “A arquitetura”<sup>45</sup>, em dez volumes. Nessa obra, único tratado arquitetônico da Antiguidade que chegou até nós, Vitruvius trata de inúmeros aspectos relacionados a projetos e construções civis, tais como materiais, proporções,

---

<sup>43</sup> (...) precisamos apenas olhar para um dos mais influentes livros da ciência moderna, *Discursos Acerca de Duas Novas Ciências*, de Galileu. Esse livro foi publicado em 1638, quando Arquimedes estava morto havia exatamente 1850 anos – sem dúvida, muito tempo. Contudo, [mesmo após todo esse tempo] Galileu está em dívida com Arquimedes. Essencialmente, Galileu faz avançar as duas ciências: a Estática (...) e a Dinâmica (...). Na Estática, as principais ferramentas de Galileu são os *centros de gravidade* e a *lei do equilíbrio* [ou da alavanca]. Galileu tomou emprestados esses conceitos – sempre expressando explicitamente sua admiração – de Arquimedes. (...) Nenhuma outra autoridade é citada com tanta frequência, ou com a mesma reverência. Galileu, essencialmente, começou onde Arquimedes parou, prosseguindo na mesma direção, definida por seu predecessor Grego. Isso é verdade não somente em relação a Galileu mas também em relação a outras grandes figuras da, assim chamada, “Revolução Científica”, tais como: Leibniz, Huygens, Fermat, Descartes e Newton. Todos eles foram “filhos de Arquimedes”.

<sup>44</sup> NETZ, R. ; NOEL, W. *The Archimedes Codex*. Philadelphia, US: Da Capo Press, 2007.

<sup>45</sup> Vitruvius *The ten books on architecture*. Oxford University Press, 1914.  
Obtido em: [http://academics.triton.edu/faculty/fheitzman/Vitruvius\\_\\_the\\_Ten\\_Books\\_on\\_Architecture.pdf](http://academics.triton.edu/faculty/fheitzman/Vitruvius__the_Ten_Books_on_Architecture.pdf)

máquinas, equipamentos etc. Entretanto, nesse trabalho a Resistência dos Materiais não está presente.

Durante toda a sua longa história, a Roma antiga pouco contribuiu para a ciência e a filosofia e menos ainda para a matemática. Tanto durante a república como durante o império, os romanos mostraram pouca inclinação para a investigação especulativa ou lógica. (...) Projetos notáveis de engenharia e monumentos arquitetônicos se relacionavam com os aspectos mais simples da ciência, mas os construtores romanos se satisfaziam com técnicas práticas elementares que requeriam muito pouco conhecimento da grande massa de pensamento grego. Quão pouco os romanos conheciam a ciência pode ser avaliado pelo *De architectura* de Vitruvius. (...) Faltava quase completamente aos romanos o interesse pela matemática, de modo que seus melhores esforços, como o de Vitruvius, por exemplo, não se comparavam aos mais fracos resultados surgidos na Grécia, exemplificados pela obra de Heron.  
(id. ibid. p. 29, 130)

### 2.1.3. Heron de Alexandria

Segundo os historiadores da Matemática, Heron de Alexandria (~100) teria sido um matemático-engenheiro, isto é, teria se interessado pelas aplicações da Matemática na solução de problemas de mecânica, tornando-se, assim, um personagem desta nossa história.

It seems that Hero of Alexandria lived at some time during the 2<sup>nd</sup> Century A.D. His treatise *Mechanics* discusses certain simple machines – the lever, pulley-block and the screw – alone or in various combinations, and is only available to us in the form of an Arabic version (...) <sup>46</sup> (DUGAS, op. cit., p. 32)

Além do enciclopedismo, os historiadores da ciência reconhecem outra característica alexandrina: a tentativa de matematização. Heron é um exemplo desse esforço, pois era um sábio letrado atuante na geometria e na mecânica. (...) Os textos atribuídos a Heron podem ser reconhecidos, em geral, por seu caráter pedagógico, mas são de um nível bastante elevado se comparados aos textos práticos que se ocupavam do cálculo, das operações com frações, das medidas e de outros problemas de inspiração comercial. Segundo Heron, era importante enriquecer a matemática prática, associando-a a resultados mais elaborados da tradição geométrica grega. Por isso seus escritos também levam em conta as obras de Euclides e Arquimedes. Essa mistura entre teoria e prática corresponde a uma evolução na formação dos técnicos, cuja elite devia conhecer os procedimentos clássicos da demonstração. Sendo assim, como afirma Vitrac<sup>47</sup>, os textos de Heron não indicam uma decadência da matemática pura e sim a elevação da matemática aplicada a um nível superior.  
(ROQUE, 2012, p. 225) <sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> Parece que Heron de Alexandria, viveu em alguma época durante o século II. Seu tratado *Mecânica* discute certas máquinas simples – alavanca, polia, parafuso – isoladamente ou em várias combinações e está disponível para nós apenas na forma de uma versão árabe (...)

<sup>47</sup> Bernard Vitrac, membro do Centro Nacional Francês para Pesquisa Científica, autor, entre outros, do livro *Héron d'Alexandrie, Metrica. Introduction, édition critique, traduction française et commentaires*.

<sup>48</sup> ROQUE, T. *História da matemática: uma visão crítica, desfazendo mitos e lendas*. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.

### 2.1.4. Pappus de Alexandria

Pappus de Alexandria (séc. IV) foi o último geômetra grego importante. Deixou uma obra significativa intitulada *Coleção Matemática*<sup>49</sup> que serviu de inspiração para muitos matemáticos posteriores. Galileo retomará trabalhos de Pappus, como veremos.

Pappus ( 4<sup>th</sup> Century A.D.) appears to be the only geometer of Antiquity who took up the problem of motion and equilibrium of a heavy body on an inclined plane.<sup>50</sup>  
(DUGAS, op. cit., p. 33)

(...) pensadores, como Heron e Pappus, defenderam a importância da relação recíproca entre geometria e mecânica. Antes da constituição da *Coleção Matemática*, obra célebre deste último, o livro VIII já havia circulado de forma autônoma com o título de *Introduções Mecânicas*. (ROQUE, op. cit., p. 223).

(...) Para pensadores como Heron e Pappus, a articulação entre geometria e mecânica era central e não se limitava ao uso de instrumental da geometria em problemas aplicados. Ambos defendiam a importância tanto filosófica quanto política da mecânica, em comentários que parecem se contrapor a outras opiniões desfavoráveis a ela. Tanto para Heron quanto para Pappus, a mecânica não era um saber prático que se opunha à teoria. (id. ibid. p. 228).

Para Pappus (...) era importante enfatizar a complementaridade entre geometria e mecânica. Isso tinha como efeito uma ampliação da fonte de legitimidade da matemática. A geometria era reconhecida não somente por suas qualidades escolares e culturais, mas também porque servia ao arquiteto e ao engenheiro. E esses dois aspectos não podiam ser separados. (id. ibid. p. 231).

Com a menção a Heron e a Pappus, procuramos fazer uma transição mais ‘suave’ entre a Antiguidade e o Medievo. Por certo, a relevância desses dois autores não está diretamente ligada à Resistência dos Materiais. Contudo, eles são elos da cadeia que liga Galileo a Arquimedes.

## 2.2. A Idade Média

Continuando a observar a história do ponto de vista da Resistência dos materiais, consideraremos dois fatos como os mais significativos da Idade Média:

1. a contribuição árabe para a Matemática;
2. o surgimento das universidades.

### 2.2.1 O império islâmico

De 622, ano da Hégira<sup>51</sup>, a 732, ano da batalha de Poitiers<sup>52</sup>, os árabes conquistaram um imenso império que se estendia da península Ibérica à Índia:

<sup>49</sup> Boyer, à p. 135, diz: Pappus de Alexandria em 320 aproximadamente compôs uma obra com o título *Coleção*; Roque, como visto nas citações acima, chama a obra de Pappus *Coleção Matemática*; Galileo, em sua obra “Le Mecaniche, chama a mesma obra *Collezioni Matematiche*: Coleções Matemáticas.

<sup>50</sup> Pappus (século IV E.C.) parece ser o único geômetra da Antiguidade que enfrentou o problema do movimento e do equilíbrio de um corpo pesado em um plano inclinado.

<sup>51</sup> Fuga de Maomé de Meca para Medina.

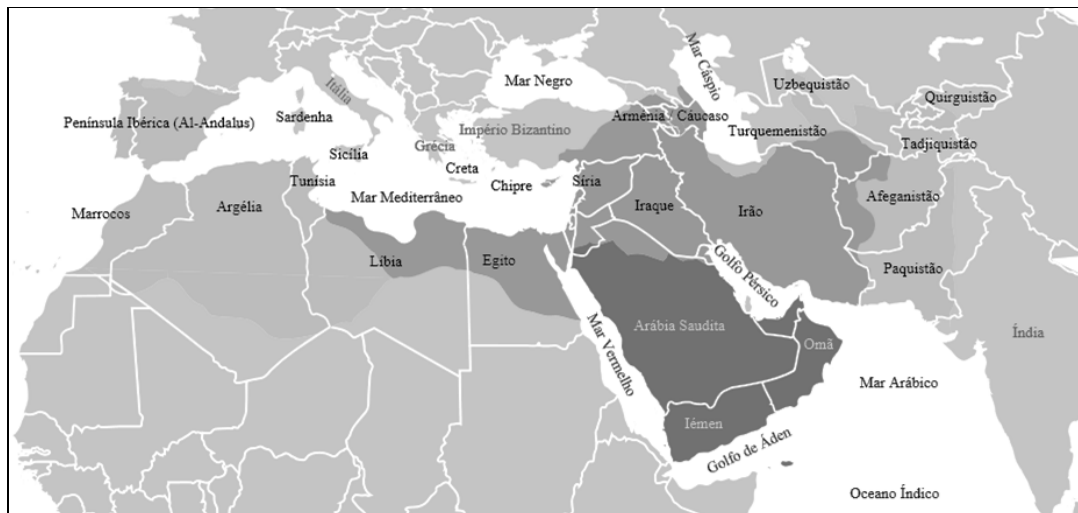


Figura 5. Império Islâmico

As causas principais dessa enorme expansão foram a unificação política das tribos nômades da Arábia e sua conversão ao Islamismo<sup>53</sup>, ambas iniciadas por Maomé (571-632) e continuadas pelos ‘califas’<sup>54</sup>.

O “milagre árabe” não está tanto na rapidez com que surgiu o império político como no entusiasmo com que, uma vez despertado seu gosto, os árabes absorveram a cultura de seus vizinhos. (BOYER, op. cit., p. 166).

Nos séculos VIII e IX, Bagdá se tornou uma ‘nova Alexandria’. Foi nesse período que os árabes se envolveram profundamente na tradução dos textos clássicos e foi ali que surgiu, entre tantos outros matemáticos, Mohammed ibu- Musa al-Khowarizmi.

Al-Khowarizmi escreveu dois livros sobre aritmética e álgebra que tiveram papéis muito importantes na história da matemática. (...) al-Khowarizmi deu uma exposição tão completa dos numerais hindus<sup>55</sup> que provavelmente foi o responsável pela impressão muito difundida, mas falsa, de que nosso sistema de numeração é de origem árabe (...) o nome de al-Khowarizmi tornou-se uma palavra vernácula; através do título de seu livro mais importante, *Al-jabr wa'l muqabalah* ele nos deu uma palavra ainda mais familiar. Desse título veio o termo *álgebra*, pois foi por esse livro que mais tarde a Europa aprendeu o ramo da matemática que tem esse nome.

(id. ibid. p. 166).

A matemática árabe pode, bastante razoavelmente, ser dividida em quatro partes: (1) uma aritmética, derivada presumivelmente da Índia e baseada no princípio posicional; (2) uma álgebra que, embora viesse de fontes gregas, hindus e babilônicas, tomou nas mãos dos muçulmanos uma forma caracteristicamente nova e

<sup>52</sup> A tentativa árabe de invasão da França foi contida na Batalha de Poitiers. Esta batalha é citada como sendo o marco do final da expansão muçulmana na Europa medieval.

<sup>53</sup> Religião caracterizada pelo monoteísmo estrito e pela síntese entre fé religiosa e organização sociopolítica, fundada pelo profeta árabe Maomé.

<sup>54</sup> Designação dos sucessores de Maomé.

<sup>55</sup> Parece-nos que aqui há um erro, possivelmente de tradução: cremos que o termo correto seja ‘indiano’, significando ‘da Índia’ e não ‘hindu’, que significa ‘pertencente ou relativo ao Hinduísmo’.

sistemática; (3) uma trigonometria cuja substância vinha principalmente da Grécia, mas à qual os árabes aplicaram a forma hindu e acrescentaram novas funções e fórmulas; (4) uma geometria que vinha da Grécia, mas para a qual os árabes contribuíram com generalizações aqui e ali. (id. *ibid.* p. 174, 175).

A Mecânica deve muito aos árabes por suas traduções e pela preservação de obras gregas. Graças a esse intenso trabalho, que se estendeu ao longo de séculos, chegaram até nós, por exemplo, estudos de Arquimedes. É, também, inegável que a contribuição árabe para o desenvolvimento da Matemática teve seu reflexo no avanço da Mecânica. Contudo, não temos conhecimento de trabalhos árabes especificamente voltados para a Mecânica.

## 2.2.2 O surgimento das universidades

Consideramos muito significativo para a história da ciência, da engenharia e, particularmente, da “Resistência dos Materiais” o aparecimento das universidades. No futuro, o desenvolvimento da ciência estará fortemente ligado a essas instituições. Por essa razão não deixaremos de mencionar o nascimento das universidades na Idade Média, apesar das afirmações feitas por Paolo Rossi<sup>56</sup>:

Embora quase todos os cientistas do século XVII tivessem estudado em uma universidade, são poucos os nomes de cientistas cuja carreira se tenha desenvolvido inteira ou prevalentemente no âmbito da universidade. Na verdade, as universidades não estiveram no centro da pesquisa científica. A ciência moderna nasceu fora das universidades, muitas vezes em polêmica com elas e, no decorrer do século XVII e mais ainda nos dois séculos sucessivos, transformou-se em uma atividade social organizada capaz de criar as suas próprias instituições. (ROSSI, 2001, p. 10)<sup>57</sup>

No século XII, na Europa, algumas escolas, ou *studia*, como eram chamadas, começaram a ganhar tal prestígio que aqueles que nelas se graduavam podiam lecionar em qualquer lugar. Por isso passaram a ser chamadas *studia generalia*<sup>58</sup>. Posteriormente, o termo *universitas* substituiu a denominação *studia generalia*.

As primeiras universidades foram a de Bolonha, a de Paris e a de Oxford. A Universidade de Paris foi o modelo para as demais universidades que surgiram posteriormente por toda a Europa.

Em 1290 foi criada a primeira universidade de Portugal: a Universidade de Lisboa. Durante mais de um século essa universidade esteve sediada, alternativamente, em Lisboa e em Coimbra. Em 1537, fixa-se definitivamente em Coimbra.

Convém observar que o ensino sistemático das Matemáticas não fez parte do conjunto das ciências a serem estudadas na Universidade de Lisboa. Essa ausência perdurou por muitos anos. Em verdade, no século XIII, os estudos das Matemáticas não estavam bem desenvolvidos na Europa Ocidental. Encontramos na Universidade Bolonha, na Itália, o ensino das Matemáticas e da Astronomia, via obras de Euclides e de Ptolomeu. É verdadeira a afirmação de que, durante muitos anos, não houve em Portugal quem tivesse interesse em ensinar Matemática na Universidade de Lisboa. Nesse período, tampouco houve alguém que pudesse dimensionar a importância do ensino sério das Matemáticas para as necessidades futuras da nação. E assim, o

<sup>56</sup> Paolo Rossi (1923-2012), filósofo e historiador da ciência italiano.

<sup>57</sup> ROSSI, P. O nascimento da ciência moderna na Europa. Bauru, SP: EDUSC, 2001.

<sup>58</sup> Plural de *studium generale*.

ensino das Matemáticas na Universidade de Lisboa ficou relegado para mais tarde. (SILVA, 1999, p. 20)<sup>59</sup>

Ainda citando Paolo Rossi:

No que diz respeito à filosofia e à ciência da Idade Média (...) muitos sustentaram de modo especial a tese de uma forte continuidade entre a ciência dos estudiosos do Merton College de Oxford<sup>60</sup> (...) e a ciência de Galilei, Descartes e Newton. (...) quero me limitar aqui a apresentar, em forma de listagem, algumas das boas razões que servem para confirmar a tese oposta de uma forte descontinuidade entre a tradição científica medieval e a ciência moderna e que, por conseguinte, permitem considerar legítimo o uso da expressão “revolução científica”.

1. A natureza de que falam os modernos é radicalmente diferente da natureza a que se referem os filósofos da Idade Média (...)
2. A natureza dos modernos é interpelada em condições artificiais: a experiência de que falam os aristotélicos apela para o mundo da cotidianidade (...) as “experiências” dos modernos são experimentos construídos artificialmente a fim de confirmar ou desmentir teorias.
3. O saber científico dos modernos se parece com a exploração de um novo continente, ao passo que o saber dos medievais parece voltado ao paciente aprofundamento dos problemas com regras codificadas.
4. À luz da crítica dos modernos, o saber dos escolásticos pareceu incapaz de interpelar a natureza, mas somente interrogar a si próprio, oferecendo sempre respostas satisfatórias. Naquele saber há lugar para as figuras do mestre e do discípulo, mas não para a figura do inventor.
5. Os cientistas modernos – Galilei em primeiro lugar – agem com uma “desenvoltura” e um “oportunismo metodológico” que são totalmente desconhecidos na tradição medieval. A pretensão medieval para a exatidão absoluta foi um obstáculo e não uma ajuda para a criação de uma ciência matemática da natureza. Galilei inventava sistemas de medição cada vez mais apurados, mas desviava a atenção da precisão ideal para aquela necessária, relativa aos objetivos, e alcançável mediante os instrumentos disponíveis (...) (ROSSI, op. cit., p. 16, 17)

A Universidade de Coimbra terá no futuro uma estreita relação com a intelectualidade brasileira. Nos períodos do Brasil–Colônia e do Brasil–Império, para lá se dirigirão muitos brasileiros em busca de uma formação superior. Entretanto, alguns séculos deverão transcorrer até que esse intercâmbio entre Portugal e Brasil se estabeleça.

### 2.3. A Renascença

Do antigo Egito, passando pela Grécia antiga, pelo Império Romano e pela Idade Média, temos inúmeros exemplos como templos, monumentos, pontes, edificações, armamentos, veículos, máquinas, equipamentos etc. que atestam o conhecimento, empírico ou não, da resistência dos materiais. Entretanto, de todos esses séculos não há um legado teórico, formal e específico que possa ser considerado o marco inicial da ciência Resistência dos Materiais.

Na Renascença, há um resgate das obras de Euclides, Arquimedes, Heron, Vitruvius e outros, como parte de um movimento em busca de respostas para os problemas mecânicos que se apresentam.

---

<sup>59</sup>SILVA, C. P. A Matemática no Brasil – Uma história de seu desenvolvimento. São Leopoldo, RS: Editora Unisinos, 1999.

<sup>60</sup> A Merton College, fundada em 1264, foi a primeira faculdade autônoma da Universidade de Oxford.



A literatura dos séculos XV e XVI é extraordinariamente rica de tratados de caráter técnico, a ponto de se constituírem, por vezes, verdadeiros e próprios manuais. (...) nasce um tipo de saber que tem a ver com o projeto de máquinas, com a construção de instrumentos bélicos, com as fortalezas, com os canais, com as barragens, com a extração de metais das minas. Os que elaboram este tipo de saber, os engenheiros, ou artistas engenheiros, passam a assumir uma posição de prestígio igual ou mesmo superior à do médico, do mágico, do astrônomo da corte e do professor universitário. (id. *ibid.* p.68, 69,70)

### 2.3.1. Leonardo da Vinci



Figura 6. Autorretrato de Leonardo da Vinci<sup>61</sup>

Dentre tantos nomes representativos daquele movimento de retomada das artes clássicas, um se destaca: Leonardo da Vinci (1452-1519). Embora não possa ser considerado o fundador da "nova ciência", por não ter sistematizado seu trabalho (uma das características fundamentais da ciência moderna), Leonardo da Vinci, como engenheiro e experimentador da resistência dos materiais, é, neste contexto, uma citação obrigatória.

Devemos, entretanto, considerar que há, ainda, alguma controvérsia quanto a Leonardo da Vinci ter sido, ou não, o fundador da ciência moderna. Fritjof Capra faz a seguinte afirmação:

Enquanto os manuscritos de Leonardo acumulavam pó nas antigas bibliotecas da Europa, Galileu Galilei era celebrado como “pai da ciência moderna”. Não posso deixar de afirmar que o verdadeiro fundador da ciência moderna foi Leonardo da Vinci. (CAPRA, 2008, p. 29)<sup>62</sup>

<sup>61</sup> Biblioteca Reale, Torino, desenhado, supostamente, em 1513, quando Leonardo estaria com 61 anos.

<sup>62</sup> CAPRA, Fritjof. A ciência de Leonardo. São Paulo: Cultrix, 2008.

Com outra visão, Paolo Rossi nos diz:

(...) não se pode certamente, como muitos fizeram, procurar no pensamento deste grandíssimo artista e letrado o ato de fundação do método experimental e da nova ciência da natureza. Na verdade, após tanta insistência sobre o “milagre Leonardo”, não sem razão foi lembrado o seu absoluto menosprezo pela tipografia e pela imprensa (...) A pesquisa de Leonardo, que é extraordinariamente rica de intuições fulgurantes e de concepções geniais, jamais vai além do nível das *experimentações curiosas* para chegar àquela sistematicidade que é uma das características fundamentais da ciência e da técnica modernas. A sua imagem, sempre oscilante entre a experimentação e a anotação, aparece como esfarelada e pulverizada em uma série de breves notas, observações espalhadas, apontamentos escritos para si próprio, em uma simbologia muitas vezes obscura e intencionalmente não transmissível. De fato, sempre movido pela curiosidade relativa a um problema particular, Leonardo não tem nenhum interesse em trabalhar para um *corpus* sistemático de conhecimentos, como também não tem a preocupação (que é também uma dimensão fundamental daquilo que chamamos ciência) de transmitir, explicar e provar para os outros as próprias descobertas. (ROSSI, op. cit., p. 74).

Concordamos com o Prof. Paolo Rossi: para nós, apesar da sua excepcional genialidade e de ter, de modo pioneiro, se aprofundado em diversos campos que fariam parte da ‘ciência moderna’, Leonardo da Vinci não estava interessado no ‘método da ciência’. E, assim, por sua própria decisão, ele teria ficado fora desse ‘fluxo’.

Com relação à Mecânica e, mais especificamente, à Resistência dos Materiais, os desenhos, os esboços, os cálculos e as anotações de Leonardo deixam claro que ele compreendeu e resolveu inúmeros problemas nessa área.

Em seu livro "History of Strength of Materials"<sup>63</sup>, logo na Introdução, Stephen Timoshenko (1878-1972) reproduz as seguintes palavras de Leonardo da Vinci:

"Mechanics is the paradise of mathematical science because here we come to the fruits of mathematics"<sup>64</sup> (TIMOSHENKO, 1953, p.3).

Durante cerca de quarenta anos de trabalho infatigável, Leonardo anotou, desenhou, projetou e calculou nos seus ‘cadernos de notas’. Ali descreveu experimentos, fez inúmeros rascunhos, escreveu pensamentos e traçou esboços. Estudiosos acreditam que Leonardo tenha deixado cerca de treze mil páginas (fólios<sup>65</sup>) sem, contudo, qualquer classificação. Dessas anotações, mais da metade se perdeu. As que restaram foram reunidas em coleções chamadas ‘códices’<sup>66</sup>. Os códices que reúnem a maioria dos trabalhos na área de Mecânica são o Códice Atlântico e o Códice Madri.

No seu livro de Resistência dos Materiais<sup>67</sup>, Carlos Casado reproduz o fólio 152 r, Figura 6, em que são observados estudos de Leonardo relativos a vigas sujeitas à flexão e

<sup>63</sup> TIMOSHENKO, S. P. History of Strength of Materials. New York, U.S.A.: McGraw-Hill, 1953.

<sup>64</sup> "A Mecânica é o paraíso da ciência matemática porque aqui chegamos aos frutos da Matemática."

<sup>65</sup> Fólio: cada uma das folhas de um livro ou manuscrito.

<sup>66</sup> Códice: grupo de folhas de pergaminho manuscritas, unidas, numa espécie de livro, por cadarços e/ou cosedura e encadernação.

<sup>67</sup> CASADO, C. F. Resistencia. Madrid, Editorial Dossat S.A., 1950.

colunas sujeitas à flambagem. Esses estudos constituem partes essenciais da Resistência dos Materiais.

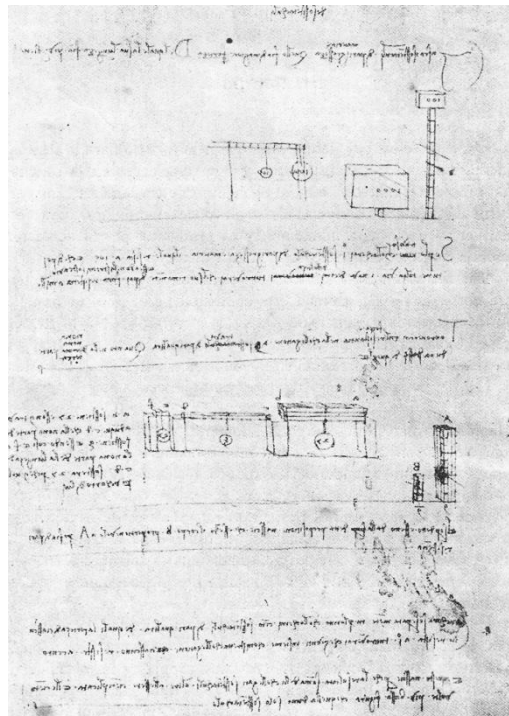


Figura 7. Folio 152r, “Código Atlântico”  
(CASADO, 1950, p. 32)

Em sua “História da Resistência dos materiais”, Timoshenko nos diz:

Leonardo da Vinci studied the strength of structural materials experimentally. In his note “Testing the Strength of iron Wires of Various Lengths” he gives the sketch shown (...) <sup>68</sup> [Figura 7]. (TIMOSHENKO, op. cit., p. 3).

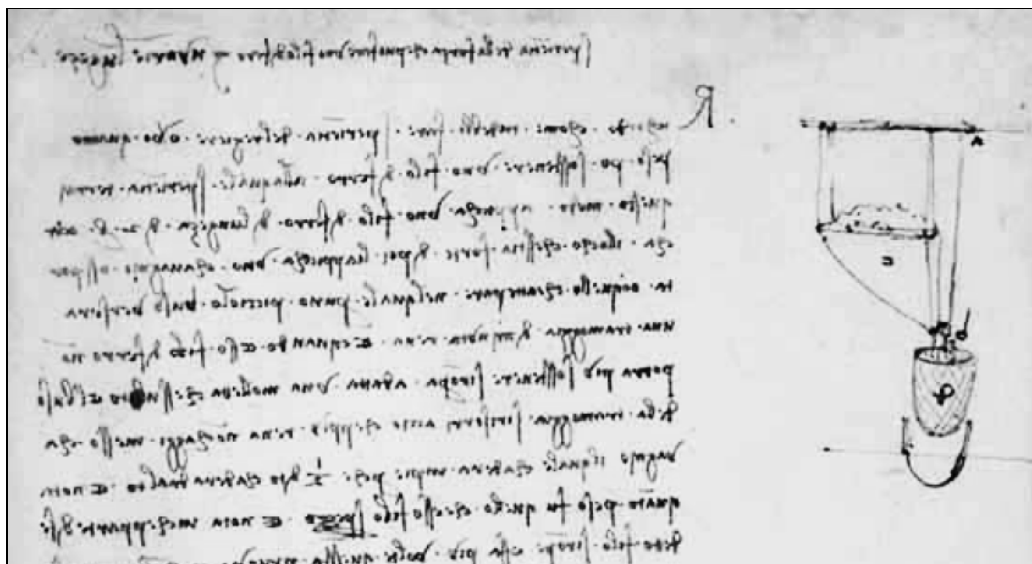


Figura 8. Parte de folio do “Código Atlântico” em que Leonardo da Vinci faz um estudo relativo ao ensaio de tração de um cabo.

<sup>68</sup> Leonardo da Vinci estudou a resistência dos materiais estruturais experimentalmente. Em sua nota “Testando a resistência de cabos de ferro de vários comprimentos” ele apresenta o esboço mostrado (...)

Mesmo considerando as palavras de Duhem, que no início do capítulo sobre Leonardo da Vinci, em seu livro *Les origenes de la statique* (op. cit), o chama de ‘gênio sublime’, e levando em conta os inúmeros estudos e experimentos que realizou, antecipando-se ao que viria a ser a Resistência dos Materiais, não podemos considerá-lo fundador dessa ciência. Como veremos a seguir, essa glória caberá a Galileo Galilei.

## 2.4. Galileo Galilei

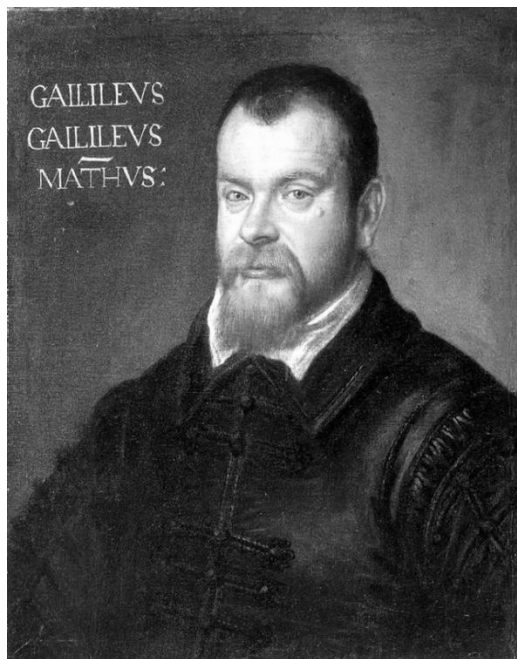


Fig. 9. Galileo Galilei, retratado por Tintoretto<sup>69</sup>.

Galileo Galilei nasceu em Pisa, em 15 de fevereiro de 1564, filho de Vincenzo Bonaiuti-Galilei, comerciante e músico, e de Julia Ammannati.

Seguindo uma tradição toscana relativamente comum, o menino recebeu como nome de batismo a forma singular do nome de família: Galileo.<sup>70</sup> (NAESS, 2015, p. 12)<sup>71</sup>

Em 1581 (aos 17 anos), é admitido no ‘Studio’ de Pisa (Universidade de Pisa) para estudar Medicina. Contudo, muito mais do que a Medicina, sua verdadeira paixão é a Matemática. Assim, em 1585, após quatro anos, abandona a Studio de Pisa, sem qualquer título, e passa a se dedicar integralmente à Matemática.

Em 1589 (aos 25 anos), Galileo é nomeado Professor de Matemática no Studio de Pisa. Nessa época, começa a contestar princípios aristotélicos, o que fará pelo resto da vida. Empenha-se em resolver problemas de Mecânica tais como: o isocronismo das oscilações do pêndulo, a queda dos corpos, o movimento dos projéteis, o fenômeno da coesão entre as

<sup>69</sup> Jacopo Robusti (1519-1594), conhecido como “Tintoretto” : diminutivo de “Tintore”: Tintureirozinho.

<sup>70</sup> Em italiano, o singular de Galilei (em português, Galileus) é Galileo (em português, Galileu). Portanto, por coerência, o nome Galileo Galilei deveria ser traduzido para o português como Galileu Galileus. Contudo, incoerentemente, costuma-se usar “Galileu Galilei”.

<sup>71</sup> NAESS, Atle. Galileu Galilei: um revolucionário e seu tempo. Rio de Janeiro: Zahar, 2015.

partículas que compõem a matéria e, de particular interesse para nós, a questão da resistência dos sólidos.

(...) um elemento que aparece com firme continuidade [na vida de Galileo] é constituído pela adesão consciente às determinações e ao método do “divino Arquimedes”. (ROSSI, op. cit., p. 148).

Em 1592 (aos 28 anos), deixa o Studio de Pisa e vai ser Professor de Matemática no Studio de Pádua<sup>72</sup> (Pádua, à época, fazia parte da República de Veneza), lá permanecendo até 1610, quando se muda definitivamente para Florença.

Em uma oficina, que surge ao lado do seu Studio, são construídos os aparelhos de que se serve nas suas aulas. Também tais interesses nunca mais seriam abandonados: não somente a arquitetura militar e as fortificações, mas também a balística, a engenharia hidráulica, a canalização e o levantamento das águas, as pesquisas sobre a resistência dos materiais, a construção do compasso geométrico militar, do telescópio, do termo-baroscópio, enfim, uma paixão pela observação, pela medida, pelos instrumentos, isto é, uma infinita curiosidade pelos experimentos.

(id., ibid., p. 149).

Nos primeiros anos em Pádua, Galileo se dedica ao estudo da Estática, o que resulta na sua obra “Le Meccaniche”<sup>73</sup>, escrita em torno de 1593, na qual estuda diversos problemas de Mecânica, entre eles o “princípio dos trabalhos virtuais”<sup>74</sup> e aquele relativo às forças que atuam num corpo situado num plano inclinado. Neste ponto, parece-nos importante destacar o fato de Galileo citar Pappus de Alexandria, informando que esse assunto já havia sido tratado por ele:

È la presente speculazione stata tentata ancora da Pappo Alessandrino nell' 8° libro delle sue *Collezioni Matematiche* (...) <sup>75</sup> (GALILEI, 1593, p. 19)

São também referências para os estudos de Galileo as “Questões Mecânicas” de Aristóteles e, principalmente, os trabalhos de Arquimedes.

Sobre esse ‘período paduano’ de Galileo, o Professor Mariconda<sup>76</sup> nos diz:

É fácil ver que duas novas ciências, uma representada pelo estudo geométrico da resistência dos sólidos (2ª jornada<sup>77</sup>) e a outra pelo tratado sobre o movimento (3ª e

<sup>72</sup> Pádua ou Pádova.

<sup>73</sup> GALILEI, Galileo. *Le Meccaniche*. Italia: Editoria, Web design, Multimedia, <http://www.e-text.it/>; 1ª EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 7 giugno 1998.

“E-book” obtido em:

[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select\\_action=&co\\_autor=412](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select_action=&co_autor=412)

<sup>74</sup> Princípio assim chamado porque considera um deslocamento imaginário (virtual) de um ponto sujeito à ação de diversas forças. O trabalho virtual de cada uma dessas forças é o produto da sua intensidade pelo deslocamento virtual que provoca.

<sup>75</sup> A presente especulação [abordagem] foi tentada ainda [também] por Pappus de Alexandria no 8º livro de suas *Coleções Matemáticas* (...)

<sup>76</sup> Pablo Rubén Mariconda: Professor de Teoria do Conhecimento e Filosofia da Ciência do Departamento de Filosofia da FFLCH da USP.

<sup>77</sup> Como se verá, o termo “jornada” será usado para designar os diferentes capítulos da obra “Discorsi”.

4ª jornadas), vão sendo gradativamente compostas de, aproximadamente, 1600 a 1609. (MARICONDA, 1988, p. XIII).<sup>78</sup>

Em carta a Antonio de Medici, com data de 11 de fevereiro de 1609, Galileo diz:

(...) dopo il mio ritorno di Firenze sono stato occupato in alcune contemplazioni et in diverse esperienze attenenti al mio trattato delle meccaniche; [n]el quale ho speranza che la maggior parte saranno cose nuove, nè da altri state tocche per addietro. Et pure ultimamente ho finito di ritrovare tutte le conclusioni, con le sue dimostrazioni, attenenti alle forze et resistenze de i legni di diverse lunghezze, grossezze et figure, et quanto sian più debili nel mezo che negli estremi, et quanto maggior peso sosterranno se quello sarà distribuito per tutto il legno che in un sol luogo, et qual figura doveria havere acciò fusse per tutto egualmente gagliardo: la quale scienza è mol[to] necessaria nel fabricar machine ed ogni sorte di edifizio, nè vi è alcuno che ne habbia trattato.<sup>79</sup> (GALILEI, 1609).<sup>80</sup>

Neste nosso trabalho, essa carta de Galileo é fundamental, pois temos aqui a criação da ciência da Resistência dos Materiais.

De 1610 a 1633, Galileo vive, conforme Mariconda, ‘o período polêmico’ de sua vida, no qual se empenha na afirmação e na defesa das ideias de Copérnico. É nessa fase que Galileo escreve o ‘Diálogo’<sup>81</sup>, luta para publicá-lo e, finalmente, em 1633, é condenado pela inquisição.

A partir de 1633, Galileo retoma seus estudos de Mecânica e escreve sua obra mais importante: "**Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali**"<sup>82</sup>, publicada em 1638.

Galileo morre em 8 de janeiro de 1642, aos 78 anos, em sua casa, em Arcetri.

---

<sup>78</sup> MARICONDA, P. R. Duas novas ciências – Galileu Galilei. 2ª ed. São Paulo: Nova Stela Editorial, 1988. Instituto Italiano di Cultura.

<sup>79</sup> Após minha volta de Florença, tenho estado ocupado com algumas considerações e com diversas experiências relativas a meu tratado de Mecânica, no qual, tenho esperança, a maior parte será de coisas novas e que não tenham sido tocadas anteriormente por outros. Também terminei, recentemente, de encontrar todas as conclusões, com suas demonstrações, concernentes às forças e resistências das madeiras de diferentes comprimentos, espessuras e figuras [formas], e quão menos resistentes são no meio que nos extremos, e quão maior é o peso que sustentam se ele for distribuído por toda a madeira ao invés de [aplicado] em um só lugar, e que forma deveria ter para que fosse igualmente resistente em todos os seus pontos: tal ciência é muito necessária na fabricação de máquinas e de todo tipo de edificio, e não há ninguém que já tenha tratado [esse assunto ainda não foi tratado por ninguém].

<sup>80</sup> GALILEO ad [ANTONIO] DE' MEDICI in Firenze. Padova, 11 [febbraio] 1609.\*

\*Carta de Galileo a Antnio de Medici, de Florença. Escrita em Padova em 11 de fevereiro de 1609.

Bibl. Naz. Fir. Mss. Gal., P. VI, T. V, car. 19. – Autografa.

GALILEI, Galileo. Le opere. Volume X. Carteggio 1574-1610. “E-book”, Italia, 2ª EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 28 gennaio 2002.

Obtida em:

[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select\\_action=&co\\_autor=412](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select_action=&co_autor=412)

<sup>81</sup> “Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo”: “Dialogo sobre os dois máximos sistemas do mundo”

<sup>82</sup> "Discursos e demonstrações matemáticas acerca de duas novas ciências relacionadas à mecânica e aos movimentos locais"

### 2.4.1. O livro de Galileo Galilei

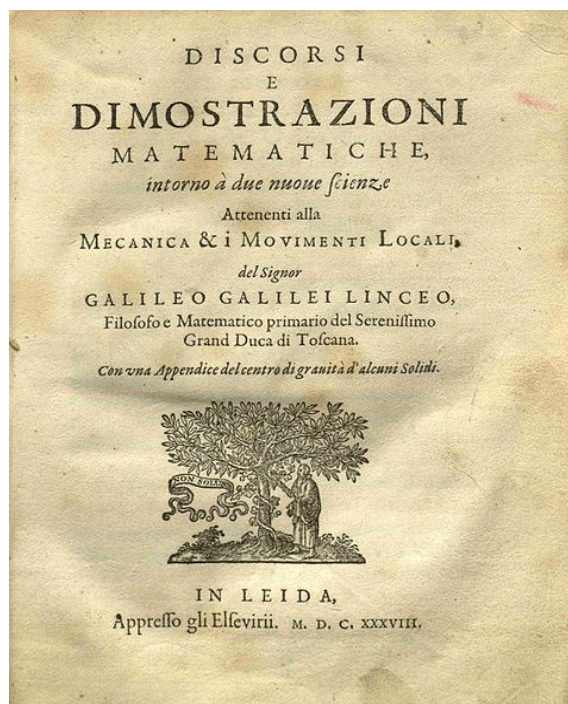


Fig. 10. Frontispício do livro "Duas Novas Ciências"<sup>83</sup>

Por simplicidade, e acompanhando outros autores, nos referiremos ao livro *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali*, abreviadamente, como “*Discorsi*” ou “*Duas novas ciências*”.

Como vimos, o livro “*Discorsi*” já estava em fase embrionária em 1609, portanto, 29 anos antes de sua publicação, em 1638. As duas novas ciências, apresentadas nessa obra, de fato, são o resultado das pesquisas e estudos realizados por Galileo ao longo de toda sua vida.

Aqui, entre as duas ciências novas, nosso interesse estará voltado para a ciência da Resistência dos Materiais. Assim, parece-nos interessante reproduzir as palavras de autores considerados autoridades nesse campo.

As teorias elaboradas nos *Discorsi*, relativas à resistência dos materiais, são o ato de nascimento de um novo saber: um *corpus* orgânico de teorias pôde ser aplicado, pela primeira vez, à engenharia civil e militar e à ciência das construções.

(ROSSI, op. cit., p. 186)

Galileo's famous book 'Two New Science' shows the writer's efforts to put the methods applicable in stress analysis into a logical sequence. It represents the beginning of the science of Strength of Materials<sup>84</sup> (TIMOSHENKO, 1953, p.6)

Em 1988, a Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ – realizou um seminário

<sup>83</sup>[http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo\\_Galilei,\\_Discorsi\\_e\\_Dimostrazioni\\_Matematiche\\_Intorno\\_a\\_Due\\_Nuove\\_Sienze.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Galileo_Galilei,_Discorsi_e_Dimostrazioni_Matematiche_Intorno_a_Due_Nuove_Sienze.jpg)  
<http://fermi.imss.fi.it/rd/bdv?/bdviewer/bid=300951#>

<sup>84</sup> "O famoso livro de Galileo 'Duas Novas Ciências' mostra o esforço do escritor para colocar os métodos aplicáveis na análise de tensões numa sequência lógica. Representa o início da ciência da Resistência dos Materiais".

comemorativo dos 350 anos da publicação dos “*Discorsi intorno a due nuove scienze*”. Participaram do evento conhecidos biógrafos e comentaristas internacionais de Galileu. Esses Professores proferiram conferências que foram reunidas no livro “*350 anos dos ‘Discorsi intorno a due nuove scienze’ de Galileo Galilei*”<sup>85</sup>. Reproduziremos a seguir as palavras de alguns dos conferencistas daquele seminário.

Os **Discursos e demonstrações matemáticas concernentes a duas novas ciências**, publicados em 1638, podem ser considerados como a maior contribuição de Galileu à elaboração do que chamamos atualmente de “ciência”. Como escreveu Ludovico Geymonat, eles constituem, “do ponto de vista estritamente científico, sua verdadeira obra-prima” (...) Galileu, com uma grande maestria, lança concretamente as bases de duas ciências, uma que concerne à Resistência dos Materiais e a outra que trata do movimento dos corpos em queda livre e dos projéteis.

(THUILLIER, id. ibid., p.13)<sup>86</sup>.

É muito comum ignorar-se que a primeira das duas novas ciências é a Teoria da Resistência dos Corpos Sólidos, tradicionalmente conhecida como Teoria da Resistência dos Materiais. (CARNEIRO, id. ibid. p.37)<sup>87</sup>

(...) Galileu (...) fundador da teoria da Resistência dos Materiais.

(CARNEIRO, id. ibid., p. 43)

É particularmente apropriado que este simpósio sobre o livro de Galileu seja patrocinado pela COPPE, uma organização dedicada aos estudos avançados de engenharia, pois os **Discorsi** qualificam Galileu como um pioneiro nesse campo. A primeira dessas duas ciências lança o conhecimento da Resistência dos Materiais.

(DRAKE, id. ibid., p.45)<sup>88</sup>

(...) **Discorsi**, que é a obra científica mais importante de Galileu (...)

(GEYMONAT, id. ibid., p. 70)<sup>89</sup>

Assim, assumimos *Duas Novas Ciências* como o primeiro texto em que se analisam, formal e metodicamente, problemas relativos à Resistência dos Materiais. *Duas novas ciências* será também, neste trabalho, nossa referência inicial.

Contudo, embora *Duas novas ciências* seja o primeiro livro de Resistência dos Materiais, ele não foi escrito como livro-texto. O primeiro livro-texto de Resistência dos Materiais só seria escrito 160 anos depois, em 1798, pelo engenheiro francês Pierre-Simon Girard: “*Traité analytique de la résistance des solides et des solides d'égale résistance*”<sup>90</sup>, nossa segunda referência bibliográfica.

Porém, antes de passarmos para Girard e seu livro, devemos ao menos lembrar os nomes daqueles que mais contribuíram para o avanço da Resistência dos Materiais nesses 160 anos:

<sup>85</sup> CARNEIRO, Fernando Lobo, coordenador, 350 anos dos “*Discorsi intorno a due nuove scienze*” de Galileu Galilei. São Paulo: Editora Marco Zero, 1989.

<sup>86</sup> THUILLIER, Pierre. Professor de epistemologia e história da ciência da Universidade de Paris VII.

<sup>87</sup> CARNEIRO, Fernando Lobo. Professor de Resistência dos Materiais e Mecânica Estrutural da Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

<sup>88</sup> DRAKE, Stillman. Professor emérito de História da Ciência da Universidade de Toronto.

<sup>89</sup> GEYMONAD, Ludovico. Professor emérito de filosofia da ciência da Universidade de Milão.

<sup>90</sup> “*Tratado analítico da resistência de sólidos e de sólidos de igual resistência*”



- Edme Mariotte (1620 - 1684)
- Robert Hooke (1635-1703)
- Jacob Bernoulli (1654 - 1705)
- Jean Bernoulli (1667 - 1748)
- Daniel Bernoulli (1700 - 1782)
- Leonhard Paul Euler (1707 - 1783)
- Joseph-Louis, conde de Lagrange (1736 - 1813)

## 2.5. O surgimento das escolas de engenharia na França

No século XVIII, a França estava na vanguarda do desenvolvimento da engenharia. Lá nasceram as primeiras escolas de engenharia:

- em 1747, é fundada a primeira escola de engenharia do mundo: a École Royale des Ponts et Chaussées<sup>91</sup>, que, em 1775, teria seu nome alterado para École Nationale des Ponts et Chaussées;
- em 1780 é fundada a École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers<sup>92</sup>;
- em 1783 é fundada a École Nationale Supérieure des Mines de Paris<sup>93</sup>;
- em 1794, é fundada a École Centrale des Travaux Publics<sup>94</sup>, que teria seu nome mudado para École Polytechnique.<sup>95</sup>

Essas escolas formariam os maiores nomes da engenharia daquele século e influenciariam fortemente a engenharia em todo o mundo.

(...) in 1747, the famous school École des Ponts et Chaussées was founded in Paris for training engineers in constructions work on highways, channels and bridges. This school (...) played a great part in the development of our science<sup>96</sup>.

(TIMOSHENKO, 1953, p. 42)

## 2.6. O livro de Pierre-Simon Girard

O primeiro livro-texto de Resistência dos Materiais<sup>97</sup> foi escrito por Pierre-Simon Girard (1765-1835), “Ingenieur des Ponts et Chaussées”<sup>98</sup>, em Paris: “Traité analytique de la

<sup>91</sup> Escola Real de Pontes e Estradas.

<sup>92</sup> Escola Nacional Superior de Artes e Ofícios.

<sup>93</sup> Escola Nacional Superior de Minas de Paris.

<sup>94</sup> Escola Central de Trabalhos Públicos.

<sup>95</sup> Escola Politécnica.

<sup>96</sup> (...) em 1747, foi fundada em Paris a famosa École des Ponts et Chaussées para a formar engenheiros para construções, para trabalhar em estradas, canais e pontes. Esta escola (...) desempenhou um papel importante no desenvolvimento da nossa ciência.

<sup>97</sup> GIRARD, P. S. Traité analytique de la résistance des solides et des solides d'égle résistance. Paris: Du Pont Imprimeur-libraire, 1798.

<sup>98</sup> “Engenheiro de Pontes e Estradas”

résistance des solides et des solides d'égale résistance”<sup>99</sup>. Nesse livro, que levou onze anos para ser escrito, Girard faz uma síntese de todo o desenvolvimento por que passou a Resistência dos Materiais, de Galilei até seus dias. Entretanto, antes de ser publicado, o livro foi submetido a uma rigorosa avaliação, feita Coulomb<sup>100</sup> e Prony<sup>101</sup>, que o recomendaram “à la classe des Sciences Physiques et Mathématiques de l’Institut National des Sciences et Arts”<sup>102</sup>.

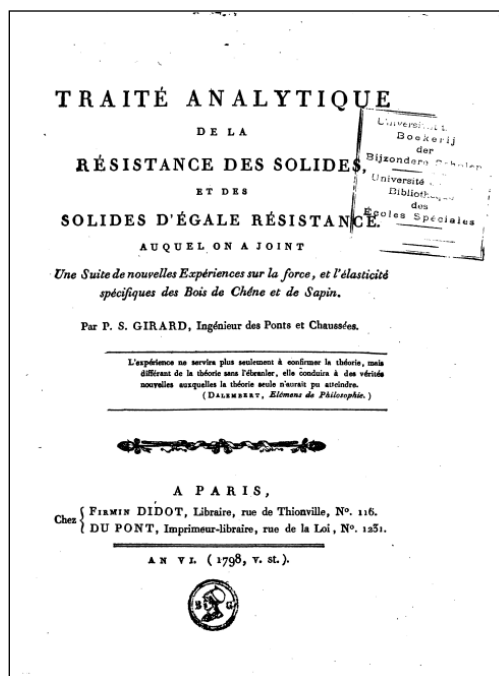


Figura 11. Frontispício do livro<sup>103</sup>.

A partir do livro de Girard, a Resistência dos Materiais avançou muito. O século XIX foi particularmente fecundo, especialmente na França que, nesse período, era o centro mundial daquela ciência. As escolas de engenharia francesas eram referências para escolas de outros países e seus professores eram os autores de livros adotados internacionalmente.

Como tratamos aqui de livros-texto de Resistência dos Materiais, Coulomb e Prony merecem destaque.

No other scientist of the eighteenth century contributed as much as Coulomb to the science of mechanics of elastic bodies.<sup>104</sup> (id. ibid. p.48)

<sup>99</sup> “Tratado analítico da resistência de sólidos e de sólidos de igual resistência”

<sup>100</sup> Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806). Engenheiro francês, Coulomb se destacou, principalmente, por seus trabalhos como físico.

<sup>101</sup> Gaspard Clair François Marie Riche de Prony (1755-1839). Engenheiro francês, professor de matemática na École Polytechnique e na École Nationale des Ponts et Chaussées.

<sup>102</sup> “à classe de Ciências Físicas e Matemáticas do Instituto Nacional de Ciências e Artes”

<sup>103</sup> [http://books.google.com.br/books?id=U2EUAAAQAAJ&pg=PR1&dq=Trait%C3%A9+analytique+de+la+résistance+des+solides&lr=&as\\_br=4#v=onepage&q=&f=false](http://books.google.com.br/books?id=U2EUAAAQAAJ&pg=PR1&dq=Trait%C3%A9+analytique+de+la+résistance+des+solides&lr=&as_br=4#v=onepage&q=&f=false)

Prony was one of the founders of the famous École Polytechnique (1794) and he became the first professor of mechanics at that school. In 1798 he became the director of l'École des Ponts et Chaussées. His books (...) on mechanics ["Leçons de mécanique analytique" (1810)] were widely used in French engineering schools.<sup>105</sup> (id. ibid. p. 62)

## 2.7. O livro de Claude-Louis Navier

Entre diversas obras importantes no campo da Resistência dos Materiais, destaca-se o livro de Navier (1785-1836)<sup>106</sup>: "Résumé des leçons données à l'École des Ponts et Chaussées sur l'application de la Mécanique à l'établissement des constructions et des machines"<sup>107</sup>, ou, simplesmente, como é conhecido, "Résumé des leçons", cuja primeira edição apareceu em 1826.

In 1826, the first printed edition of Navier's book on strength of materials appeared, and his main achievements in that field were incorporated in it. If we compare this book with those of the eighteenth century, we clearly see the great progress in mechanics of materials during the first quarter of the nineteenth.<sup>108</sup>

(id. ibid. p. 73,74).

### 2.7.1. Saint-Venant

Em 1837, Saint-Venant<sup>109</sup>, que foi aluno de Navier na École des Ponts et Chaussées, tornou-se professor da cadeira de Resistência dos Materiais naquela escola.

At that time, the most advanced book on strength of materials was Navier's "Résumé des Leçons"<sup>110</sup> (id. ibid. p. 231)

Em 1864, Saint-Venant edita a terceira e última edição do livro de seu mestre, Navier, com inúmeros acréscimos, modificações e melhoramentos:

<sup>104</sup> Nenhum outro cientista do século dezoito contribuiu tanto quanto Coulomb para a ciência da mecânica dos corpos elásticos.

<sup>105</sup> Prony foi um dos fundadores da famosa Escola Politécnica (1774) e se tornou o primeiro professor de mecânica daquela escola. Em 1798, tornou-se diretor da Escola de Pontes e Estradas. Seus livros (...) de mecânica [Lições de mecânica analítica (1810)] foram largamente usados nas escolas de engenharia francesas.

<sup>106</sup> Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836), Engenheiro de Pontes e Estradas francês, Matemático, especialista em Mecânica, Professor na École Nationale des Ponts et Chaussées e na École Polytechnique

<sup>107</sup> Resumo das aulas ministradas na Escola de Pontes e Estradas sobre a aplicação da Mecânica às construções e às Máquinas.  
Obtido em: <http://www.archive.org/details/rsumdesleonsdon00margoog>

<sup>108</sup> Em 1826, surge a primeira edição impressa do livro de Navier sobre Resistência dos Materiais, no qual estavam incorporados os avanços mais importantes nesse campo. Se compararmos esse livro com aqueles do século dezoito, veremos claramente o grande progresso [havido] na Mecânica dos Materiais durante o primeiro quarto do século dezanove.

<sup>109</sup> Adhémar-Jean-Claude Barré de Saint-Venant (1797-1886), engenheiro, matemático e físico francês.

<sup>110</sup> Naquela época, o livro mais avançado em Resistência dos Materiais era "Résumé des Leçons", de Navier.

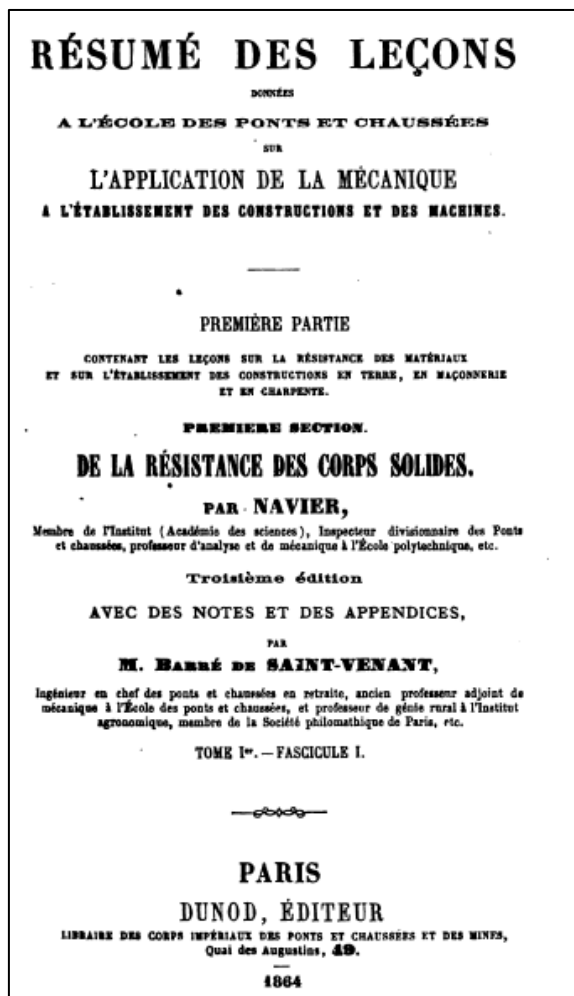


Figura 12. Frontispício do livro.

Saint-Venant never presented his numerous investigations in the field of theory of elasticity in book form, but he edited Navier's "Résumé des Leçons" (1864) and he translated and edited "Théorie de l'élasticité des corps solides" by Clebsch<sup>111</sup> (1883). In the first of these two books, Saint-Venant's additional notes are so numerous that the initial material of Navier constitutes only one-tenth of the volume! The book by Clebsch was increased threefold in volume by editorial notes. These two publications, without any doubt, are the most important books for all who are interested in the history of the development of theory of elasticity and of strength of materials.<sup>112</sup> (id. *ibid.*, p. 233)

<sup>111</sup> Rudolf Friedrich Alfred Clebsch (1833-1872), matemático prussiano.

<sup>112</sup> Saint-Venant nunca apresentou suas numerosas investigações no campo da teoria da elasticidade em forma de livro, entretanto editou, em 1864, "Résumé des Leçons", de Navier e traduziu e editou, em 1883, "Théorie de l'élasticité des corps solides", de autoria de Clebsch. No primeiro desses dois livros, as notas adicionais de Saint-Venant são tão numerosas que o material inicial de Navier constitui apenas um décimo do volume! O livro de Clebsch foi aumentado três vezes em volume pelas notas editoriais. Estas duas publicações, sem dúvida, são os livros mais importantes para todos os que estão interessados na história do desenvolvimento da teoria da elasticidade e da resistência dos materiais.

## 2.8. O livro de Jean Résal

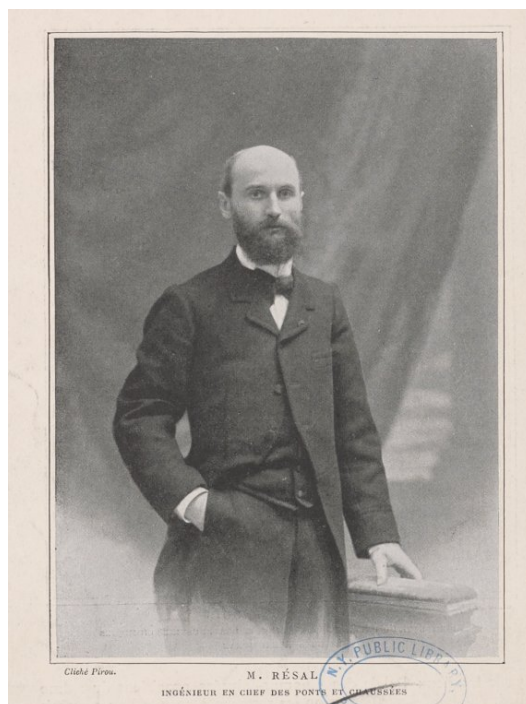


Figura. 13. Jean Résal.

Louis-Jean Victor Aimé Résal (1854-1919), engenheiro francês, considerado o melhor projetista de pontes metálicas de sua época, foi professor de Mecânica na École des Ponts et Chaussées.

No Brasil, Résal foi uma referência importante para os professores e autores de livros de Resistência dos Materiais, tendo exercido grande influência na formação de engenheiros brasileiros por mais de 50 anos.

O Professor Augusto de Brito Belford Roxo<sup>113</sup>, em seu livro publicado em 1915, nos diz:

(...) Não ignoramos que, a rigor, conforme as sabias ideias expedidas pelo eminente Résal (...) (ROXO, 1915, p. 12)<sup>114</sup>

(...) Generalizada, conforme a sabia redacção de Résal (...) (id., ibid. p. 17)

Também Flavio Suplicy de Lacerda<sup>115</sup>, no seu livro Graphostatica e Resistencia dos Materiais<sup>116</sup>, publicado em 1935, cita Résal como autor de obra de referência.

<sup>113</sup> Augusto de Brito Belford Roxo (1878-1951), professor da Escola Politécnica do Rio de Janeiro.

<sup>114</sup> ROXO, A. B. B. Lições de Resistencia dos Materiaes. Rio de Janeiro: Escola Polytechnica do Rio de Janeiro, 1915.

<sup>115</sup> Flávio Suplicy de Lacerda (1903-1983) foi um engenheiro, professor universitário, político e reitor da Universidade Federal do Paraná.

<sup>116</sup> LACERDA, F. S. Graphostatica e Resistencia dos Materiais. Porto Alegre: Livraria do Globo, 1936.

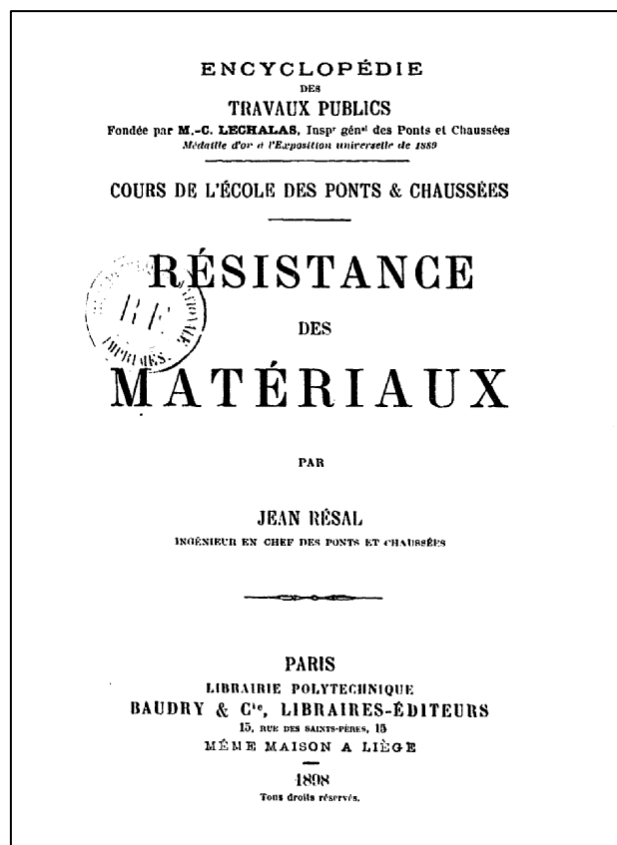


Fig. 14. Frontispício do livro de Résal.<sup>117</sup>

## 2.9. O surgimento das escolas de engenharia alemãs

Em 1815, com a derrota de Napoleão em Waterloo, termina o período de influência da França sobre a Europa. Precisando recompor sua economia, a Alemanha opta pelo desenvolvimento industrial. Para tanto, cria diversas escolas de engenharia que, de maneira geral, seguem o modelo da École Polytechnique, francesa. Contudo havia algumas diferenças entre as escolas alemãs e a escola francesa:

- a Polytechnique fazia apenas a preparação dos jovens que iriam, posteriormente, se especializar em outras escolas, como a Ponts et Chaussées ou a École des Mines; as escolas alemãs propiciavam ao aluno a formação completa;
- a Polytechnique, preferencialmente, formava engenheiros para trabalhar para o governo; as escolas alemãs formavam engenheiros para as empresas privadas;
- a Polytechnique tinha um regime militar; as escolas alemãs seguiam o princípio da liberdade acadêmica.

This new kind of engineering education proved very successful, and German engineering schools very soon became an important factor in the advancement of industry and the engineering sciences. The social status of a professor has always

<sup>117</sup> RÉSAL, J. Résistance des Matériaux. Paris : Librairie Polytechnique. Baudry & Cie. Libraires-Éditeurs, 1898.

been very high one in Germany and, as a result, the engineering schools were able to attract the best engineers to teach and to engage in scientific work<sup>118</sup>.  
(TIMOSHENKO, 1953, p. 130).

Com as novas escolas alemãs, surge um novo enfoque do ensino de engenharia e, aos poucos, os alemães vão se libertando da influência francesa.

As far as engineering mechanics was concerned, German science was at first greatly influenced by French books of Navier, Poisson, Poncelet and others. But before long German engineers began to strike out on their own; for the abstract presentation of mechanics which was so popular in the École Polytechnique did not satisfy them. Thus in this period (1833-1867) under consideration, more practical books in engineering mechanics began to appear, and (...) they affected the development of strength of materials<sup>119</sup>. (id. ibid. p. 130).

## Autores alemães que contribuíram para o desenvolvimento da Resistência dos Materiais no século XIX

- Franz Ernst Neumann (1798-1895)
- Julius Ludwig Weisbach (1806-1871)
- Ferdinand Jacob Redtenbacher (1809-1863)
- August Wöhler (1819-1914)
- Karl Culmann (1821-1881)
- Gustave Robert Kirchhoff (1824-1887)
- Franz Grashof (1826-1893)
- Rudolf Friedrich Alfred Clebsch (1833-1872)
- Johann Bauschinger (1834-1893)
- Emil Winkler (1835-1888)
- Christian Otto Mohr (1835-1918)
- Karl von Bach (1847-1931)

---

<sup>118</sup> Esse novo tipo de ensino de engenharia teve muito sucesso e as escolas de engenharia alemãs, em pouco tempo, se tornaram importante fator de desenvolvimento da indústria e das ciências da engenharia. O status social de um Professor sempre foi muito alto na Alemanha e, como resultado, as escolas de engenharia atraíram os melhores engenheiros para ensinar e para desenvolver trabalhos científicos.

<sup>119</sup> No que diz respeito à engenharia mecânica, a ciência alemã foi, inicialmente, muito influenciada pelos livros franceses de Navier, Poisson, Poncelet e outros. Mas, em pouco tempo, os engenheiros alemães começaram a se autodeterminar, já que a abordagem abstrata da mecânica, tão popular na École Polytechnique, não os satisfazia. Assim, no período que estamos considerando (1833-1867), começaram a aparecer livros mais práticos de engenharia mecânica e (...) eles afetaram o desenvolvimento da resistência dos materiais.

## 2.10. O livro de August Föppl



Figura 15. August Otto Föppl

Antes de tratarmos especificamente do livro de Resistência dos Materiais de Föppl, tracemos, de modo muito abreviado, seu currículo:

- em 1869, aos quinze anos, August Otto Föppl (1854-1924) inicia seus estudos de engenharia no “Instituto Politécnico de Darmstadt”, entretanto, insatisfeito com o nível do curso, em 1871, transfere-se para o “Stuttgart Polytechnicum”;
- em Stuttgart, Föppl, fortemente influenciado pelo Prof. Otto Mohr, passa a dedicar-se ao estudo da Teoria das Estruturas;
- em 1873, com a transferência do Prof. Mohr para Dresden, Föppl vai para o “Instituto Politécnico de Karlsruhe”. Nessa escola, onde foi aluno do Prof. Grashof, conclui seu curso de engenharia, em 1874;
- em 1886, na Universidade de Leipzig, sob a orientação de Heinrich Bruns (1848-1919) e de Felix Klein (1849-1925), Föppl conclui seu doutorado;
- em 1893, com a morte do prof. J. Bauschiger, Föppl assume a cadeira de Mecânica na “Universidade Técnica de Munique”.

He [Föppl] was an outstanding lecturer (...) To improve his teaching and to raise the standard of work, he soon started to publish his lectures in engineering mechanics. They appeared in four volumes: (1) Introduction to Mechanics, (2) Graphical Statics, (3) Strength of Materials and (4) Dynamics. The volume on strength of materials appeared first, in 1898. This book was at once a great success and soon became the most popular textbook in German frontiers. For instance, Jasinsky<sup>120</sup> in St. Petersburg at once drew his students’ attention to this outstanding work. The book

---

<sup>120</sup> F. S. Jasinsky (1856-1899), Professor de Teoria das Estruturas e de Teoria da Elasticidade no “Institute of Engineering of Ways of Communication – St. Petersburg”: Instituto de Engenharia de Meios de Comunicação de São Petersburgo, Rússia.



was translated into Russian and widely used by engineers interested in stress analysis. The book<sup>121</sup> was also translated into French.<sup>122</sup> (id. ibid. p. 301)

Coincidentemente, Föppl nasceu no mesmo ano que Résal e os livros de Resistência dos Materiais dos dois autores foram publicados, também, no mesmo ano: 1898.

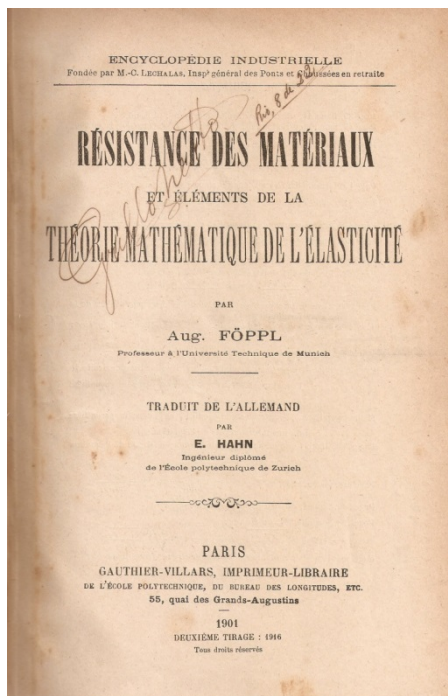


Figura 16. Frontispício da edição francesa.

Em sua autobiografia<sup>123</sup>, Timoshenko<sup>124</sup> comenta o livro de Föppl:

In Strength of Materials I undertook the study of A. Föppl's book, which had then come in Russian translation. (...) Föppl had a theoretical approach to the subject, and that very much pleased me.<sup>125</sup> (TIMOSHENKO, 1968, p. 80)<sup>126</sup>

<sup>121</sup> FÖPPL, A. Résistance des Matériaux et Éléments de la Théorie Mathématique de L'Élasticité. Paris: Gauthier-Villars, Impremeur-Libraire, 1901.

<sup>122</sup> Ele [Föppl] era um professor excepcional (...) Para melhorar seu ensino e elevar o padrão de trabalho, ele logo começou a publicar suas aulas de engenharia mecânica. Elas apareceram em quatro volumes: (1) Introdução à Mecânica, (2) Estática Gráfica (3), Resistência dos Materiais e (4) Dinâmica. O volume de Resistência dos Materiais foi publicado pela primeira vez em 1898. Esse livro foi um grande sucesso e logo se tornou o livro-texto mais popular na Alemanha. Para dar um exemplo [da aceitação do livro], Jasinsky, em São Petersburgo, chamou a atenção de seus alunos para esse excelente trabalho. O livro foi traduzido para o russo e amplamente utilizado por engenheiros interessados em análise de tensões. O livro também foi traduzido para o francês. (TIMOSHENKO, 1953, p. 301)

<sup>123</sup> "As I Remember": "Conforme eu me recordo" ou "Como eu me lembro"

<sup>124</sup> Stephen Prokofyevich Timoshenko (1878-1972).

<sup>125</sup> Em resistência de materiais, empreendi o estudo do livro de A. Föppl, que havia sido traduzido para o Russo. (...) Föppl tinha uma abordagem teórica do tema e aquilo me agradou muito.

<sup>126</sup> TIMOSHENKO, S. P. As I Remember. New York: Van Nostrand Company Ltd., 1968.

In Russia at that time the technical sciences were developing under the influence of German literature mainly. In the area of mechanics and strength of materials the best texts were the books of A. Föppl.<sup>127</sup> (id. *ibid.* p. 86)

Linhagem de professores que, a partir de Gauss, leva a Timoshenko:

- Carl Friedrich Gauss foi professor e orientador de Christian Ludwig Gerling;
- Christian Ludwig Gerling foi professor e orientador de Julius Plücker;
- Julius Plücker foi professor e orientador de Felix Klein;
- Felix Klein foi professor e orientador de August Föppl;
- August Föppl foi professor e orientador de Ludwig Prandtl;
- Ludwig Prandtl foi professor e orientador de Stephen Timoshenko.

## 2.11. O livro de Stephen Timoshenko



Figura 17. Stephen Timoshenko.

Stephen Prokofyevich Timoshenko (1878-1972) é considerado um dos personagens mais influentes na Engenharia Mecânica, no século XX, particularmente na área de Mecânica Aplicada, na qual se insere a Resistência dos Materiais. É tido como um dos responsáveis pela ascensão científica e tecnológica dos Estados Unidos, a partir da Primeira Guerra Mundial.

Timoshenko's accomplishments in the field of applied mechanics and his impact on engineering education in United States were truly remarkable. His widespread

---

<sup>127</sup> Na Rússia daquela época, as ciências técnicas [ciências aplicadas] estavam se desenvolvendo, principalmente, sob a influência da literatura alemã. Na área de Mecânica e Resistência dos Materiais, os melhores textos eram os livros de Föppl.

influence as a teacher and writer has resulted in frequent references to him as “the father of applied mechanics” in the country, and his active years are often referred to as “the Timoshenko era” in applied mechanics. At Stanford he assembled an internationally famous faculty served as a magnet to students and scholars who came from all over the country and the world.<sup>128</sup> (GERE<sup>129</sup> et al, 1972)<sup>130</sup>

Na verdade, a influência de Timoshenko no ensino de engenharia ultrapassa os Estados Unidos e atinge todo o mundo. Como confirmação dessa influência, podemos citar um dos artigos escritos por K. R. Y. Simha<sup>131</sup>, professor de engenharia mecânica na Universidade de Bangalore, Índia, no qual Timoshenko é chamado “Pai da Engenharia Mecânica”<sup>132</sup>.

Na introdução de artigo escrito pelo professor D. H. Young<sup>133</sup> para a “Royal Society”, lemos o seguinte:

Stephen Prokofyevich Timoshenko will long be remembered as an outstanding scientist, distinguished engineer, and a great and inspiring teacher. His long and active career extended from Czarist Russia, across Europe, and finally to America. (...) Throughout his career, Timoshenko held steadfastly to one goal. This was to further the advancement of mechanics as a science and to promote its application to practical engineering problems. He strove always to bring mathematical theory and engineering practice into closer harmony. In attaining this goal he had singular success. His scientific papers, which taken collectively represent a monumental contribution to applied mechanics, were always aimed at solving real problems. His world-famous engineering textbooks put the most recent theoretical results into usable form for practising engineers. As a teacher, he was able to pass on to his students not only knowledge but much of his enthusiasm for mechanics. He was much loved and admired by all of his students and can never be forgotten by those who were fortunate enough to come under his influence.<sup>134</sup>

(YOUNG et al, 1973, p. 679)<sup>135</sup>

---

<sup>128</sup> As realizações de Timoshenko no campo da mecânica aplicada e seu impacto no ensino de engenharia nos Estados Unidos foram verdadeiramente notáveis. Sua influência generalizada como professor e como escritor resultou em frequentes referências a ele como "o pai da mecânica aplicada" no país e seus anos ativos são muitas vezes referidos como "a era Timoshenko" na mecânica aplicada. Em Stanford, montou uma faculdade internacionalmente famosa, que funcionou como um ímã para alunos e acadêmicos que vieram de todo o país e de todo o mundo.

<sup>129</sup> James Monroe Gere (1925 -2008) foi professor emérito de engenharia na Universidade Stanford.

<sup>130</sup> Texto obtido em <http://historicalsociety.stanford.edu/pdfmem/TimoshenkoS.pdf>

<sup>131</sup> K. R. Y. Simha, Professor na Universidade de Bangalore, Índia.

<sup>132</sup> Resonance - journal of science education, published by the Indian Academy of Sciences, October 2002, Volume 7, Issue 10, pp 2-3. Obtido em <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02835538>.

<sup>133</sup> Donovan Harold Young (1904-1980), Professor de engenharia na Universidade de Stanford, doutorou-se sob a orientação de Timoshenko. É reconhecido mundialmente por seu trabalho em Mecânica Aplicada e Engenharia Estrutural. Escreveu cinco livros em parceria com Timoshenko.

<sup>134</sup> Stephen Prokofyevich Timoshenko será lembrado por muito tempo como um eminente cientista, ilustre engenheiro e como um grande e inspirador professor. Sua longa e ativa carreira se estendeu da Rússia Czarista, através da Europa, até a América. (...) Ao longo de sua carreira, Timoshenko dirigiu-se firmemente para um objetivo: promover o avanço da mecânica como ciência e sua aplicação nos problemas práticos de engenharia. Esforçou-se sempre para manter a teoria matemática e a prática da engenharia em harmonia, no que obteve grande sucesso. Seus trabalhos científicos, que tomados em conjunto representam uma contribuição monumental para mecânica aplicada, sempre foram destinados a resolver problemas reais. Seus mundialmente famosos livros-texto de engenharia apresentam os resultados teóricos mais recentes de tal modo que podem ser usados pelos engenheiros. Como professor, foi capaz de transmitir aos seus alunos não só conhecimento, mas muito do seu

### 2.11.1. Biografia resumida de Stephen Timoshenko

1878	Stephen Prokofyevich Timoshenko nasce em Poltava, na Ucrânia.
1901	Graduação em engenharia, no Instituto de Engenheiros de Meios de Comunicação, em São Petersburgo, Rússia.
1902	Instrutor no Instituto de Engenheiros de Meios de Comunicação, em São Petersburgo, Rússia.
1903	Professor no Instituto Pilitécnico de Kiev, Ucrânia.
1904	Aluno de August Otto Föppl, em Munich, Alemanha.
1905	Orientando de Ludwig Prandtl, Universidade de Göttingen, Alemanha.
1906	Professor de Resistência dos Materiais no Instituto Pilitécnico de Kiev.
1912	Professor no Instituto Politécnico de São Petersburgo.
1920	Professor no Instituto Politécnico de Zagreb, Iugoslávia.
1923	Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento na Westinghouse Electric Corporation, Pittsburg, Estados Unidos.
1927	Professor de Engenharia Mecânica na Universidade de Michigan.
1936	Professor de Engenharia Mecânica na Universidade Stanford
1944	Professor Emérito de Engenharia Mecânica, Universidade Stanford.
1972	Timoshenko morre na Alemanha.

### 2.11.2. Timoshenko e a Resistência dos Materiais

Em 1903, Timoshenko é convidado para trabalhar como professor-assistente de Sergey Ivanovich Druzhinin, professor de Resistência dos Materiais no Instituto Politécnico de Petersburgo. Sentindo que deveria aprofundar seus conhecimentos teóricos da disciplina, estuda cuidadosamente o livro de “Resistência dos Materiais” (op. cit.) de A. Föppl.

Outra grande influência na formação de Timoshenko, em Resistência dos Materiais, foi o professor Kirpichev<sup>136</sup>:

(...) Viktor L’vovich Kirpichev, who was to have considerable influence on my future scientific career. V. L. Kirpichev enjoyed great fame in Russia as an outstanding professor of Strength of Materials (...) <sup>137</sup>(TIMOSHENKO, 1968, p. 84).

[Kirpichev] More than once did I seek his advice on the selection of books for study. His advice was of great use to me, and helped me to choose the direction of my future work. <sup>138</sup> (id. ibid. p. 86).

---

entusiasmo com a mecânica. Ele foi muito amado e admirado por todos os seus alunos e nunca será esquecido por aqueles que tiveram a felicidade de estar sob sua influência.

<sup>135</sup> Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society. Stephen Prokofievitch Timoshenko. 1878-1972. December 1, 1973. Obtido em <http://rsbm.royalsocietypublishing.org/content/19/679.full.pdf>

<sup>136</sup> Viktor L’vovich Kirpichev (1845-1913). Cientista russo, professor de Mecânica Aplicada e Resistência dos Materiais.

<sup>137</sup> (...) Viktor L’vovich Kirpichev, que teve uma influência considerável na minha futura carreira científica. V. L. Kirpichev gozava de grande fama na Rússia como professor de Resistência dos Materiais (...)

<sup>138</sup> Mais de uma vez busquei seus conselhos em relação à seleção de livros para estudo. Sua orientação foi de grande utilidade para mim e me ajudou a determinar a direção do meu futuro trabalho.

Em 1904, Timoshenko vai para a Universidade de Munique estudar e trabalhar com August Föppl no seu laboratório de Resistência dos Materiais. Ali, além de desenvolver suas pesquisas experimentais, Föppl mantinha uma biblioteca especializada, com praticamente toda a literatura existente na área de Mecânica Aplicada.

(...) there already existed a large literature on the subject, not only covering earlier writings of Coulomb, Mariote, and Poncelet, but also the more recent writings of Duhem, Mohr, Guest, and Hüber. I then read everything I could find on the question in Föppl's laboratory library, resolving that, when I returned home I would describe all of these works<sup>139</sup>. (id. *ibid.* p. 89)

Em 1905, Timoshenko volta à Alemanha para doutorar-se na Universidade de Göttingen, sob a orientação de L. Prandtl<sup>140</sup>.

(...) Prandtl proposed that I continue his own dissertation. He had been investigating the lateral buckling in flexure of a beam of narrow rectangular section, though for practical purposes, of course, it was more important to study the lateral stability of an I-beam. In that case one had to start with the torsion of an I-beam. Here for the first time it was found that, for solution of this problem, the Saint-Venant principle is not applicable. (...) I had to deal with a fourth-order equation, achieving its integration with the aid of series. This required much arithmetic labor, but a result was obtained, and I remember my joy when I finally got it. (...) He approved my results, and later, after many years, told me that I had been a good student, because I had not pestered him with questions and had worked independently. (...) My main purpose in Götting was achieved (...) <sup>141</sup> (id. *ibid.* p.97-98)

Em 1906, Timoshenko participa de um concurso para a cadeira de Resistência dos Materiais, no Instituto Politécnico de Kiev, sendo vitorioso.

(...) I now all at once had become the representative of engineering mechanics at one of Russia's most illustrious institutions of technical learning.<sup>142</sup> (id. *ibid.* p. 104)

---

<sup>139</sup> (...) lá já existia uma grande literatura sobre o assunto, abrangendo não só escritos antigos de Coulomb Mariote e Poncelet, mas também os mais recentes escritos de Duhem, Mohr e Hüber. Li tudo que pude encontrar sobre o assunto na biblioteca do laboratório de Föppl, resolvendo que, quando voltasse para casa, eu descreveria todas esses trabalhos.

<sup>140</sup> Ludwig Prandtl (1875-1953), professor na Universidade de Göttingen, doutorou-se, em 1899, na Universidade de Munique sob a orientação de August Otto Föppl.

<sup>141</sup> (...) Prandtl propôs que eu continuasse sua própria dissertação. Ele vinha investigando a flambagem de vigas de seção retangular estreita, embora, para fins práticos, certamente, fosse mais importante estudar a estabilidade lateral de vigas I. Nesse caso, devia-se começar com a torção de vigas I. Aqui, pela primeira vez, verificou-se que para resolver esse problema o princípio de Saint-Venant não é aplicável. (...) Eu tive que lidar com uma equação de quarta ordem, conseguindo sua integração com o auxílio de séries. Isso exigiu muito trabalho aritmético, mas um resultado foi obtido e eu lembro minha alegria quando finalmente consegui. (...) Ele aprovou meus resultados e mais tarde, depois de muitos anos, disse-me que eu tinha sido um bom aluno porque não o tinha importunado com perguntas e trabalhado com independência. (...) Meu principal objetivo em Götting foi alcançado (...)

<sup>142</sup> De repente tinha me tornado representante da engenharia mecânica numa das instituições de aprendizagem técnica mais ilustres da Rússia.

(...) After getting settled to some extent in the new place, I got busy preparing for the start of my lectures. In his parting words Professor Kirpichev had told me that a lecture achieves its propose only when carefully prepared, with the necessary proofs adduced by simplest method, the theory illustrated by good examples. It was preferable to start one's explanation of a subject with very simple cases (...) <sup>143</sup>  
(id. ibid. p. 105)

In the Petersburg schools it was customary to start the course of strength of materials with a study of general planar state of stress. This plan followed the example of the German professors, Grashof and Föppl. To me this path seemed unsuitable, difficult for beginning students, and I decided to begin my explanation of the subject with the simplest problems of tension and compression, using those very simple examples to acquaint my listeners with the concepts, new to them, of "stress", "strain", "elasticity modulus". Immediately after this theoretical introduction one had to point out the practical meaning of these concepts, showing by examples that they forthwith can be applied to solve practical problems. Following those general lines, I decided to give an extremely simple and elementary course. Later experience showed me that this plan of action was the best suited to my young listeners. <sup>144</sup>  
(id. ibid. p. 106)

(...) I knew very well that lectures alone are not enough for mastery of a subject, that necessary also are exercises in which the students can be shown by examples how a theory is applied and practical problems solved. (...) one has to select good problems, of as practical a nature as possible, capable of interesting students who are to become engineers. I spent quite a bit of time preparing the problems. Later those problems and their solutions were collected and published as a little book, which circulated widely through all Russian engineering schools. I subsequently used the problems in compiling my American textbooks on strength of materials. The textbooks were translated into numerous foreign languages, so that the work done so many years before in Kiev had not been in vain. In various parts of the world future engineers are still studying those problems that I formulated then. <sup>145</sup>(id. ibid. p. 107)

---

<sup>143</sup> Depois de me estabelecer no novo lugar, ocupei-me com a preparação das aulas. Em suas palavras de despedida, o Professor Kirpichev disse-me que uma aula só atinge seu propósito quando cuidadosamente preparada, com as necessárias provas aduzidas pelo método mais simples e a com a teoria ilustrada por bons exemplos. Era preferível começar a explicação de um assunto com casos muito simples (...)

<sup>144</sup> Nas escolas Petersburgo era costume iniciar-se o curso de resistência dos materiais com um estudo do estado plano de tensão. Esse método seguia o exemplo dos professores alemães, Grashof e Föppl. Esse caminho pareceu-me inadequado e difícil para os estudantes iniciantes. Assim, decidi começar minha explanação sobre o assunto com os problemas mais simples de tração e compressão, utilizando exemplos muito simples para familiarizar meus ouvintes com os conceitos, novos para eles, de "tensão", "deformação" e "módulo de elasticidade". Imediatamente após essa introdução teórica, deveria assinalar o significado prático desses conceitos, através de exemplos que poderiam ser aplicados em seguida para resolver problemas práticos. Seguindo essas linhas gerais, decidi dar um curso extremamente simples e elementar. A experiência posterior mostrou-me que esse plano de ação foi o mais adequado para meus jovens ouvintes.

<sup>145</sup> Eu sabia muito bem que somente aulas não são suficientes para o domínio de um assunto, sabia que são necessários também exercícios que mostrem aos alunos, através de exemplos, como uma teoria é aplicada e como problemas práticos são resolvidos. (...) deve-se selecionar bons problemas, que sejam de natureza tão prática quanto possível, e que sejam capazes de despertar o interesse de estudantes que se tornarão engenheiros. Gastei um bom tempo preparando os problemas. Mais tarde, esses problemas e suas soluções foram coletados e publicados como um pequeno livro, que circulou amplamente através de todas as escolas de engenharia russas. Posteriormente, usei os problemas na compilação de meus livros-texto de resistência dos materiais americanos. Os livros-texto foram traduzidos para várias línguas estrangeiras, assim, o trabalho feito tantos anos antes, em

(...) 1907, I gave a short elementary course on the strength of materials, the students using Kirpichev's book (...) In the fall of 1907 I started giving a fuller course (...) in which more complicated problems were dealt with (...) There being no suitable books for such a course, I decided to write one. I wrote it as I prepared my lectures, so that in the fall of 1908 my lectures were published in lithographed form. The final version was printed in 1911 and enjoyed great success, was adopted as a textbook in most Russian engineering schools (...) In America I revised this book and published it in two parts, in which form it still exists. It has been translated into a number of foreign languages and continues to be studied by many future engineers.<sup>146</sup>

(id., *ibid.*, p. 109)

Em 1920, Timoshenko assume a cadeira de Professor Resistência dos Materiais no Instituto Politécnico de Zagreb, Iugoslávia.

Em 1927, Timoshenko torna-se Professor na Universidade de Michigan.

The 1928-1929 school year began. (...) I used books published in Russia, because nothing suitable existed in English. To achieve my purposes I would have to write textbooks (...) I started with the one on strength of materials. I knew what the book should contain, and the needed material was in my Russian book. (...) I had trouble with the publisher too. When the book was being set, he decided that it was too long, so without my permission broke it into two parts<sup>147</sup> (id. *ibid.* p. 292)

For the study of the doctoral candidates there were no suitable books, so I had to write some. In 1930 I finished the one on strength of materials, which came out in two volumes, the first for beginners, the second for doctoral candidates and engineers.<sup>148</sup> (id. *ibid.* p. 301)

---

Kiev, não tinha sido em vão. Em várias partes do mundo futuros engenheiros ainda estão estudando os problemas que eu formulei.

<sup>146</sup> (...) [em] 1907, ministrei um breve curso elementar de resistência dos materiais, [no qual] os estudantes usaram o livro de Kirpichev (...) No outono de 1907, comecei a ministrar um curso mais completo (...) no qual problemas mais complicados foram enfrentados (...) não havendo livros adequados para tal curso, decidi escrever um. Eu o escrevi à medida preparava minhas aulas, de modo que, no outono de 1908, minhas aulas foram publicadas em forma litografada. A versão final foi impressa em 1911 e alcançou grande sucesso, sendo adotada como livro-texto na maioria das escolas de engenharia russas (...) Nos Estados Unidos revisei esse livro e publiquei-o em duas partes, forma na qual ele ainda existe. O livro foi traduzido para várias línguas estrangeiras e continua a ser estudado por muitos futuros engenheiros.

<sup>147</sup> Começou o ano letivo de 1928-1929. (...) Eu usei livros publicados na Rússia porque nada apropriado existia em inglês. Para atingir meus propósitos eu teria que escrever livros-texto (...) comecei com o de resistência dos materiais. Eu sabia o que o livro deveria conter e o material necessário estava em meu livro russo. (...) Também tive problemas com o editor. Quando o livro estava sendo finalizado, ele decidiu que era muito longo e, sem minha permissão, dividiu-o em duas partes.

<sup>148</sup> Para o estudo dos doutorandos não havia nenhum livro apropriado, tive, então, que escrever alguns. Em 1930, terminei o de resistência dos materiais, que saiu em dois volumes, o primeiro para iniciantes, o segundo para doutorandos e engenheiros.

### 2.11.3. Prefácio da primeira edição de “Strength of Materials”

At present time, a decided change is taking place in the attitude of designers towards the application of analytical methods in the solution of engineering problems. Design is no longer based principally upon empirical formulas. The importance of analytical methods with laboratory experiments in the solution of technical problems is becoming generally accepted.

Types of machines and structures are changing very rapidly, especially in the new fields of industry, and usually time does not permit the accumulation of the necessary empirical data. The size and cost of structures are constantly increasing, which consequently creates a severe demand for greater reliability in structures. The economical factor in design under the present conditions of competition is becoming of growing importance. The construction must be sufficiently strong and reliable, and yet it must be designed with the greatest possible saving in material. Under such conditions, the problem of a designer becomes extremely difficult. Reduction in weight involves an increase in working stresses, which can be safely allowed only on a basis of careful analysis of stress distribution in the structure and experimental investigation of the mechanical properties of the materials employed.

It is the aim of this book to present problems such that the student's attention will be focussed on the practical applications of the subject. If this is attained, and results, in some measure, in the increased correlation between the studies of strength of materials and engineering design, an important forward step will have been made.

The book is divided into two volumes. The first volume contains principally material which is usually covered in required courses of strength of materials in our engineering schools. The more advanced portions of the subject are of interest chiefly to graduate students and research engineers, and are incorporated in the second volume of the book. This contains also the new developments of practical importance in the field of strength of materials.

In writing the first volume of strength of materials, attention was given to simplifying all derivations as much as possible so that a student with the usual preparation in mathematics will be able to read it without difficulty. For example, in deriving the theory of the deflection curve, the *area moment method* was extensively used. In this manner, a considerable simplification was made in deriving the deflections of beams for various loading and supporting conditions. In discussing statically indeterminate systems, the *method of superposition* was applied, which proves very useful in treating such problems as continuous beams and frames. For explaining combined stresses and deriving principal stresses, use was made of the *Mohr's circle*, which represents a substantial simplification in the presentation of this portion of the theory.

Using these methods of simplifying the presentation, the author was able to condensate the material and to discuss some problems of a more advanced character. For example, in discussing torsion, the twist of rectangular bars and of rolled sections, such as angles, channels, and I beams, is considered. The deformation and stress in helical springs are discussed in detail. In the theory of bending, the case of non-symmetrical cross sections is discussed, the *center of twist* is defined and explained, and the effect of shearing force on the deflection of beams is considered. The general theory of the bending of beams, the materials of which do not follow Hooke's law, is given and is applied in the bending of beams beyond the yielding point. The bending of reinforced concrete beams is given consideration. In discussing combinations of direct and bending stress, the effect of deflection on the bending moment is considered, and the limitation of the method of superposition is explained. In treating combined bending and torsion, the cases of rectangular and elliptical cross sections are discussed, and applications in the design of crankshafts are given. Considerable space in the book is devoted to methods for solving elasticity problems based on the consideration of the strain energy of elastic bodies. These methods are applied in discussing statically indeterminate systems. The stresses produced by impact are also discussed. All these problems of more advanced character are printed in small type, and may be omitted during first reading of the book.



The book is illustrated with a number of problems to which solutions are presented. In many cases, the problems are chosen so as to widen the field covered by the text and to illustrate the application of the theory in the solution of design problems. It is hoped that these problems will be of interest for teaching purposes, and also useful for designers.

The author takes this opportunity of thanking his friends who have assisted him by suggestions, reading of manuscript and proofs, particularly Messrs. W. M. Coates and L. H. Donnell, teachers of mathematics and mechanics in the Engineering College of the University of Michigan, and Mr. F. L. Everett of Department of Engineering Research of the University of Michigan. He is indebted also to Mr. F. C. Wilharm for the preparation of drawings, to Mrs. E. D. Webster for the typing of the manuscript, and to the Van Nostrand Company for its care in the publication of the book.<sup>149</sup> S. Timoshenko - Ann Arbor, Michigan, May, 1930.

---

<sup>149</sup> Atualmente, uma acentuada mudança está ocorrendo na atitude dos projetistas, em relação à aplicação de métodos analíticos na solução de problemas de engenharia. Os projetos já não se baseiam apenas em fórmulas empíricas. A importância dos métodos analíticos, combinados com experimentos de laboratório, na solução de problemas técnicos tem sido amplamente aceita.

Os tipos de máquinas e de estruturas estão mudando muito rapidamente, especialmente em novos campos da indústria, e o tempo, geralmente, não permite a aquisição dos dados empíricos necessários. O tamanho e o custo das estruturas estão aumentando constantemente, o que, conseqüentemente, cria uma severa demanda por maior confiabilidade. O fator econômico no projeto, nas atuais condições de competição, está adquirindo uma importância crescente. A construção deve ser suficientemente resistente e confiável e, ainda, deve ser concebida com a maior economia possível de material. Sob tais condições, o problema de um projetista torna-se extremamente difícil. A redução de peso implica o aumento de tensões, o que pode ser admitido com segurança somente com base na análise cuidadosa de distribuição de tensões na estrutura e na investigação experimental das propriedades mecânicas dos materiais empregados.

O objetivo deste livro é apresentar problemas tais que a atenção do estudante se foque nas aplicações práticas do assunto. Se isto for atingido e resultar, em alguma medida, numa maior correlação entre os estudos da resistência dos materiais e o projeto de engenharia, um importante passo à frente terá sido dado.

O livro é dividido em dois volumes. O primeiro volume contém, principalmente, a matéria que, em geral, é ministrada nos cursos da resistência dos materiais em nossas escolas de engenharia. As partes mais avançadas do assunto são de interesse, principalmente, de engenheiros de pesquisa e estudantes de pós-graduação e são incorporadas no segundo volume do livro. Este contém, também, os novos desenvolvimentos de importância prática no campo da resistência dos materiais.

Na redação do primeiro volume de resistência dos materiais, procurou-se simplificar todas as derivações, tanto quanto possível, para que um estudante com a habitual preparação em matemática seja capaz de lê-lo sem dificuldade. Por exemplo, na dedução da teoria da linha elástica, o *método de momento de área* foi usado extensivamente. Desta forma, fez-se uma simplificação considerável na derivação das deflexões de vigas para vários carregamentos e condições de apoio. Ao discutir sistemas estaticamente indeterminados, foi aplicado o *método de superposição*, que se mostra muito útil na solução de problemas como os de pórticos e vigas contínuas. Para explicar as tensões combinadas e deduzir as tensões principais, foi feito uso do círculo de Mohr, que representa uma simplificação substancial na apresentação desta parte da teoria.

Usando estes métodos para simplificar a apresentação, o autor foi capaz de condensar o material e discutir alguns problemas de caráter mais avançado. Por exemplo, ao discutir a torção, foram consideradas as barras de seção retangular, as barras laminadas de seção L, de seção U e de seção I. A deformação e a tensão em molas helicoidais são discutidas em detalhe. Na teoria da flexão, é discutido o caso das seções transversais não simétricas, o centro de torção é definido e explicado e é considerado o efeito das forças cortantes na deflexão de vigas. A teoria geral da flexão das vigas, cujos materiais não seguem a lei de Hooke, é dada e é aplicada na flexão de vigas além do limite de escoamento. A flexão de vigas de concreto armado é considerada. Ao discutir a combinação de tensões de flexão, é considerado o efeito das deflexões sobre o momento fletor, e a limitação do método da superposição é explicada. No tratamento da flexão combinada com torção, são discutidos os casos de seções transversais retangulares e elípticas, e aplicações ao projeto de virabrequins são dadas. Espaço considerável do livro é dedicado aos métodos para resolução de problemas de elasticidade, com base na consideração da energia de deformação dos corpos elásticos. Esses métodos são aplicados na discussão de sistemas estaticamente indeterminados. As tensões produzidas pelo impacto também são discutidas. Todos estes problemas de caráter mais avançado são impressos tipos menores e podem ser omitidos na primeira leitura do livro.

O livro é ilustrado com uma série de problemas cujas soluções são apresentadas. Em muitos casos, os problemas são escolhidos de modo a ampliar o campo coberto pelo texto e para ilustrar a aplicação da teoria na solução de

### 2.11.4. Prefácio da segunda edição de “Strength of Materials”.

In preparing the second edition of this volume, an effort has been made to adapt the book to the teaching requirements of our engineering schools.

With this view, a portion of material of a more advanced character which was contained in the previous edition of this volume has been removed and will be included in the new edition of the second volume. At the same time, some portions of the book, which were only briefly discussed in the first edition, have been expanded with the intention of making the book easier to read for the beginner. For this reason, chapter II, dealing with combined stresses, has been entirely rewritten. Also, the portion of the book dealing with shearing force and bending moment diagrams has been expanded, and a considerable amount of material has been added to the discussion of deflection curves by the integration method. A discussion of column theory and its application has been included in chapter VIII, since this subject is usually required in undergraduate courses of strength of materials. Several additions have been made to chapter X dealing with the application of strain energy methods to solution of statically indetermined problems. In various parts of the book there are many new problems which may be useful for class and home work.

Several changes in the notations have been made to conform to the requirements of American Standard Symbols for Mechanics of Solid Bodies recently adopted by The American Society of Mechanical Engineers.

It is hoped that with the changes made the book will be found more satisfactory for teaching the undergraduate course of strength of materials and that it will furnish a better foundation for the study of the more advanced material discussed in the second volume.<sup>150</sup> - S. Timoshenko - Palo Alto, California - June, 13, 1940

problemas de projeto. Espera-se que estes problemas sejam de interesse para fins de ensino e úteis para os projetistas.

O autor aproveita a oportunidade para agradecer a seus amigos que o ajudaram com sugestões e com a leitura do manuscrito e das provas, particularmente os Srs. W. M. Coates e L. H. Donnell, professores de matemática e mecânica na faculdade de engenharia da Universidade de Michigan e o Sr. F. L. Everett, do departamento de engenharia e pesquisa da Universidade de Michigan. O autor agradece, também, ao Sr. F. C. Wilharm, pela preparação dos desenhos, à Sra. E. D. Webster, pela digitação do manuscrito, e à Van Nostrand Company, por seu cuidado na publicação do livro. S. Timoshenko - Ann Arbor, Michigan, May, 1930.

<sup>150</sup> Na preparação da segunda edição deste volume, houve um esforço para adaptar o livro aos requisitos de ensino de nossas escolas de engenharia.

Com isso em vista, uma parte da matéria, de caráter mais avançado, que estava contida na edição anterior deste volume foi removida e será incluída na nova edição do segundo volume. Ao mesmo tempo, expandiram-se algumas partes do livro, que foram apenas brevemente discutidas na primeira edição, com a intenção de fazer o livro mais fácil de ler para o iniciante. Por esta razão, o capítulo II, que trata de tensões combinadas, foi totalmente reescrito. Além disso, expandiu-se a parte do livro que trata dos diagramas de forças cortantes e momentos fletores e foi adicionada uma quantidade considerável de material para a discussão das linhas elásticas pelo método da integração. Uma discussão sobre a teoria de colunas e sua aplicação foi incluída no capítulo VIII, já que esse assunto é geralmente exigido em cursos de graduação de resistência dos materiais. Vários acréscimos foram feitos no capítulo X sobre a aplicação dos métodos de energia de deformação para a solução de problemas estaticamente indeterminados. Em várias partes do livro, há muitos novos problemas que podem ser úteis para os trabalhos em classe e em casa.

Foram feitas várias alterações nas notações, em conformidade com as exigências do Padrão Americano de Símbolos para a Mecânica dos Corpos Sólidos, recentemente adotado pela Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos.

Espera-se que, com as alterações feitas, o livro se torne mais adequado para o ensino de resistência dos materiais nos cursos de graduação e que ele forneça uma base melhor para o estudo da matéria mais avançada, discutida no segundo volume.

S. Timoshenko - Palo Alto, California - June, 13, 1940.

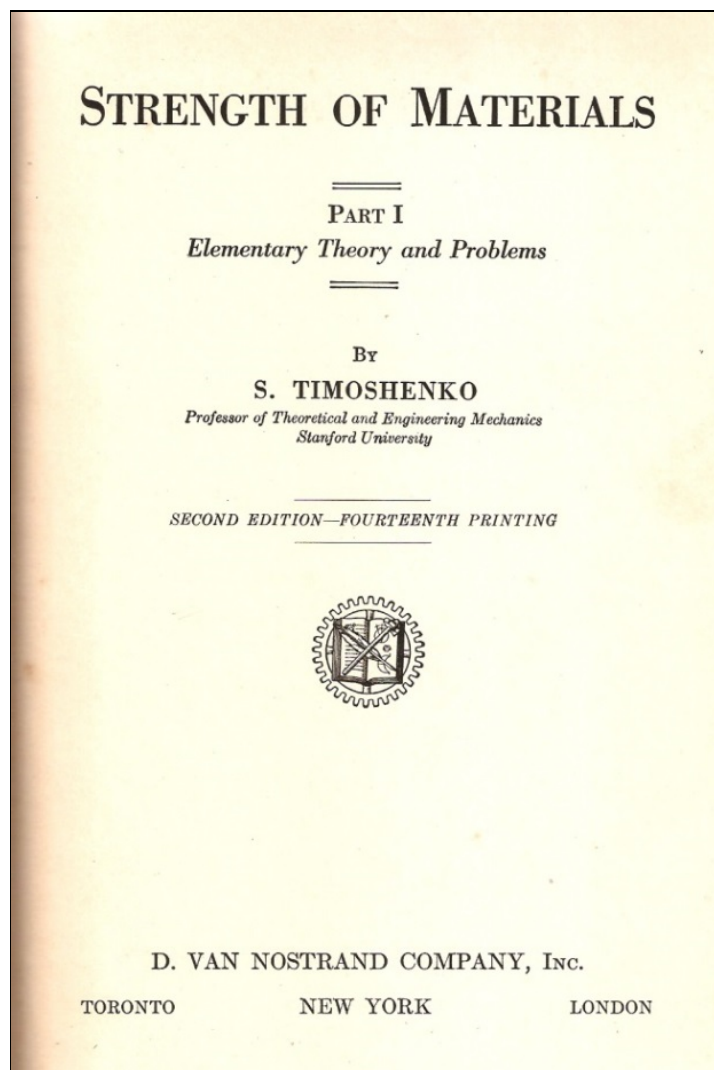


Figura 18. Frontispício da 2ª edição de Stregth of Materials<sup>151</sup>

### 2.11.5. A tradução para o português do livro de Timoshenko

Em 1945, é publicada no Brasil a tradução da 2ª edição de “Stregth of Materials”, de Timoshenko, com o título “Resistência dos Materiais”<sup>152</sup>, com tradução do Professor Antonio Alves de Noronha.<sup>153</sup>

<sup>151</sup> TIMOSHENKO, S. P. Strength of Materials. v1. 2ª ed. New York: D. Van Nostrand Company Inc., 1940.

<sup>152</sup> TIMOSHENKO, S. P. Resistencia dos Materiais. v1. Rio de Janeiro: Publicações Pan-Americanas Ltda., 1945.

<sup>153</sup> Antonio Alves de Noronha(1904-1987) Professor da disciplina “Pontes e Grandes Estruturas” na Escola Nacional de Engenharia (futura Politécnica de UFRJ).

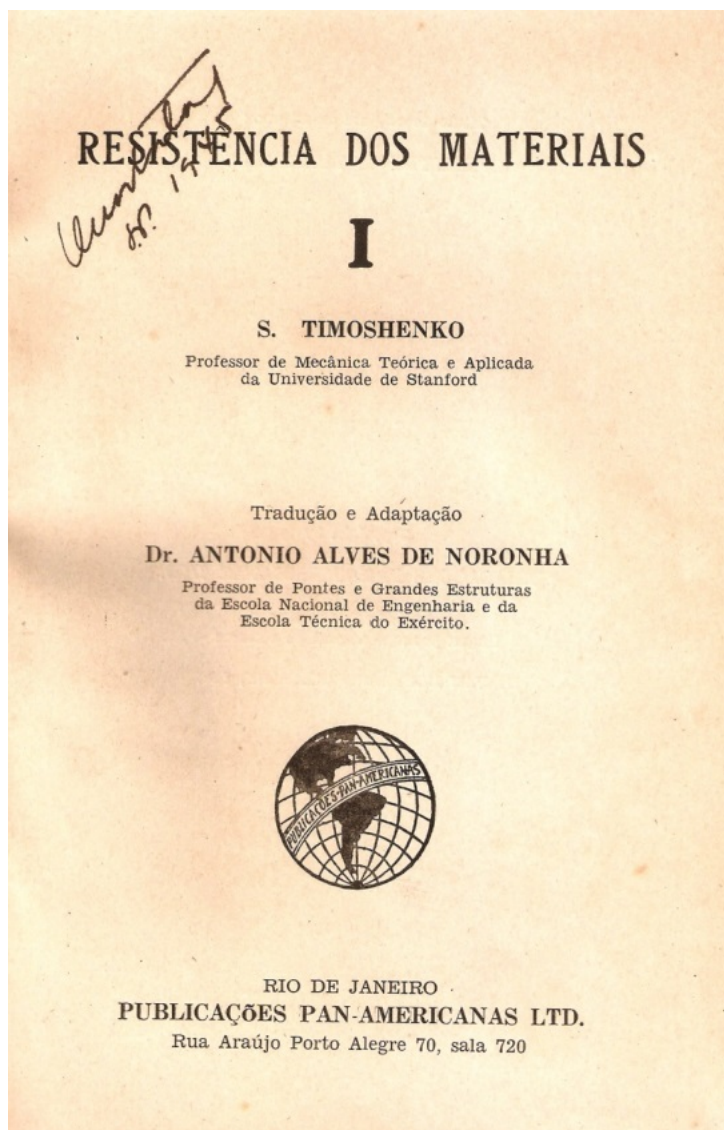


Figura 19. Frontispício da versão brasileira do livro de Timoshenko, 1945.

### 2.11.6. Prefácio do Professor Antonio Alves de Noronha

Tendo em vista a importância histórica do texto, o prefácio do Professor Noronha será reproduzido na íntegra:

#### PREFÁCIO DO TRADUTOR

O grande desenvolvimento industrial moderno repousa nos princípios e nas leis da ciência pura. Seus maiores progressos, registrados nestes últimos vinte e cinco anos, verificaram-se justamente nos países onde estava mais avançado o espírito científico. A influência deste na formação dos quadros técnicos é decisiva, já que exerce ação destacada não só sobre a educação como na evolução da cultura.

Da mesma maneira, origina a fundação de departamentos especializados para a execução de pesquisas e utilização dos seus resultados.

Houve época em que era corrente a idéia de que ao engenheiro bastavam, principalmente, conhecimentos práticos; prescindia-se, assim, duma formação teórica profunda. Esta época, porém, já passou e hoje já não se discute mais a necessidade que tem êsse profissional de estar familiarizado com a ciência pura, principalmente com os ramos que interessam à sua especialidade. Os planos do ensino técnico moderno são, todos êles, elaborados de acôrdo com êste conceito.

Por outro lado, é fato reconhecido por todos que os institutos de pesquisas científicas não devem mais deixar de considerar os problemas que interessam à vida prática; assim sendo, procura-se hoje acabar com a diferença profunda que havia entre ciência e técnica, o que, uma vez conseguido, será de grande alcance prático. As esperanças na realização dêste propósito se tornam maiores, dia a dia.

O valor das pesquisas científicas, em se tratando de problemas técnicos, se tem imposto, cada vez mais, à indústria, o que deu em resultado a fundação de laboratórios, não só oficiais como particulares. É de se esperar que êsses centros de pesquisas adquiram importância crescente, dado que contribuem para desenvolver conhecimentos valiosos não só para a técnica como para a ciência.

O reconhecimento atual do valor da ciência pura tem sua base no rápido desenvolvimento da grande indústria moderna. O engenheiro do passado dispunha de tempo suficiente para a solução de seus problemas técnicos, baseado em fórmulas empíricas. Nas suas próprias construções é que se achava seu campo de pesquisas; tudo isto era perfeitamente razoável, tendo-se em vista a lentidão do desenvolvimento industrial. A situação hodierna, porém, é bem diversa: a rapidez com que se deve executar uma construção não permite a obtenção de dados colhidos naquelas demoradas observações experimentais. Assim sendo, é óbvio que a existência de laboratórios de pesquisas para a colheita dos elementos necessários à elaboração da construção, se torne de importância capital. Um exemplo disso se encontra nas grandes conquistas da indústria moderna, como na eletrotécnica, na construção de aviões, turbinas etc. Tal surto rápido só foi possível pela utilização intensiva dos princípios científicos.

As idéias gerais que acabamos de expôr, aplicam-se igualmente quando se analisa a importância crescente que tem a teoria matemática da elasticidade no tratamento dos problemas técnicos. A realização de um cálculo prévio para as construções modernas e para os projetos de máquinas se torna cada vez mais necessária. Em muitas questões da técnica da construção moderna, as soluções elementares obtidas com o conhecimento da clássica resistência dos materiais não são suficientes; impõe-se um apelo aos métodos da teoria matemática da elasticidade, a fim de se obter um resultado mais real. Tomemos, como exemplo, o importante problema das concentrações de tensões produzidas por furos, saliências ou variações bruscas de seção nas barras. São inúmeros os acidentes que se têm verificado pelo aparecimento destas tensões locais elevadas, especialmente nos casos de vibrações ou cargas variáveis. Com o concurso dos métodos elementares não nos é possível chegar a um processo para o cálculo destas tensões. A teoria matemática da elasticidade, porém, nos fornece a solução real do problema.

Outro grupo de questões em que a análise matemática adquire importância fundamental é aquele em que aparecem tensões dinâmicas. Por exemplo, no caso de máquinas em que existam peças giratórias de grande velocidade, sujeitas, portanto, a choques e vibrações, não podemos obter melhores condições de estabilidade aumentando apenas as dimensões. A solução ótima, para êste caso, só será conseguida por meio de cálculo rigoroso. Teremos, então, que lidar com problemas de distribuição de tensões em discos giratórios, em eixos ôcos, em engrenagens; com problemas de velocidades críticas de eixos giratórios, de vibração de eixos com

torsão e de transmissões por meio de engrenagens. A aplicação de teoria matemática da elasticidade permite obter não só a solução do problema prático, como também a do seu aperfeiçoamento, mediante a elaboração de métodos aproximados. Nos últimos tempos fizeram-se grandes progressos na obtenção de métodos para solução das equações diferenciais que aparecem na teoria matemática da elasticidade. Tais progressos dizem respeito não só a processos gráficos como de cálculo numérico.

Para os casos em que a análise matemática não fornece nenhuma solução simples, foram construídos métodos experimentais visando o estudo da distribuição de tensões. Assim, o método foto-elástico, para determinação de tensões, em pesquisas realizadas com modelos de material transparente, adquire grande valor prático. Outro exemplo interessante se observa na determinação de tensões das barras sujeitas à torsão, por meio da analogia de membrana. Além disso, é fato sabido que a analogia hidrodinâmica, em se tratando das questões complicadas de tensões locais nos prismas sujeitos à torsão, leva a resultados valiosos. Tudo isso nos mostra quanto de útil se pode obter da união entre a ciência pura e a técnica.

Tudo que dissemos acima com referência à análise na teoria matemática da elasticidade, poderíamos dizer, também, com referência às pesquisas experimentais. Houve época em que só se empregavam nas construções aços-carbono comuns. Hoje, porém, usam-se aços especiais, em grande número, o que se fez possível pelo estudo cuidadoso das propriedades características de cada um deles. Ao progresso no setor da ciência metalúrgica e no das provas de material, feitos nêstes últimos vinte e cinco anos, devemos êstes resultados. O conhecimento das propriedades características do material, adquiriu grande importância, nos tempos modernos, devido à concorrência, cada vez mais acentuada, das organizações industriais. O construtor é obrigado a adotar taxas de trabalho maiores, e isto o conduz a um estudo mais profundo do material utilizado.

Outro ponto importante é o pêso próprio da construção. Antigamente, o engenheiro, para projetar uma máquina a vapor fixa, não necessitava conhecer-lhe o pêso total. Hoje, basta pensar nos aviões e nos submarinos para ver que a situação é bem diversa. Aqui a questão do pêso próprio merece atenção especial. O desenvolvimento das provas de material tem mostrado que as pesquisas estáticas do comportamento do material não são decisivas e que a escolha dêste deve ser baseada em provas dinâmicas.

Entre os engenheiros que mais têm contribuído para essa estreita ligação entre a ciência pura e a técnica destaca-se o professor Stephan Prokofievich Timoshenko, que tem dedicado tôda sua vida à aplicação da teoria matemática da elasticidade aos problemas da técnica. Nascido em Shpotovka, vila perto de Kiev, na Rússia, a 10 de Dezembro de 1878, formou-se em engenharia no anos de 1901 no Instituto de Estradas de S. Petersburgo (Leningrado). Durante o período de 1901 a 1906 ocupou o lugar de explicador, primeiramente no Instituto de Estradas e, depois, no Instituto Politécnico de S. Petersburgo. Esteve na Alemanha, onde passou um semestre de 1904 com August Föppl, em Munich, e um semestre nos anos 1905 e 1906 com Ludwig Prandtl, em Goettingen. Em 1906, aceitou o convite para ocupar a cadeira de Matemática Aplicada (Estática, Resistência dos Materiais e Teoria das Estruturas) no Instituto Politécnico de Kiev, ficando também encarregado do Laboratório de Pesquisas de Material. Em 1907, recebeu o grau de “Adjunto de Mecânica Aplicada” com a tese intitulada **Flambagem Lateral das Vigas**, que foi traduzida para o alemão e para o francês, tendo recebido menção honrosa da “Société des Ingenieurs des Ponts et Chaussées”, de Paris. Em 1909, foi eleito Deão da Escola de Engenharia Civil do Instituto Politécnico de Kiev. Em 1911, recebeu a medalha Jouravsky, pelo seu trabalho intitulado **Sôbre a Estabilidade dos Sistemas Elásticos**.

Em 1913, voltou ao Instituto de Estradas de S. Petersburgo, como professor de Teoria da Elasticidade, e de 1914 até 1918, ocupou também a cadeira de Teoria da Elasticidade Aplicada aos Navios, no Instituto Politécnico daquela cidade. Era, também, consultor das Estradas de Ferro Russas, da Marinha e da Aviação, durante a primeira guerra mundial.

Por ocasião da revolução russa de 1917, deixou S. Petersburgo e foi para Kiev, onde passou dois anos tomando parte ativa na organização da Academia de Ciências desta última cidade. Em 1920, Timoshenko estava em Zagreb, Iugoslavia, ocupando a cadeira de Mecânica Aplicada, no Instituto Politécnico, onde organizou o Laboratório de Pesquisas de Materiais.

Em 1922, a “Vibration Specialty Company”, de Filadelfia, convidou-o para ir aos Estados Unidos, admitindo-o como engenheiro consultor. No ano seguinte, tornou-se membro do corpode pesquisas da “Westinghouse Electric and Manufacturing Company”, de Pittsburg. Em 1927, aceitou o lugar de professor de “Engineering Mechanics”, na Universidade de Michigan, época em que se naturalizou cidadão norte-americano. O resultado imediato desta sua ligação com a Universidade foi de influência considerável no ensino da Mecânica na região, tendo sido publicados vários livros pelo ilustre autor. Timoshenko organizou, em Michigan, vários “Symposia” de verão, sôbre Mecânica Aplicada, que atraíram grande número de estudantes de diferentes partes dos Estados Unidos. Em 1936, procurou um clima mais salubre que o de Michigan, tendo assumido a cadeira de Mecânica Racional, na Universidade de Stanford. Nesta época recebeu a medalha “Worcester Reed Warner” da “American Society of Mechanical Engineers” e o grau de Doutor em Engenharia, conferido pela Universidade de Lehigh. Em 1938, obteve êste mesmo grau da Universidade de Michigan.

Traduzindo do inglês esta “Resistência dos Materiais”, tivemos em mira, unicamente, tornar mais acessível aos estudiosos da engenharia no Brasil, uma das grandes obras do eminente engenheiro. Êste livro, que tem como objetivo imediato os problemas da vida prática, repousa integralmente sôbre uma base científica pura e está redigido com caráter absolutamente didático.

Na tradução ora apresentada, tivemos o cuidado de transformar todas as unidades inglesas encontradas no texto em unidades métricas decimais, a fim de tornar mais fácil sua utilização pelos estudantes brasileiros. Não havendo ainda, entre nós, normas que definam e fixem as dimensões dos perfis dos ferros laminados, e como as normas norte-americanas dão estas dimensões em medidas inglesas, apelámos para as das indústrias alemãs, onde elas são expressas no sistema métrico decimal. Assim, nos problemas onde êstes perfis aparecem, o leitor terá de recorrer aos dados das indústrias alemãs.

À “Publicações Pan-Americanas”, devemos a iniciativa dêste proveitoso e louvável empreendimento, que tão grandes benefícios trará aos futuros engenheiros do Brasil.

Rio de Janeiro, Janeiro de 1945.

**Antonio Alves de Noronha**

O livro “Strength of Materials”, “Resistência dos Materiais” no Brasil, de Timoshenko, constitui-se num “divisor de águas”: ele define uma nova forma de apresentação da matéria e esse modelo será seguido por, praticamente, todos os autores.

Neste trabalho, o livro de Timoshenko será uma de nossas referências.





### **3. A GENEALOGIA BRASILEIRA DO LIVRO-TEXTO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**

A disciplina Resistência dos Materiais é parte da grade curricular dos cursos de engenharia. Assim, tendo em vista a inserção do livro-texto de Resistência dos Materiais num contexto histórico brasileiro, faremos um despretenso resgate da história da Educação no Brasil, dos seus primeiros passos, com a chegada dos jesuítas, aos cursos de engenharia do século XX.

Para dar início a essa breve jornada, reproduzimos abaixo as palavras do Professor Sérgio Buarque de Holanda (1902-1982), nas primeiras páginas do seu livro “Raízes do Brasil”.

A tentativa de implantação da cultura europeia em extenso território, dotado de condições naturais, se não adversas, largamente estranhas à tradição milenar, é, nas origens da sociedade brasileira, o fato dominante e mais rico em consequências. Trazendo de países distantes nossas formas de convívio, nossas instituições, nossas ideias, e timbrando em manter tudo isso em ambiente muitas vezes desfavorável e hostil, somos ainda hoje uns desterrados em nossa terra. Podemos construir obras excelentes, enriquecer nossa humanidade de aspectos novos e imprevistos, elevar à perfeição o tipo de civilização que representamos: o certo é que todo o fruto de nosso trabalho ou de nossa preguiça parece participar de um sistema de evolução próprio de outro clima e de outra paisagem.

Assim, antes de perguntar até que ponto poderá alcançar bom êxito a tentativa, caberia averiguar até onde temos podido representar aquelas formas de convívio, instituições e ideias de que somos herdeiros (HOLANDA, 2012, p. 31)<sup>154</sup>

A experiência e a tradição ensinam que toda cultura só absorve, assimila e elabora, em geral, os traços de outras culturas, quando estas encontram uma possibilidade de ajuste aos seus quadros de vida. Neste particular cumpre lembrar o que se deu com as culturas europeias transportadas ao Novo Mundo. Nem o contato e a mistura com as raças indígenas ou adventícias fizeram-nos tão diferentes dos nossos avós de além-mar como às vezes gostaríamos de sê-lo. No caso brasileiro, a verdade, por menos sedutora que possa parecer a alguns dos nossos patriotas, é que ainda nos associa à Península Ibérica, e a Portugal especialmente, uma tradição longa e viva, bastante viva para nutrir, até hoje, uma alma comum, a despeito de tudo quanto nos separa. Podemos dizer que de lá nos veio a forma atual de nossa cultura; o resto foi matéria que se sujeitou mal ou bem a essa forma. (id. *ibid.* p. 40)

#### **3.1. A educação no Brasil-Colônia (de 1500 a 1808)**

O primeiro movimento no sentido de implantar um sistema de educação europeu no Brasil ocorreu em 1549, quando desembarca, na Bahia, um grupo constituído por seis padres da Companhia de Jesus, liderados pelo padre Manoel da Nóbrega.

Quinze dias após sua chegada, os jesuítas edificam a primeira escola elementar brasileira, em Salvador, na qual lecionou o Irmão Vicente Rodrigues, com apenas 21 anos. Irmão Vicente tornou-se, assim, o primeiro professor, nos moldes europeus, em terras brasileiras. De Salvador, a obra jesuítica irradia-se para outras regiões e, em 1570, vinte e um

---

<sup>154</sup> HOLANDA, Sérgio Buarque. Raízes do Brasil. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

anos após a chegada da Companhia de Jesus, contavam-se cinco escolas de instrução elementar (Porto Seguro, Ilhéus, São Vicente, Espírito Santo e São Paulo de Piratininga) e três colégios (Rio de Janeiro, Pernambuco e Bahia). (BELLO, 2001) <sup>155</sup>

No Brasil, foram ainda os jesuítas, durante os primeiros séculos, os únicos portadores de uma organização que se orientava segundo um espírito positivamente constructor. (...) Representaram – diz um historiador – “o que a iniciativa privada tinha de mais lucido e engenhoso nas colônias tropicais; foram, devéras, os primeiros colonos que se ajudaram da ciência e exploraram tecnicamente as riquezas do solo” (HOLLANDA, 1936, p. 65) <sup>156</sup>

Na Colônia, as duas principais atividades dos jesuítas eram a pregação da fé católica e o trabalho educativo. Ensinavam as primeiras letras, a gramática latina e os costumes europeus.

Por um lado, ao se analisar o primeiro plano educacional, elaborado pelo padre Manoel da Nóbrega, percebe-se a intenção de catequizar e instruir os indígenas, como determinavam os “Regimentos”; percebe-se, também, a necessidade de incluir os filhos dos colonos, uma vez que, naquele instante, eram os jesuítas os únicos educadores de profissão que contavam com significativo apoio real na colônia. (...) O plano de estudos propriamente dito foi elaborado de forma diversificada, com o objetivo de atender à diversidade de interesses e de capacidades. Começando pelo aprendizado do português, incluía o ensino da doutrina cristã, a escola de ler e escrever. Daí em diante, continua, em caráter opcional, o ensino de canto orfeônico e de música instrumental e uma bifurcação tendo em um dos lados o aprendizado profissional e agrícola e, de outro, aula de gramática e viagem de estudos à Europa. (RIBEIRO, 1982, p. 26, 27) <sup>157</sup>

Numa época em que o latim era a língua do culto católico, eram uma revolução os hinos, cânticos e orações em “língua geral”, a língua por eles sistematizada e que se tornaria, até o século XVIII, a principal forma de comunicação no Sul da Colônia, onde, na prática, o português era desconhecido. (CALDEIRA, 1997, p. 37) <sup>158</sup>

(...) ainda no século XVIII as crianças iam aprender o português nos colégios como as de hoje aprendem o latim. (HOLLANDA, 2012, p. 102)

Em 1599, a Companhia de Jesus publica o *Ratio Studiorum* que determina as linhas mestras a serem seguidas pelos padres professores da ordem. Nas palavras de Maria Luísa S. Ribeiro:

Nota-se que a orientação contida no *Ratio Studiorum*, que era a organização e o plano de estudos da Companhia de Jesus, publicado em 1599, concentra sua programação nos elementos da cultura europeia. Evidencia desta forma um interesse ou a constatação da impossibilidade de “instruir” também o índio.

Era necessário concentrar pessoal e recursos em “pontos estratégicos”, já que aqueles eram reduzidos. E tais “pontos” eram os filhos dos colonos em detrimento do índio: os futuros sacerdotes em detrimento do leigo, justificam os religiosos.

---

<sup>155</sup> BELLO, José Luiz de Paiva. Educação no Brasil: a História das rupturas. Pedagogia em Foco, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://www.pedagogiaemfoco.pro.br/heb14.htm>

<sup>156</sup> HOLLANDA, Sergio Buarque. Raízes do Brasil. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1936.

<sup>157</sup> RIBEIRO, Maria L. S. História da Educação Brasileira. São Paulo: Editora Moraes Ltda., 1982.

<sup>158</sup> CALDEIRA, Jorge. História do Brasil. 2ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

Verifica-se, desta maneira, que os colégios jesuíticos foram o instrumento de formação da elite colonial.

O plano legal (catequizar e instruir os índios) e o plano real se distanciam. Os instruídos serão descendentes dos colonizadores. Os indígenas serão apenas catequizados. (RIBEIRO, op. cit., p. 29)

Nelson Piletti nos diz:

Segundo a *Ratio Studiorum* – plano completo dos estudos mantidos pela Companhia de Jesus – além das aulas elementares de ler e escrever, eram oferecidos três cursos: o curso de Letras e o de Filosofia e Ciências, considerados de nível secundário, e o curso de Teologia e Ciências Sagradas, de nível superior e destinado, principalmente, à formação de sacerdotes.

Concluídos os cursos de Letras Humanas e de Filosofia e Ciências, os jovens que não se orientassem para a carreira eclesiástica e que pretendessem continuar seus estudos deviam fazê-lo na Europa. A Universidade de Coimbra (Portugal) era a mais famosa no campo das ciências teológicas e a de Montpellier (França) a mais procurada na área de Medicina.

(...) Depois do curso de Letras Humanas, os estudantes frequentavam as classes de Filosofia. Esta compreendia estudos de Lógica, Metafísica, Moral, Matemática e Ciências Físicas e Naturais. Sua duração global chegava a três anos. Desta forma, pode-se afirmar que os cursos de grau médio, Letras Humanas e Filosofia tinham uma duração global aproximada de nove anos. (PILETTI, 1991, p. 35, 36)<sup>159</sup>

Temos, assim, que as primeiras aulas de Lógica, Matemática e Ciências Físicas e Naturais, no Brasil, são ministradas pelos jesuítas.

(...) Fica patente que, durante a Colônia, não houve aporte significativo da Ciência moderna, na prática geral das técnicas. Todos os processos de construção, militares ou religiosas, são muito semelhantes aos das artes medievais e renascentistas (...) talvez se possa fazer uma exceção no caso dos assim chamados “padres matemáticos”, jesuítas que tinham, nos seminários, algum ensinamento científico, principalmente de elementos das matemáticas. (VARGAS, 1994, p.17)<sup>160</sup>

Se, por um lado, os jesuítas proporcionavam a única educação de qualidade que se podia obter na Colônia, também mantiveram o Brasil completamente afastado do desenvolvimento científico que ocorria na Europa.

(...) a formação intelectual oferecida pelos jesuítas e, portanto, a formação da elite colonial, será marcada por uma intensa “rigidez” na maneira de pensar e, conseqüentemente, de interpretar a realidade.

(...) selecionavam cuidadosamente os livros e exerciam rigoroso controle sobre as questões a serem suscitadas pelos professores, especialmente em Filosofia e em Teologia. Um trecho de uma das regras do *Ratio Studiorum* diz o seguinte: “Se alguns forem amigos de novidades ou de espírito demasiado livre devem ser afastados sem hesitação do serviço docente.” (RIBEIRO, op. cit., p. 30)

Foram ainda os jesuítas que representaram, melhor que ninguém, esse princípio da disciplina pela obediência. Mesmo em nossa América do Sul, eles deixaram disso um exemplo memorável com suas reduções e doutrinas. Nenhuma tirania moderna, nenhum teórico da ditadura do proletariado ou do Estado totalitário, chegou sequer a vislumbrar a possibilidade desse prodígio de racionalização que conseguiram os padres da Companhia de Jesus em suas missões.

(HOLANDA, 2012, p. 39)

<sup>159</sup> PILETTI, Nelson. História da Educação no Brasil. São Paulo: Editora Ática S.A. 1991.

<sup>160</sup> VARGAS, Milton. História da técnica e da tecnologia no Brasil. São Paulo: UNESP, 1994.

O isolamento em que o Brasil foi mantido, durante mais de duzentos anos, pode ser considerado uma das causas do atraso, em relação à ciência europeia, que seria sentido por muito tempo, ao longo de sua história futura.

Em 1759, portanto duzentos e dez anos após sua chegada ao Brasil, os jesuítas são expulsos pelo ministro português Sebastião José de Carvalho e Melo, o Marquês de Pombal.

Para o Brasil, isso foi um problema. Em duzentos anos, os jesuítas haviam consolidado uma posição importante na política de tratamento dos índios. Também desempenharam papel fundamental no precário sistema de educação colonial. Com a expulsão, a região amazônica entrou em estagnação e, no resto da Colônia, foram fechados os melhores colégios disponíveis. (CALDEIRA, op. cit., p. 103)

O número de estabelecimentos que a ordem possuía quando de sua expulsão (1759) varia segundo os autores. Para Tito Lívio Ferreira eram “vinte Colégios, doze Seminários, um Colégio e um Recolhimento Feminino (...)”. Para Fernando de Azevedo eram “36 residências, 36 missões e 17 colégios e seminários, sem contar os seminários menores e as escolas de ler e escrever (...)”. (RIBEIRO, op.cit., p. 33)

Se durante os dois séculos de educação jesuítica a ciência no Brasil se manteve estagnada, ao menos houve um pensamento e uma linha condutora, mantidos pela Companhia de Jesus. A extinção daquela organização de ensino criou o caos educacional no país. Não havia uma outra estrutura ou um outro sistema educacional que pudesse substituir o dos jesuítas.

(...) o ensino brasileiro, ao iniciar-se o século XIX, estava reduzido a pouco mais que nada, em parte como consequência do desmantelamento do sistema jesuítico, sem que nada de similar fosse organizado em seu lugar. (PILETTI, op. cit., p. 37)

Assim entrou o Brasil no século XIX. O pouco que havia sido edificado pelos jesuítas fora destruído, a ciência moderna, em plena efervescência na Europa, não havia chegado às terras tropicais e, de maneira geral, o nosso lastro cultural, do ponto de vista europeu, era quase nulo. Algumas poucas iniciativas de educação técnica, com algum embasamento matemático, ocorreram ao longo dos primeiros três séculos, sempre tendo em vista a defesa militar do território.

### 3.1.1. As primeiras Aulas Militares no Brasil

Uma instituição de ensino começava, em geral, com a denominação de Aula, passando, após, à de Academia. Os documentos da época, até o século XIX, não dão importância à denominação exata e é comum encontrar-se, indiferentemente, para o mesmo órgão, os títulos de Aula Militar, Academia Militar, Aula Régia e Academia Real. (PARDAL, 1985, p. 48)<sup>161</sup>

A engenharia moderna nasceu dentro dos exércitos; a descoberta da pólvora e depois o progresso da artilharia, obrigaram a uma completa modificação nas obras de fortificação, que, principalmente a partir do século XVII, passaram a exigir profissionais habilitados para o seu planejamento e execução.

(TELLES, 1984, p.2)<sup>162</sup>

<sup>161</sup> PARDAL, Paulo. Brasil, 1792: Início do Ensino da Engenharia Civil e da Escola de Engenharia da UFRJ. Rio de Janeiro: Gráfica e Editora Danúbio, 1985.

<sup>162</sup> TELLES, P. C. S. História da Engenharia no Brasil. V1 (séculos XVI a XIX). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1984.

Podemos considerar como marco inicial desse ‘movimento de modernização’ do exército português a chamada “Aula da Esfera”, que passou a ser ministrada em 1590, no Colégio de Santo Antão, da ordem dos jesuítas, em Lisboa.

A importância que atribuímos à *Aula da Esfera* justifica-se por ter sido ela a responsável pela introdução do ensino das matemáticas no colégio dos jesuítas de Lisboa. (VALENTE, 2007, p. 28).<sup>163</sup>

Entre 1648 e 1650, acontece o que é considerado o “primeiro ensino militar no Brasil”: são cursos ministrados pelo holandês Miguel Timermans, “engenheiro de fogo”, que deveria formar militares encarregados de fortificações. (LUCENA, 2005, p. 19)<sup>164</sup>.

Não sabemos onde, no Brasil, esteve esse holandês, em que consistia o seu curso, qual sua finalidade e que duração teve. (TELLES, op. cit., p. 65)

Em 1699, surge em território brasileiro a primeira “Aula de Fortificação”, no Rio de Janeiro.

Foi instituída, então, em 1699, a Aula de Fortificação, a cargo do Capitão Engenheiro GREGÓRIO GOMES RODRIGUES<sup>165</sup>, enviado ao Brasil em janeiro de 1694 para dar aulas aos condestáveis (comandantes de forças ou chefes de artilheiros) e aos artilheiros do Rio de Janeiro. Como material didático de suporte às aulas foi utilizado o livro “Método Lusitânico de Desenhar as Fortificações das Praças Regulares e Irregulares”, de autoria de Tenente-General LUÍS SERRÃO PIMENTEL, editado em 1680. (...) ele evidencia o excelente nível de conhecimento da engenharia militar portuguesa no final do século XVII e foi a base documental para o ensino formal de engenharia em Portugal e no Brasil.

(LUCENA, op. cit., p. 19)

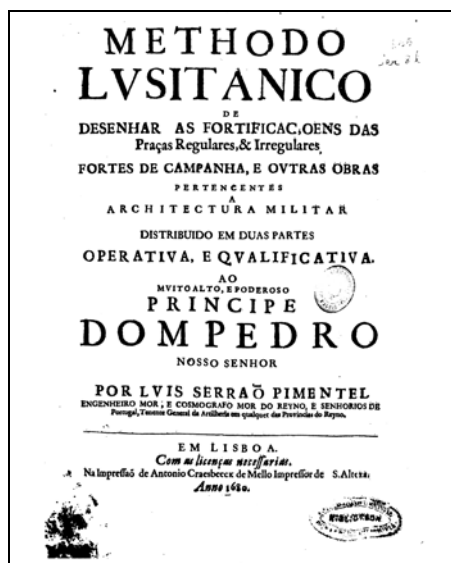


Figura 20. Frontispício do livro do Tenente-General Luis Serrão Pimentel, ed. 1680.

<sup>163</sup> VALENTE, W. R. Uma história da matemática escolar no Brasil, 1730-1930. 2ª ed. São Paulo: Annablume Editora, 2007.

<sup>164</sup> LUCENA, Luiz Catelliano de. Um breve histórico do IME – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2005.

<sup>165</sup> Aqui há um erro no texto de Lucena: o nome correto é Gregório Gomes Henriques.

Em 1710, em Salvador, foi criada a Aula de Fortificação e Artilharia, tendo como professor, entre outros, o Sargento-Mor Engenheiro JOSÉ ANTÔNIO CALDAS. Até 1829 ainda funcionava a Aula de Salvador, no Forte de São Pedro. Estes foram, presumivelmente, os primeiros cursos regulares ocorridos no Brasil, já que algumas iniciativas foram avulsas e descontínuas, dependendo de professores especialmente contratados. (id. ibid.p. 19)

Enquanto isso, em 1718, havia, no Recife, uma Aula de Fortificação, em que se ensinavam as partes essenciais de um curso de matemática. (id. ibid. p. 19)

É curioso observar que essas Aulas foram as primeiras instituições leigas de ensino que existiram no Brasil, já que por essa época todo ensino, em todos os níveis, estava inteiramente entregue às ordens religiosas, principalmente aos jesuítas. (TELLES, op. cit. p. 67)

Em Portugal, desde o início do Séc. XVIII, já havia começado um surto de progresso da engenharia (...) por iniciativa do Rei D. João V, que queria recuperar o atraso em que o país se encontrava, em relação a outras nações. Para esse progresso muito contribuíram Manoel de Azevedo Fortes, engenheiro-mor do Reino, e o Colégio de Santo Antão, dirigido pelos padres jesuítas, no qual, desde o Séc. XVI, havia a *Aula da Esfera*, onde se ensinava matemática aplicada à navegação e às fortificações, e de onde provieram muitos dos engenheiros militares que atuaram no Brasil-Colônia. (...) Azevedo Fortes nunca esteve no Brasil, mas a sua influência foi grande na nossa engenharia, pelos projetos que fez, pelos muitos engenheiros seus alunos que aqui trabalharam e, principalmente, pelo seu livro clássico *O Engenheiro Português*, verdadeira enciclopédia de todos os conhecimentos de engenharia de sua época. (TELLES, op. cit., p. 2, 3)

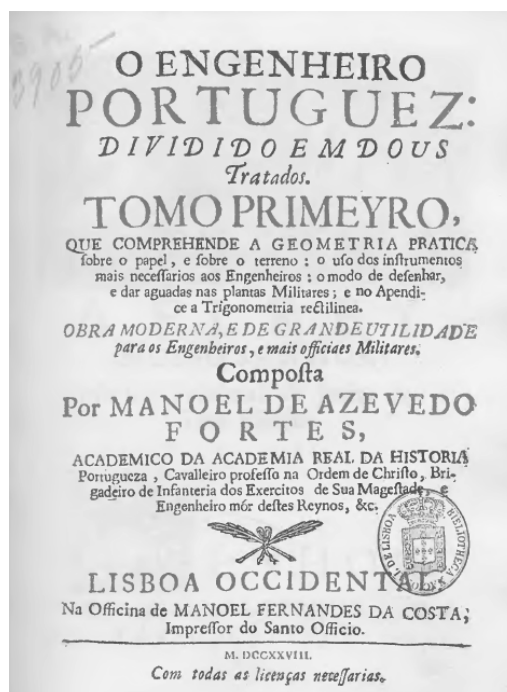


Figura 21. Frontispício de O Engenheiro Português, tomo I, 1728.

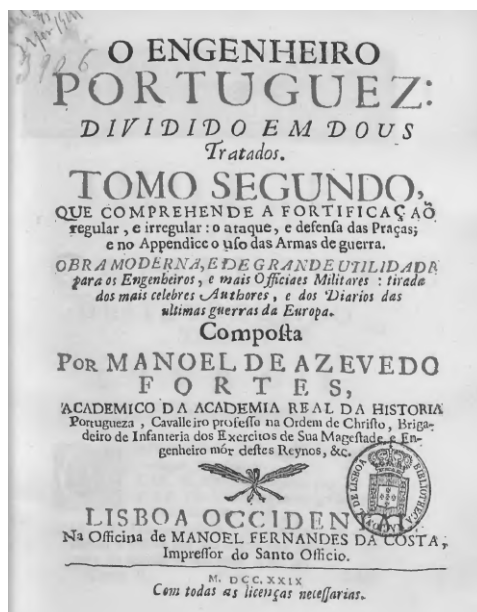


Figura 22. Frontispício de O Engenheiro Português, tomo II, 1729.

Em 1738, foi criada, Aula do Terço<sup>166</sup> de Artilharia do Rio de Janeiro, ampliação da existente em 1699. Nessa Aula só é citado como professor o Sargento-Mor Engenheiro José Fernandes Pinto Alpoim, o qual desenvolveu intensa atividade como construtor em diversas regiões do Brasil. Alpoim é autor de dois livros: Exame de Artilheiros, em 1744, e Exame de Bombeiros, em 1748, os primeiros livros didáticos escritos no Brasil.

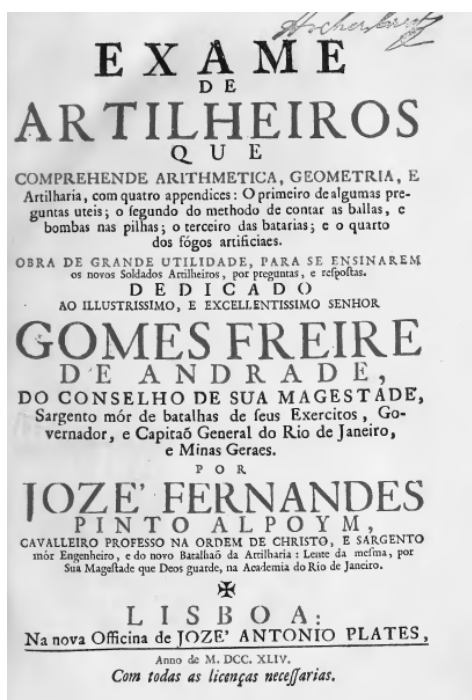


Figura 23. Frontispício de Exame de Artilheiros, 1744.

<sup>166</sup> “Terço” significa o mesmo que “Regimento”.

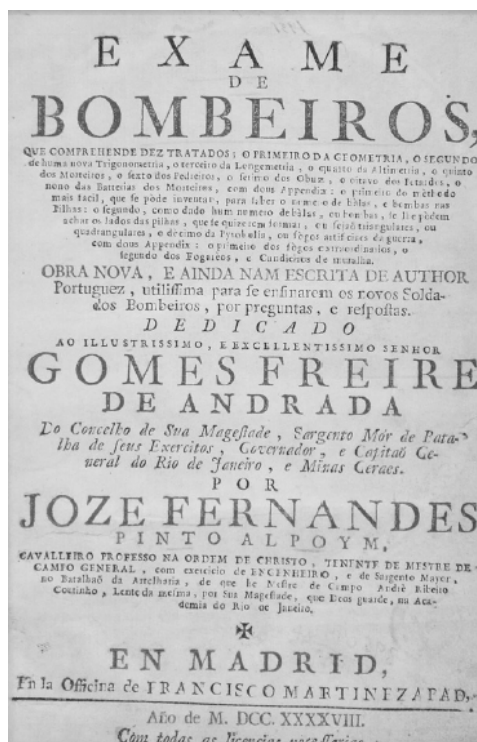


Figura 24. Frontispício de Exame de Bombeiros, 1748.

O “Exame de Artilheiros” é um “tratado”, de 259 páginas, de aritmética, geometria e artilharia. O “Exame de Bombeiros”, com 444 páginas, é um tratado de geometria, trigonometria, longimetria, morteiros, obuses, petardos, baterias e fogos artificiais.

Alpoim teria lecionado nessa Aula até sua morte, em 1765, segundo alguns autores, ou em 1770, segundo outros.

Em 1774, a Aula do Terço de Artilharia foi acrescida da cadeira de Arquitetura Militar, passando à denominação de Aula Militar do Regimento de Artilharia. Essa transformação, de acordo com Pirassinunga<sup>167</sup>, é extremamente significativa para a história da engenharia no Brasil:

A Aula do Regimento de Artilharia é aumentada em 1774 da cadeira de Arquitetura Militar.

É interessante conhecer a Carta enviada de Portugal ao Marquês do Lavradio, Vice-Rei em exercício, na qual são dados os informes necessários a esse fato, da mais alta importância para a história do ensino militar do Brasil (...)

Eis o documento em apreço:

“Ilmo. e Exmo. Snr. A bordo desta Nau vae o Capitão de Mineiros de Artilharia do Porto Antonio Joaquim de Oliveira nomeado por sua Magestade Tenente Coronel e Lente da Aula do Regimento de Artilharia dessa Capital; com a obrigação de ensinar igualmente a Arquitetura Militar a seis Aulistas Praticantes, escolhidos por V. Exa. (...) Ao Tenente Coronel Antonio Joaquim de Oliveira se entregam os instrumentos matematicos que constam da relação junta; Quatorze Jogos do *Novo Curso de Matematica de Bélidor*<sup>168</sup>, e um volume da *La Science de Ingenieurs*<sup>169</sup> do mesmo *Bélidor*<sup>170</sup> (...)

<sup>167</sup> PIRASSINUNGA, Adailton Sampaio. O ensino militar no Brasil (período colonial). Rio de Janeiro: Biblioteca de Exército Editora, 1958.

<sup>168</sup> BÉLIDOR, Bernard Forest. Nouveau cours de mathématique. Paris, 1725.



Deus Guarde a V. Exa. Palácio de N.Snra. da Ajuda em 18 de Setembro de 1774. Martinho de Mello e Castro” (...)

Vem, pois, a ser aquela carta de 18 de setembro de 1774 o marco inicial da formação de Engenheiros Militares no Brasil. (id. *ibid.* p. 25, 26, 27)

In 1720, several military schools were opened in France for the training of experts in fortifications and artillery, and (...) Bêlidor (1697-1761) published a textbook on mathematics for use in those schools.<sup>171</sup> (TIMOSHENKO, 1953, p. 41)

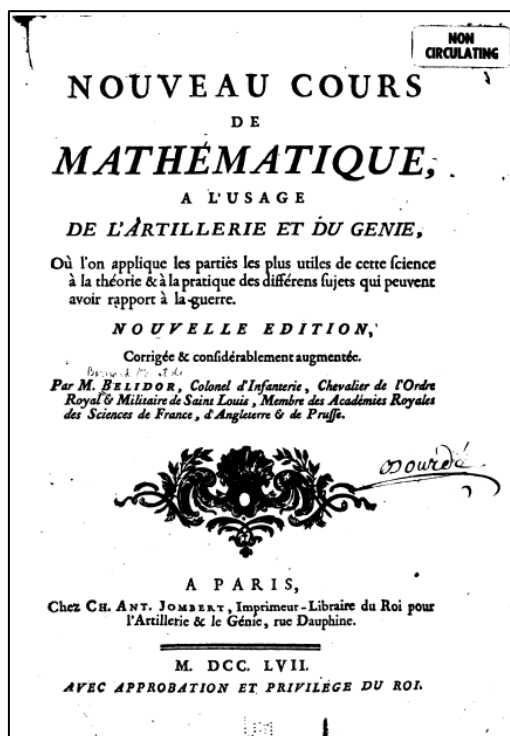


Figura 25. Frontispício de  
“Nouveau cours de Mathématique”, ed. 1757.

In 1729, Bêlidor's book “La Science des Ingénieurs” was published. This book enjoyed great popularity amongst structural engineers and was reprinted many times. The last edition, with notes added by Navier, appeared in 1830. In this book there is a chapter dealing with strength of materials. The theory here does not go beyond the results obtained by Galileo and Mariotte. (...) <sup>172</sup> (id. *ibid.* p. 42)

<sup>169</sup> BÊLIDOR, Bernard Forest. La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile. Paris, 1729.

<sup>170</sup> Bernard Forest de Bêlidor (1698-1761), engenheiro militar francês.

<sup>171</sup> Em 1720, diversas escolas militares foram abertas na França para a formação de especialistas em fortificações e artilharia e (...) Belidor (1697-1761) publicou um livro-texto de matemática para uso naquelas escolas.

<sup>172</sup> Em 1729, foi publicado o livro de Bêlidor “La Science des Ingénieurs”. Esse livro gozou de muita popularidade entre os engenheiros de estruturas e foi reimpresso muitas vezes. A última edição, com notas acrescentadas por Navier, apareceu em 1830. Nesse livro há um capítulo que trata de Resistência dos Materiais. A teoria aqui não vai além dos resultados obtidos por Galileo e por Mariotte.

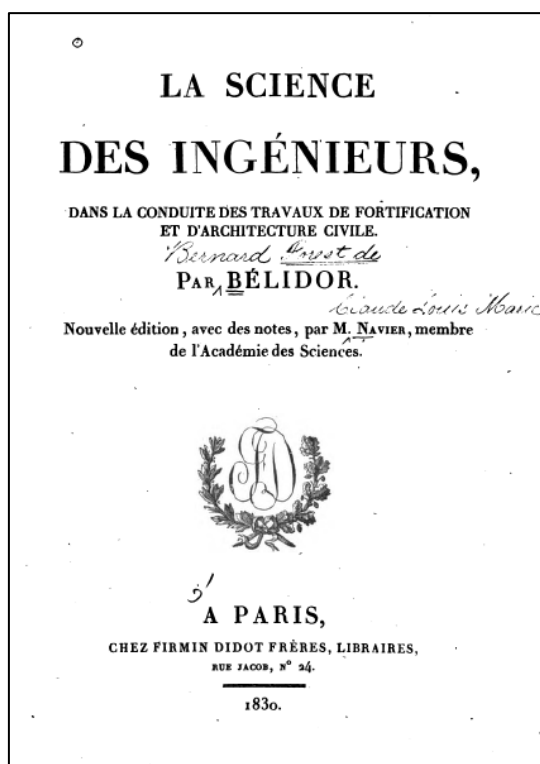


Figura 26. Frontispício de “La science des ingénieurs”, edição de 1830.

No ano de 1792, por ordem de Dona Maria I, Rainha de Portugal, foi instalada, no Rio de Janeiro, como evolução da “Aula Militar”, a “Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho”. Essa foi a primeira escola de engenharia das Américas e a terceira do mundo. As duas que a antecederam foram a “École Nationale des Ponts et Chaussées”<sup>173</sup>, a primeira escola de engenharia do mundo, e a “École Nationale Supérieure des Mines”<sup>174</sup>, ambas fundadas em 1747, em Paris.

A Real Academia foi instalada na Casa do Trem, hoje Museu Histórico Nacional, no Rio de Janeiro.



Figura 27. Real Academia de Artilharia Fortificação e Desenho <sup>175</sup>

<sup>173</sup> Escola Nacional de Pontes e Estradas.

<sup>174</sup> Escola Nacional Superior de Minas.

<sup>175</sup> Imagem obtida em [http://www.poli.ufrj.br/politecnica\\_historia.php](http://www.poli.ufrj.br/politecnica_historia.php)

A formação dos engenheiros tinha a duração de 6 anos. Os cinco primeiros anos eram lecionados por um ‘lente’ militar, pertencente ao Regimento de Artilharia e, no sexto ano, outro lente lecionaria a disciplina “Arquitetura Civil” que englobava: Materiais de Construção, Estradas, Hidráulica, Pontes, Portos, Canais.

O Professor Telles (TELLES, op. cit., p. 68) nos informa sobre alguns dos livros adotados na “Real Academia”, e seus autores:

- Aritmética: Bézout
- Geometria Prática: Belidor
- Fortificação: Bitond
- Desenho: Buchet

Note-se que todos os livros eram de autores franceses e, presumivelmente, os melhores da época. (TELLES, op. cit., p. 68).

A estrutura da cadeira do sexto ano se manteve a mesma até 1858, quando foi desdobrada em duas:

- “Arquitetura Hidráulica: Pontes, Portos e Canais,.”
- “Arquitetura Civil: Materiais e sua Resistência, Estradas e Saneamento”

(...) é impreciso o conhecimento do curso da Academia de 1792, inclusive quanto ao lente de Arquitetura Civil, do 6º ano (...) (PARDAL, op. cit., p. 66)

## **3.2. Brasil Reino Unido (de 1808 a 1822)**

Sob o ponto de vista da Educação, o Brasil entra no século XIX em péssimas condições. Em trezentos anos de colonização, o único sistema educacional organizado que houve no Brasil foi o da Companhia de Jesus. Com a expulsão dos jesuítas, em 1759, aquele sistema foi desmantelado, não sendo substituído por outro. Naquela época, Portugal enfrentava enormes dificuldades financeiras e grande falta de pessoas qualificadas para dar aulas. Isto se refletiu na Colônia de modo ainda mais agudo.

Numa época em que a Revolução Industrial britânica começava a redefinir as relações econômicas e o futuro das nações, os portugueses ainda estavam presos ao sistema extrativista e mercantilista, sobre o qual tinham construído sua efêmera prosperidade três séculos antes. Baseava-se na exploração pura e simples das colônias, sem que nelas fosse necessário investir em infraestrutura, educação ou melhoria de qualquer espécie. (GOMES, 2007, p. 60)<sup>176</sup>

Mesmo em seus melhores momentos, a obra realizada no Brasil pelos portugueses teve um caráter mais acentuado de feitorização do que de colonização. Não convinha que aqui se fizessem grandes obras, ao menos quando não produzissem imediatos benefícios. Nada que acarretasse maiores despesas ou resultasse em prejuízos para a metrópole. (HOLANDA, 2012, p. 107)

---

<sup>176</sup> GOMES, Laurentino. 1808. São Paulo: Editora Planeta Ltda. 2007.

A vinda da família real para o Brasil, em 1808, significou uma grande transição: o início de uma nova era. O país passa a ter uma nova perspectiva de futuro, o que, de fato, viria a se confirmar. Entretanto, parece-nos pertinente questionar: quem eram aqueles personagens que chegavam à Colônia? Sob o ponto de vista da Educação, da Ciência, da Tecnologia, o que representava a elite portuguesa que desembarcava em solo brasileiro? Havia entre eles algum nome ligado aos avanços científicos que contagiavam a Europa? Estava Portugal, de alguma forma, sintonizado com as mudanças que agitavam o continente europeu, no início do século XIX?

Poucos períodos na História foram tão repletos de aventuras, invenções e conquistas e também de rupturas e convulsões políticas, mas nada disso parecia afetar os portugueses. Três séculos depois de ter inaugurado a era das grandes navegações e descobertas, Portugal nem de longe lembrava a metrópole vibrante dos tempos de Vasco da Gama e Pedro Álvares Cabral. Os sinais de decadência estavam por todo lado. Lisboa, a capital do império, havia muito, tinha sido ultrapassada por suas vizinhas europeias como centro irradiador de ideias e inovações. A chama do empreendimento, da curiosidade e da busca pelo desconhecido havia se apagado no espírito português. (GOMES, op. cit., p. 57)

De todas as nações da Europa, Portugal continuava sendo, no começo do século XIX, a mais católica, a mais conservadora e a mais avessa às ideias libertárias que produziam revoluções e transformações em outros países. (id., *ibid.*, p. 58)

“Em Portugal não há ciência, nem há política, nem há economia, nem há educação, nem há nobreza e não há corte”, escreveu o diplomata português José da Cunha Brochado, inconformado com a comparação que ele próprio fazia entre os hábitos da corte portuguesa e dos outros palácios monárquicos que havia conhecido na Europa. (id., *ibid.*, p. 62)

A corte chegou ao Brasil empobrecida, destituída e necessitada de tudo. Já estava falida quando deixara Lisboa, mas a situação se agravou ainda mais no Rio de Janeiro. (id., *ibid.*, p. 188)

A vinda da corte portuguesa para o Brasil gera necessidades antes desprezadas. Assim, criam-se a Imprensa Régia, a Biblioteca Pública, o Jardim Botânico, o Museu Nacional. No campo da Educação, surgem diversos cursos como a Escola de Serralheiros, Oficiais de Lima e Espingardeiros, Cursos de Agricultura e Cursos de Química. Com isso, tem origem o “ensino imperial” que se constituiu de três níveis: o primário, o secundário e o superior. O primário continuará sendo a antiga “escola de ler e escrever” e o secundário seguirá a organização das “aulas régias”.

(...) a preocupação fundamental do governo, no que concerne à educação, passou a ser a formação das elites dirigentes do país. Ao invés de procurar montar um sistema nacional de ensino, integrado em todos os seus graus e modalidades, as autoridades preocuparam-se mais em criar algumas escolas superiores e em regulamentar as vias de acesso a seus cursos, especialmente através do curso secundário e dos exames de ingresso aos estudos de nível superior. (PILETTI, op. cit., p. 41)

Em 1810, o Príncipe Regente, futuro Rei D. João VI<sup>177</sup>, cria a Academia Real Militar, substituindo a Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho.

---

<sup>177</sup> Em 20 de março de 1816 faleceu a rainha Dona Maria, abrindo caminho para o regente assumir o trono. Entretanto, embora passasse a governar como rei no mesmo dia 20, sua sagração não se realizou de imediato: só seria aclamado rei em 6 de fevereiro de 1818.



Figura 28. Academia Real Militar, em 1812.<sup>178</sup>

(...) não devem ter sido poucas as resistências opostas à criação da Academia, não só por parte do chamado “partido português” do Governo de D. João VI – que não via com bons olhos qualquer progresso no Brasil – como principalmente pela sociedade da época em geral, dominada por uma cultura humanístico-literária, na qual estudar Matemática e Ciências Físicas era um ato heroico.

(TELLES, op. cit., p. 69)

A Lei que criou a Academia Real Militar e foi assinada pelo Príncipe regente D. João, em 4 de dezembro de 1810, é reproduzida, na íntegra, no Apêndice do livro *História da Engenharia no Brasil* (TELLES, op. cit.).

(...) é um dos documentos mais importantes da história da engenharia no Brasil. Nos seus 12 Títulos (Capítulos), a lei descreve minuciosamente as finalidades da Escola, a sua direção e organização, programas e livros a serem adotados, requisitos e vencimentos dos professores e dos alunos, organização das aulas, exames e prêmios para os alunos etc.; é assim um verdadeiro regulamento da Escola. (id., *ibid.*, p. 69).

Tendo em vista o objeto central deste estudo, o livro-texto de *Resistência dos Materiais*, parece-nos especialmente interessante conhecer os livros adotados na Academia Real. Assim, na Lei que criou a Academia Real, no “TÍTULO II – NÚMERO DE PROFESSORES, CIÊNCIAS QUE DEVEM ENSINAR, E DOS SEUS SUBTÍTULOS”, lemos o seguinte:

[1º ano]

O lente do primeiro ano ensinará Aritimética, Álgebra até às equações do terceiro e quarto graus, Geometria, Trigonometria Retilínea, dando também as primeiras noções da Esférica. Como os estudantes não serão admitidos pela junta sem saberem as quatro primeiras operações da Aritimética, o lente ensinará logo a Álgebra, cingindo-se quanto poder, ao método do célebre Eulero, nos seus excelentes elementos da mesma ciência, debaixo de cujos princípios e da Aritimética e Álgebra de La Croix, formará o compêndio ao seu curso e depois explicará a excelente Geometria, Trigonometria Retilínea de Le Gendre, dando também as primeiras noções da Trigonometria Esférica; abrangendo assim princípios do Curso Matemático muito interessante, no qual procurará fazer entender aos alunos toda beleza e extensão do cálculo algébrico nas potências, quantidades exponentivas, logarítimos e cálculos de anuidades, assim como familiarisá-los com as fórmulas da Trigonometria de que Ihes mostrará suas vastas aplicações, trabalhando muito em

<sup>178</sup> Imagem obtida em [http://www.ct.ufrj.br/bor/exposicoes\\_virtuais/exposicoes/escola\\_poli.htm](http://www.ct.ufrj.br/bor/exposicoes_virtuais/exposicoes/escola_poli.htm) em 22-9-2010.

exercitá-los nos diversos problemas e procurando desenvolver aquele espírito de invenção, que nas ciências matemáticas conduz às maiores descobertas.

Na Geometria e Trigonometria de Le Gendre, segundo o espírito do autor, procurará mostrar bem o enlace dos princípios da Álgebra, Geometria e na doutrina dos sólidos, dará todos os princípios, que conduzem às mais luminosas aplicações da Estereometria e fará ver quanto os cálculos dos sólidos conduzem às medidas de toda qualidade, aos orçamentos de tudo o que há contido em formas de Corpos Sólidos determinados ou exatamente ou por aproximação; assim como na Trigonometria mostrará toda extensão da Geodésia e dará notícia das medidas deduzidas da grandeza do Grau Terrestre e a execução e perfeição a que tem chegado nestes últimos tempos esta parte tão essencial da Geometria, que daí mesmo tirou seu nome; não esquecerá de dar exemplos tirados da célebre obra de Delambre; nesta matéria só se explicará, neste ano, o que for compreensível pelos estudantes, em razão das primeiras noções que receberem de Trigonometria Esférica. Os alunos, deste ano, terão além da lição de Matemática, outra de Desenho de igual duração e que principiará logo que acabar a primeira. (TELLES, op. cit., p. 485)

Consideremos alguns fragmentos desse texto:

“(...) os estudantes não serão admitidos pela junta sem saberem as quatro primeiras operações da Aritmética (...)”, somos levados a pensar que o nível de conhecimento matemático dos alunos, ao entrar na Academia Real, devia ser muito baixo.

“(...) o lente ensinará logo a Álgebra, cingindo-se quanto poder, ao método do célebre Euler (...)”, certamente a referência é a Leonhard Euler (1707-1783), matemático e físico suíço e à sua obra "Algebra":

De 1727 a 1783 a pena de Euler esteve ocupada aumentando os conhecimentos disponíveis em quase todos os ramos da matemática pura e aplicada, dos mais elementares aos mais avançados. Além disso, em quase tudo Euler escrevia na linguagem e notação que usamos hoje, pois nenhum outro indivíduo foi tão grandemente responsável pela forma da matemática de nível universitário de hoje quanto Euler, o construtor de notações mais bem sucedido de todos os tempos.

(BOYER, op. cit., p. 325)

“(...) da Aritimética e Álgebra de La Croix (...)”, provavelmente, a referência é a Sylvestre François Lacroix (1765-1843), matemático francês:

Entre os anos 1798-1802 quatro geometrias analíticas elementares apareceram das penas de Sylvestre François Lacroix (1765-1843), Jean-Baptiste Biot (1774-1862), Louis Puissant (1769-1843) e F. L. Lefrançais, todas inspiradas diretamente pelos cursos da École Polytechnique: politécnicos foram responsáveis por igual número de livros na década seguinte. A maior parte desses foram textos muito bem sucedidos, que apareceram em numerosas edições. O volume de Biot teve uma quinta edição em menos de doze anos; o de Lacroix, aluno e colega de Monge, apareceu em vinte e cinco edições em noventa e nove anos! Talvez devêssemos falar em “revolução dos livros-texto” pois os outros textos de Lacroix tiveram sucesso quase igualmente espetacular, sua *Arithmetica* e sua *Geometria* aparecendo em 1848 em vigésima e décima sexta edições respectivamente. (id. ibid. p. 352)

“(...) depois explicará a excelente Geometria, Trigonometria Retilínea de Le Gendre (...)”, certamente trata-se de Adrien-Marie Legendre (1752-1833), matemático francês, e de seu livro “*Éléments de geometrie*”:

(...) durante boa parte do século dezenove foi a matemática francesa que dominou o ensino na América, e isso se deveu principalmente à obra dos homens que estamos considerando. Textos por Lacroix, Biot e Lagrange foram publicados para uso nas

escolas americanas, mas talvez o mais influente de todos tenha sido a geometria de Legendre. (id. ibid. p. 357)

“(...) não esquecerá de dar exemplos tirados da célebre obra de Delambre (...)”; aqui a referência, com certeza, é a Jean-Baptiste Joseph Delambre (1749-1822), astrônomo e matemático francês e a algum de seus livros de astronomia.

[2º ano]

O lente do segundo ano repetindo e ampliando as noções de Cálculo já dadas no primeiro ano, continuará depois explicando os métodos para a resolução das equações e dando-lhes toda extensão que atualmente têm, precedendo às aplicações de Álgebra, à Geometria das Linhas e das Curvas tanto as do segundo grau, como de graus superiores, passará depois aos Cálculos Diferencial e Integral, ou das Fluxões e Fluêntes, mostrando os mesmos e suas aplicações até onde têm chegado nos nossos dias nas brilhantes aplicações à Física, à Astronomia e ao Cálculo das Probabilidades. O lente deverá formar o seu compêndio debaixo dos princípios de Álgebra, Cálculo Diferencial e Integral de Le Croix e terá cuidado de ir adicionando todos os métodos e novas descobertas que possam ir fazendo-se. Sendo notável de quão poucos princípios deduzidos, de experiência se deduzem as teorias da Mecânica, Hidrodinâmica e Óptica, estará ao cuidado do professor apontar no compêndio a facilidade com que se deduzem às conseqüências que formam as mesmas ciências e abrir assim o caminho que se deseja; o que lhe conseguirá, se procurar dar aos seus discípulos o conhecimento íntimo dos princípios de cálculo, mas sem lhe ensinar o modo de adivinhar o que luminosamente aponta e que muitas vezes o olho pouco conhecedor não sabe distinguir, nem entender em toda sua extensão. Os alunos deste ano terão, além desta lição que será alternativamente, um dia de Geometria Descritiva, extraindo o essencial da obra de Monge e o outro de Desenho. (TELLES, op. cit., p. 485, 486)

“Os alunos deste ano terão, além desta lição que será alternativamente, um dia de Geometria Descritiva, extraindo o essencial da obra de Monge e o outro de Desenho.”; a referência, neste trecho, é a Gaspard Monge (1746-1818):

[Monge] talvez o mais influente professor de matemática desde os dias de Euclides (...) sua obra principal *Geométrie Descriptive* (...) Monge foi o principal advogado de instituições de ensino mais avançadas (...) [a famosa École Polytechnique] Em todos os estágios de sua criação o papel de Monge foi essencial, tanto como administrador quanto como professor. (...) O ressurgimento da geometria no espaço portanto deveu-se em parte às atividades matemáticas e revolucionárias de Gaspard Monge (...) foram as aulas de Monge na École Normale em 1794-1818 que foram finalmente publicadas como sua *Geométrie Descriptive* (...) [o processo desenvolvido por Monge na sua Geometria Descritiva] agora tão comum em desenho mecânico, produziu nos dias de Monge uma revolução na engenharia militar. (BOYER, op. cit., p. 345, 346, 349, 350)

[3º ano]

O lente do terceiro ano ensinará os princípios de Mecânica, tanto na Estática como na Dinâmica e os da Hidrodinâmica, tanto na Hidrostática, como na Hidráulica e regulará seu compêndio pelos últimos tratados que maior celebridade merecem, servindo-lhe de base aos princípios rigorosos das duas ciências a obra de Francoeur, unindo-lhe as aplicações teóricas e práticas, que puder tirar das excelentes obras de Prony, Abade Bossut, Fabre, e da obra de Gregory; devendo extrair desta última tudo o que toca a máquinas e suas aplicações, de que deverá fazer a explicação sobre as estampas e os modelos, que sucessivamente se irão fazendo construir para uso da mesma Escola. Igualmente deverá tirar da obra de Bezout, Robins, Memórias de Eulero, tudo o que toca aos problemas dos projéteis, de que deverá dar todos os princípios teóricos, a fim que depois no ano de Artilharia não tenham em tal matéria a ocupar-se, senão das aplicações práticas deduzidas dos princípios teóricos. Os

Discípulos deste ano, terão além da lição já terminada, a de Desenho em dois dias da semana, que a Junta destinar para o mesmo fim. (TELLES, op. cit., p. 486)

“(...)servindo-lhe de base aos princípios rigorosos das duas ciências a obra de Francoeur (...)”; aqui trata-se, provavelmente, de Louis-Benjamin Francoeur (1773-1849), matemático francês, e de um de seus trabalhos, possivelmente “*Traité de mécanique élémentaire, à l'usage des élèves de l'École polytechnique, rédigé d'après les méthodes de R. Prony*”.

“(...) excelentes obras de Prony, Abade Bossut, Fabre ,e da obra de Gregory (...)”; as referências, supostamente, são as seguintes:

- Gaspard de Prony (1755-1839), engenheiro hidráulico francês, trabalhou junto com Monge na criação da École Polytechnique;
- Abade Charles Bossut (1730-1814), geômetra francês, dois de seus livros são: “*Traité théorique et expérimental d'hydrodynamique*”, “*Traité élémentaire de mécanique statique*” (tida, à época, como obra indispensável na preparação daqueles que iriam prestar os concursos para as escolas militares);
- Jean Fabre (1732-1819) militar francês, autor de:
  - Recherches sur les meilleurs effets à obtenir de l'artillerie (Paris, 1812)
  - Réflexions sur la fabrication en général des bouches à feu (Paris, 1817)
  - Traité de la balistique
- James Gregory (1638-1675), matemático escocês (?)

“*Igualmente deverá tirar da obra de Bezout, Robins, Memórias de Eulero, tudo o que toca aos problemas dos projéteis (...)*”; certamente, trata-se de Étienne Bézout (1730-1783), matemático francês:

(...) o século dezoito produziu muitos livros-texto de enorme sucesso; poderíamos acrescentar que foi a segunda metade do século que produziu também o gênero freqüentemente conhecido como *Cours d'Analyse* – uma obra em vários volumes cobrindo toda a matemática, do nível mais elementar ao mais alto. Um dos de maior sucesso entre estes foi o Cours de Mathématique, de Bézout, obra em seis volumes, que apareceu pela primeira vez em 1764-1769, que quase imediatamente, em 1970-1972, teve uma nova edição e teve ainda muitas outras versões em francês e em outras línguas. (BOYER, op. cit., p. 341)

- Robins (?)
- Eulero: Leonhard Euler (1707-1783), matemático e físico suíço
- 

[4º ano]

O lente do quarto ano explicará a Trigonometria Esférica de Le Gendre em toda sua extensão e os princípios de Óptica, Catoptrica e Dioptrica: dará noções de toda qualidade de óculos de refração e reflexão e depois passará a explicar o sistema do mundo para o que muito se servirá das obras de La Caille, La Landre e da Mecânica Celeste de Laplace; não entrando nas suas sublimes teorias porque para isso lhe faltaria tempo, mas mostrando os grandes resultados que ele tão elegantemente expôs e daí explicando todos os métodos às determinações das latitudes e longitudes no mar e na terra; fazendo todas observações com a maior regularidade e mostrando as aplicações convenientes às medidas Geodésicas, que novamente, dará em toda a extensão. Exporá igualmente noção das cartas geográficas, das diversas projeções e suas aplicações às cartas geográficas e às topográficas, explicando também os princípios das cartas marítimas reduzidas e do novo método com que foi construída a carta da França; dando também noções gerais sobre a Geografia do Globo e suas divisões. As obras de Laplace, La Landre, La Çaille e introdução de La Croix, Geografia de Pinkerton, servirão de base ao compêndio que deve formar e no qual há de procurar toda extensão destas vistas. Os alunos deste ano terão, além desta noção, outra de Física, exceto dois dias da semana, que serão aplicados aos desenhos



das figuras e máquinas pertencentes às ciências que estudam no mesmo tempo.

O lente de Física formará seu compêndio sobre os elementos de Física do Abade Hauy, que nada deixam a desejar em tal matéria quanto aos nossos conhecimentos atuais; tendo também em vista o Compêndio de Física de Brisson e o que julgue dever aproveitar das obras de outros célebres físicos.

[5º ano]

No quinto ano haverá dois lentes: o primeiro ensinará Tática, Estratégia, Castrametação, Fortificação de Campanha e Reconhecimento dos Terrenos. Formará o seu compêndio sobre as melhores obras que tem aparecido sobre tão importante matéria, seguindo muito à primeira parte Guy de Vernon e à última, a obra de Cessac, as belas memórias que se acham no Manual Topográfico, que publica o Arquivo Militar de França. O segundo ensinará Química, dará todos os métodos docimásticos para o conhecimento das Minas, servindo-se das obras de Lavoisier, Vauquelin, Fourcroy, La Grange, Chaptal, para formar seu compêndio onde fará toda sua aplicação às Artes e à utilidade que dela derivam.

[6º ano]

No sexto ano haverá dois lentes: o primeiro ensinará, de manhã, fortificação Regular e Irregular, Ataque e Defesa das Praças, princípios de Arquitetura Civil, Traço e Construção das Estradas, Pontes, Canais e Portos, Orçamento das Obras e tudo o mais que pode interessar, seja sobre corte de pedras, seja sobre a força e estabilidade dos arcos, ou sobre as forças das terras para derrubarem edifícios, muralhas que lhe são contíguas. O lente formará seu compêndio sobre as melhores e mais modernas obras, servindo-se das de Guy de Vernon, das Memórias do Abade Bossut, Müller etc. O segundo lente ensinará Mineralogia, excepto em dois dias da semana, que serão destinados ao Desenho e se servirá do método de Vernon, Brochant e outros célebres Mineralogistas.

“(...) *princípios de Arquitetura Civil, Traço e Construção das Estradas, Pontes, Canais e Portos, Orçamento das Obras e tudo o mais que pode interessar, seja sobre corte de pedras, seja sobre a força e estabilidade dos arcos (...)*” evidenciam-se aqui os primórdios do que seria o futuro curso de Resistência dos Materiais.

[7º ano]

No sétimo ano haverá igualmente dois lentes: o primeiro ensinará Artilharia Teórica e Prática, Minas e Geometria Subterrânea. Formará seu compêndio para o mesmo fim e para o de Minas poderá servir-se do de Roza. O segundo Lente explicará a História Natural nos dois Reinos Animal e Vegetal; devendo explicar o sistema de Lineu com os últimos aditamentos de Jussieu e La Cepède.

Além destes onze professores compreendido o de Desenho, haverá cinco substitutos e julgando-o necessário, a junta poderá propor que se estabeleçam professores de língua francesa, inglesa e alemã e será obrigação dos professores substituírem-se uns aos outros, quando não substitutos, de maneira que jamais se dê o caso de haver cadeiras que deixem de ser servidas, havendo alunos que possam ouvir às lições.

[8º ano]

Logo que possa formar-se uma biblioteca científica e militar para esta Academia, haverá um lente de História Militar, que servirá de bibliotecário e que no oitavo ano explicará a História Militar de todos os povos, os progressos que na mesma fez cada nação e dando idéia dos maiores generais nacionais ou estrangeiros, explicará também os planos das mais célebres batalhas, que acabará de formar os alunos e os porá, no caso de poderem, com grande distinção, serem verdadeiramente úteis ao meu real serviço, em qualquer aplicação que eu seja servido dar-lhes, Os lentes serão obrigados a assistir aos exercícios práticos, segundo forem destinados todos os anos pela junta.

Temos, portanto, que o curso de engenharia na Academia Real era de sete anos, contando com onze professores titulares, ou lentes, e cinco professores substitutos. Haveria

também um oitavo ano que deveria ocorrer quando se constituísse uma biblioteca científica e militar.

É importante notar a exigência do regulamento para que os professores preparassem “compêndios” para os cursos, os quais poderiam ser de sua própria autoria ou tradução de livros renomados. Esses livros seriam publicados por conta do governo e distribuídos aos alunos.

Segundo nos informa o Professor Telles (TELLES, op. cit., p. 76, 77):

O regulamento era, em grande parte, baseado no que regia a famosa Escola Politécnica de Paris, modelo de muitas escolas em todo o mundo, como, por exemplo, a ênfase nas matérias básicas e no ensino prático, a obrigação dos professores escreverem livros etc. (id., ibid., p. 71)

(...) De fato, nem todos os professores chegaram a fazer tais livros; dentre os que escreveram citam-se os seguintes:

- Tenente José Saturnino da Costa Pereira: traduziu o *Tratado elementar de mecânica*, de Francoeur (...). Esse foi o primeiro livro técnico publicado pela “Imprensa Régia”, em 1812.
- Tenente Roberto Ferreira da Silva: autor do livro *Elementos de Pinturas e Regras Gerais de Perspectiva*, 1817.
- Capitão Manuel Ferreira d’Araújo Guimarães: traduziu o *Elementos de Álgebra*, de Euler, o *Elementos de Geometria* e o *Tratado de Trigonometria*, de Le Gendre (...)
- Sargento-mor Francisco da Silva Torres e Alvim: traduziu a *Aritmética, Álgebra e Cálculo Diferencial e Integral*, de Lacroix.
- Sargento-mor João de Souza Pacheco Leitão: traduziu o *Tratado Elementar de Arte Militar e Fortificação*, de Guy de Vernon.
- 2º Tenente José Victorino dos Santos e Souza: escreveu o livro *Geometria e Mecânica das Artes dos Ofícios e das Belas Artes*, publicado em 1832, e traduziu *Geometria Descritiva*, de Monge, e *Aplicação da Álgebra à Geometria*, de Lacroix.
- O tenente, e mais tarde brigadeiro, José Saturnino da Costa Pereira, foi, depois, o autor de uma verdadeira maratona intelectual, ao escrever, até 1845, uma série de livros didáticos sobre *Álgebra, Geometria, Cálculo Diferencial e Integral, Trigonometria Esférica, Mecânica, Astronomia, Geodésia* e talvez outros. Independente do valor intrínseco desses livros, deve ser louvada a preocupação do Brigadeiro Saturnino em produzir livros nacionais, porque ele considerava os estrangeiros, muitas vezes, fora da realidade brasileira, e desejava conseguir um conjunto homogêneo de livros que se harmonizassem uns com os outros.

É interessante notar o pragmatismo do Governo Português da época que, apesar do estado de guerra com a França, que havia invadido Portugal, reconhecia a evidente primazia e superioridade francesa no campo da Engenharia, decalcando o programa do que havia na França e indicando como obras adotadas quase que só livros franceses. (id., ibid, p. 77)

Chama a atenção, particularmente, o fato de que, entre tantos livros científicos franceses, adotados na Academia Real, não haja qualquer referência ao livro de Pierre-Simon Girard (1765-1835), *Traité Analytique de la Résistance des Solides et des Solides D’Égale Résistance*, de 1798, considerado o primeiro livro-texto de Resistência dos Materiais.

### 3.3. Brasil-Império (de 1822 a 1889)

Após a Independência, a Academia Real Militar passou a se chamar Academia Imperial Militar.

Em 1832 é anexada à Academia Imperial Militar a Academia de Marinha, dando origem à Academia Militar e de Marinha que viria a ser chamada Academia Militar da Corte, a qual, além do curso militar passa a ter o Curso de Pontes e Calçadas e o Curso de Construção Naval. O Curso de Pontes e Calçadas seria a primeira experiência de ensino de engenharia civil, independente da engenharia militar, enquanto que o Curso de Construção Naval seria o primeiro curso de engenharia especializada no Brasil.

No programa do Curso de Pontes e Calçadas, encontramos, no primeiro ano, as disciplinas:

- *Propriedades das madeiras, terras, pedras, cal, tijolos, areias, ferro e argamassas empregados na construção de pontes, calçadas, diques, fontes, aquedutos e canais navegáveis;*
- *Determinação da resistência e elasticidade daquelas substâncias;*
- *Nivelamentos, escolha e reconhecimento do terreno para a determinação de estradas e canais.*

Assim, é encontrado, pela primeira vez num programa de engenharia, no Brasil, um curso em que se faz referência específica ao estudo da resistência de materiais. Contudo, devemos fazer uma ressalva: aparentemente, não se tratava de um curso relativo à ciência Resistência dos Materiais.

Entretanto, com a anexação da Academia de Marinha à Academia Imperial Militar, logo se evidenciou a incompatibilidade entre as engenharias dessas duas armas e, no ano seguinte, em 1833, as duas Academias se separam e voltam a ser independentes.

Em 1839, a Academia Militar da Corte volta a ser uma instituição exclusivamente militar.

Em 1840 a Academia Militar da Corte passa a se chamar Escola Militar.

Em 1842, novo decreto cria na Escola Militar disciplinas nitidamente ligadas à engenharia civil:

- 1º ano: Aritmética, Álgebra Elementar, Geometria, Trigonometria Plana, Desenho;
- 2º ano: Álgebra Superior, Geometria Analítica, Cálculo Diferencial e Integral, Desenho;
- 3º ano: Mecânica Racional e Aplicada às Máquinas, Desenho
- 4º ano: Trigonometria Esférica, Astronomia e Geodésia, química, Mineralogia, Desenho;
- 5º ano: Topografia, Tática, Fortificação Passageira, Estratégia, História Militar, Direito da Gentes (Civil e Militar), Desenho;
- 6º ano: Artilharia, Minas, Fortificações Permanentes, Ataque e Defesa de Praças, Botânica, Zoologia, Desenho;
- 7º ano: Arquitetura, Hidráulica, Construção, Montanística<sup>179</sup>, Metalurgia, Desenho.

Ao longo dos anos, a Escola Militar passa por grande número de reformas através das quais se procura conciliar o ensino da engenharia militar e o ensino da engenharia civil que, com o início da era das estradas de ferro, em 1853, estava notavelmente atrasado. Essa contradição só se resolveu em 1858 com a criação da Escola Central que, embora continuasse

<sup>179</sup>Montanística: estudo ou tratado sobre a natureza dos metais, sua extração e fusão.

a ser uma instituição militar, estava destinada, apenas, ao ensino da engenharia civil, passando o ensino militar para a Escola Militar e de Aplicação do Exército.



Figura 29. Escola Central, em 1905, no Largo de São Francisco, Rio de Janeiro.

Quando é criada a Escola Central, a disciplina Resistência dos Materiais ainda não existia como disciplina independente, mas como parte da 1ª Cadeira do primeiro ano do Curso de Engenharia Civil: “Mecânica Aplicada, Arquitetura Civil, Construção de Obras de Pedra, Madeira e Ferro; Estudo da Resistência dos Materiais e suas Aplicações; Abertura, Calçamento, Conservação e reparação de Estradas e Vias Férreas; Aterros e Dissecação de Pântanos”.

Em 1860, os programas da Escola Central foram modificados e Resistência dos Materiais passou a ser ministrada no quinto ano do Curso de Engenharia Civil.

Em relação à Escola Central, o Professor Telles nos conta o seguinte:

Os cursos da Escola Central eram de alto nível, embora se ressentissem da deficiência do ensino prático, mal, aliás, ainda hoje comum a quase todas as atuais Escolas de Engenharia no Brasil. O cientista francês Luiz Agassiz, que visitou a Escola em 1865, assim se expressou: “A Escola Central corresponde ao que nos Estados Unidos chama-se *Scientific School*. Em nenhuma outra parte do Brasil vi estabelecimento de ensino onde os métodos aperfeiçoados sejam tão altamente apreciados e tão generalizadamente adotados. Os cursos de Matemática, Química, Física e Ciências Naturais são longa e seriamente feitos; porém, mesmo nesse estabelecimento, fiquei impressionado pela mesquinhez dos meios de demonstração prática e experimental; os professores não me parecem haver compreendido suficientemente que as Ciências Físicas não se ensinam única e principalmente nos compêndios”. (TELLES, op. cit., p. 87)

Em 1874 ocorre uma nova e definitiva separação entre as engenharias militar e civil: a Escola Central dá lugar à Escola Politécnica, que se encarregará da formação de engenheiros civis, e à Escola Militar da Praia Vermelha, que formará os engenheiros militares.

## Quadro sinótico da evolução do ensino de engenharia no Brasil.

ano	fato histórico	observações
1648	Cursos de fortificações;	ministrados pelo holandês Miguel Timermans, “engenheiro de fogo”;
1699	“Aula de Fortificação”	a cargo do Capitão Engenheiro Gregório Gomes Henriques;
1738	“Aula do Regimento de Artilharia”	ampliação da “Aula de Fortificação”; a cargo do Sargento-Mor Engenheiro José Fernandes Pinto Alpoim;
1774	“Aula Militar do Regimento de Artilharia”:	Aula de Regimento de Artilharia” acrescida da cadeira de Arquitetura; marco inicial da formação de Engenheiros Militares no Brasil;
1792	“Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho”	evolução da “Aula Militar do Regimento de Artilharia”; primeira escola de engenharia das Américas;
1810	“Academia Real Militar”	substituiu a “Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho”;
1822	“Academia Imperial Militar”	a “Academia Real Militar” muda de nome após a Independência;
1832	“Academia Militar e de Marinha da Corte”	à “Academia Imperial Militar” é anexada a “Academia de Marinha”; além do curso militar passa a ter o Curso de Pontes e Calçadas, primeiro curso de engenharia civil no Brasil;
1833	“Academia Imperial Militar”	a incompatibilidade entre as engenharias do Exército e da Marinha provoca a volta à condição anterior à união das Academias;
1840	“Escola Militar”	apenas houve uma mudança de nome;
1858	“Escola Central”	continua a ser uma instituição militar, mas destinada ao ensino da engenharia civil; o ensino militar passa a ser feito na “Escola Militar e de Aplicação do Exército”;
1874	“Escola Politécnica”	separação definitiva entre as engenharias militar e civil: “Escola Politécnica” forma apenas engenheiros civis; “Escola Militar da Praia Vermelha” forma apenas engenheiros militares;

### 3.3.1 A Escola Politécnica do Rio de Janeiro

Como vimos, a Escola Politécnica tem uma linhagem que é a própria história da engenharia no Brasil: ela é descendente direta da Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, de 1792, e assim permaneceu como única escola de engenharia civil no país, até 1877, quando seria fundada a Escola de Minas de Ouro Preto.

Em 1915, é criada a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) da qual a Escola Politécnica passa a fazer parte.

Em 1937, a Escola Politécnica passou a se chamar Escola Nacional de Engenharia. Em 1965, passou a se chamar Escola de Engenharia – UFRJ. Em 2003, voltou a se chamar Escola Politécnica – UFRJ..

A Escola Politécnica manteve todos os laboratórios e todo o acervo da Escola Central:

A Escola Politécnica herdou todos gabinetes e laboratórios da Escola Central, inclusive a sua biblioteca, na ocasião com cerca de 7000 volumes. Essa preciosa biblioteca, que já vinha desde a fundação da Academia Militar e que constituiu o núcleo inicial da atual Biblioteca Central da Escola de Engenharia da UFRJ, contém um grande número de verdadeiras raridades bibliográficas (...) (TELLES, op. cit., p. 384)



Figura 30. Prédio da Escola Politécnica, no Largo de São Francisco, Rio de Janeiro, em 1905.

É o velho prédio do Largo de São Francisco, construído para sede da Academia Real Militar, que o ilustre historiador Mário Barata chama de Berço da Engenharia Brasileira. Nele funcionaram a Academia Real Militar e suas sucessoras: a Escola Central, a Escola Politécnica, a Escola Nacional de Engenharia e a Escola de Engenharia da UFRJ, até 1962-1966, quando houve a mudança para o novo prédio da Cidade Universitária, na Ilha do Fundão. (TELLES, op. cit., p. 392)

### 3.3.2. O Instituto Militar de Engenharia – IME

Como foi dito, em 1874, o ensino da engenharia civil e da engenharia militar, que constituíam a Escola Central, são separados, dando origem à Escola Politécnica e à Escola Militar da Praia Vermelha, respectivamente.



Figura 31. Escola Militar da Praia Vermelha, em 1885.<sup>180</sup>

<sup>180</sup> Imagem obtida em [http://api.ning.com/files/bco3t9J7\\*tTOB9YhJ1-bUNWHp0hnhnLYPcMt54-cWrf\\*qsXarYeNGI9cP50I9OELEOWXYnrYqwAHCqsi74CdHGCFDIQ4AG7M/empvEscolaMilitardaPraiaVermelha1885.jpg](http://api.ning.com/files/bco3t9J7*tTOB9YhJ1-bUNWHp0hnhnLYPcMt54-cWrf*qsXarYeNGI9cP50I9OELEOWXYnrYqwAHCqsi74CdHGCFDIQ4AG7M/empvEscolaMilitardaPraiaVermelha1885.jpg), em 22-9-2010

A engenharia militar permanece na Praia Vermelha até 1904, quando o exército brasileiro suspende a formação de engenheiros militares.

Em 1930 a instituição voltaria a funcionar com o nome de Escola de Engenharia Militar.

Em 1933 passou a se chamar Escola Técnica do Exército.

Em 1949 é criado o Instituto Militar de Tecnologia.

Em 1959 a Escola Técnica do Exército se funde ao Instituto Militar de Tecnologia dando origem ao Instituto Militar de Engenharia (IME), tido como um centro de excelência na formação de engenheiros.

### 3.3.3. A Escola de Minas de Ouro Preto



Figura 32. Prédio da Escola de Minas de Ouro Preto <sup>181</sup>

Para contar um pouco da história da criação da Escola de Minas de Ouro Preto, a segunda escola de engenharia do Brasil, reproduziremos fragmentos do artigo deste autor, “O primeiro livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil”, na Revista de Ensino de Engenharia. <sup>182</sup>

D. Pedro II foi um mecenas. Em relação às artes e às ciências, estava à frente do seu tempo, pelo menos se considerarmos a mentalidade predominante no Brasil do final do século XIX. Numa viagem à França, em 1872, participou de reuniões na Academia de Ciências de Paris, da qual era membro. Lá encontrou Auguste Daubrée <sup>183</sup>, também membro da Academia, a quem pediu que elaborasse um documento no qual fossem propostas as melhores formas de se conhecer e explorar as riquezas minerais do Brasil. Daubrée sugeriu que se criasse no país um curso de Geologia e Mineralogia, com professores estrangeiros e professores brasileiros treinados no exterior. D. Pedro aceitou a sugestão e decidiu implantar no Brasil uma escola de

<sup>181</sup> Imagem obtida em <http://static.panoramio.com/photos/original/21346677.jpg>, em 22-9-2010.

<sup>182</sup> CARVALHO, P. C. R. O primeiro livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil. Revista de Ensino de Engenharia. v.33, p.57-64, 2014 – ISSN 0101-5001. Revista da Associação Brasileira de Educação em Engenharia – ABENGE.

<sup>183</sup> Gabriel Auguste Daubrée (1814-1896), geólogo francês, diretor da Escola de Minas de Paris.

engenharia de minas, com o mesmo padrão das escolas francesas. Assim, convida Daubrée para criar e dirigir a nova escola. Não podendo aceitar a incumbência, Daubrée indica para o cargo Claude-Henri Gorceix<sup>184</sup>.

(...) a França da época de Gorceix estava na fronteira da ciência em algumas áreas básicas. O próprio Gorceix era ligado por parentesco ao químico Gay-Lussac. O laboratório de química orgânica da Escola Normal, quando Gorceix a cursou, era dirigido por Pasteur, o de química inorgânica seria logo depois dirigido por Saint-Claire Deville, os dois maiores químicos da França de então. Gorceix trouxe para o Brasil o que de melhor havia na química europeia do momento. Também em física sua formação era excelente. Foi aluno de Des Cloiseaux, um dos pioneiros do que seria a petrologia (...) (CARVALHO, 2010, p. 27)<sup>185</sup>

Gorceix chega ao Brasil em 1874, assume a direção do projeto e, em 1876, é inaugurada a Escola de Minas de Ouro Preto.

Difícilmente se poderia dizer que havia demanda efetiva por geólogos e engenheiros de minas na economia exportadora e escravocrata de 1876. A criação da Escola foi, antes de tudo, um ato de vontade política, orientado em boa parte por motivos de natureza antes ideológica do que econômica. Embora os efeitos deste voluntarismo tenham sido limitados por restrições econômicas, não há dúvida de que eles se fizeram sentir com nitidez e exerceram impacto sobre o próprio desenvolvimento econômico e tecnológico do país. (id., *ibid.*, p. 2)

O projeto elaborado por Gorceix era extremamente ambicioso e certamente terá sido a experiência educacional mais ousada já levada a efeito no Brasil, até o presente. Para isso, Gorceix contou com o apoio irrestrito do Imperador, o que lhe permitiu suportar enormes adversidades e oposições, até a queda da monarquia, com a proclamação da República, em 1889.

O estatuto proposto por Gorceix para a Escola de Minas, baseado no que havia nas escolas que ele freqüentara na França, era inteiramente revolucionário e avançadíssimo para a situação brasileira de então. Mesmo visto hoje em dia, há mais de um século de distância, ainda é mais avançado do que o existente na grande maioria (ou na totalidade) das escolas de engenharia no Brasil. É assim fácil de se imaginar o impacto que deve ter causado não só nos burocratas rotineiros do Governo como até nas pessoas de maior visão da época. Os pontos mais importantes desse estatuto eram os seguintes:

- seleção dos alunos por concurso de admissão e verificação constante de seu aproveitamento por exames freqüentes, durante o ano;
- tempo integral para professores e alunos, inclusive com parte de sábados e domingos;
- limitação do número de alunos, ao máximo de dez por turma;
- boa remuneração para os professores;

<sup>184</sup> Claude-Henri Gorceix (1842-1919), químico, geólogo e mineralogista francês.

<sup>185</sup> CARVALHO, J. M. A Escola de Minas de Ouro Preto: o peso da glória. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.\*

\* Esse livro está disponível numa edição atualizada, na forma de “e-book”:  
CARVALHO, J. M. A Escola de Minas de Ouro Preto: o peso da glória. E-book do Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2010.



- ensino eminentemente objetivo, com intensa prática de laboratórios e viagens de estudos, acompanhadas pelos professores;
- ênfase especial nas matérias básicas como Matemática, Física e Química e, também, nos trabalhos de pesquisa;
- curso de dois anos, com dez meses de duração; os dois meses restantes seriam empregados em excursões e trabalhos práticos;
- ensino gratuito, com bolsas de estudo para os alunos pobres;
- viagem à Europa ou aos Estados Unidos para os melhores alunos, para estágio de aperfeiçoamento em escolas, minas ou indústrias;
- contratação pelo Estado para os que mostrassem melhor aproveitamento nas viagens ao exterior. (TELLES, op. cit., p. 415, 416)

Uma grande dificuldade enfrentada por Gorceix, logo de início, foi a contratação de professores: no Brasil de 1876, não havia professores com o nível desejado por Gorceix. Neste texto consideraremos, particularmente, os acontecimentos relativos à “cátedra de Mecânica Aplicada”<sup>186</sup>.

Duas cátedras de professores foram postas em concurso: a de Mecânica Aplicada e a de Geometria Descritiva (...) [Gorceix] exigia aula expositiva preparada durante quatro horas, ministrada sem notas, sem livros, “como era costume na França, para o concurso de admissão ao corpo docente”. “Se o candidato”, dizia ele, “não tiver o costume de lecionar e dominar mal o assunto, ser-lhe-á muito difícil impor-se à banca examinadora, apesar de sua memória e de seu dom de oratória”. Embora o prazo de inscrição tivesse sido prorrogado, ninguém se candidatou a nenhuma dessas cátedras. (LIMA, 1977, p. 41)<sup>187</sup>.

Na falta de candidatos que se submetessem à sua rigorosa avaliação, Gorceix contratou, provisoriamente, para a cadeira de Mecânica Aplicada, Archias Eurípedes da Rocha Medrado (1851-1906), bacharel em Ciências Físicas e Matemáticas pela Politécnica do Rio de Janeiro. Contudo, Medrado não estava em condições de desempenhar essa função satisfatoriamente. Assim, o problema de encontrar um bom professor de Mecânica Aplicada persistia. No fim de 1877, Gorceix escreve a D. Pedro:

“(…) posso apenas reiterar a Vossa Majestade minhas súplicas relativas ao professor de Mecânica. O assistente Medrado é completamente insuficiente para ensinar essa ciência.” (id., *ibid.*, p. 55).

Finalmente, no final de 1878, é contratado, em Paris, Arthur Thiré<sup>188</sup> para assumir a cadeira de professor de Mecânica.

<sup>186</sup> Naquela época, Resistência dos Materiais estava inserida no curso de Mecânica Aplicada. A cadeira específica de Resistência dos Materiais só seria criada na escola em 1882.

<sup>187</sup> LIMA, M. R. D. Pedro II e Gorceix – A fundação da Escola de Minas de Ouro Preto. Ed. Fundação Gorceix, 1977.

<sup>188</sup> Arthur Thiré (1853-1924), engenheiro de minas, formou-se na Escola Politécnica de Paris. Seu filho, Cecil Thiré (1892-1963) seria um dos Professores mais famosos do Colégio Dom Pedro II, catedrático em Matemática e autor de livros didáticos com grande aceitação, durante décadas, em todo o Brasil.

Em 1882, o prof. Thiré deixa a cadeira de Mecânica, sendo substituído por Paul Ferrand<sup>189</sup>, contratado em Paris pelo próprio Gorceix.

Assim chegamos a Paul Ferrand, autor do primeiro livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil.

### 3.3.4. O primeiro livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil

Em 1887, o professor Paul Ferrand publica o livro “Tratado de Mecanica Applicada á Resistencia dos Materiaes – composto das lições professadas na Escola de Minas de Ouro Preto”<sup>190</sup>. A obra é escrita no Brasil, impressa na França e, de volta ao Brasil, usada como livro-texto no curso de engenharia da Escola de Minas de Ouro Preto.

Não temos informações quanto ao número de exemplares impressos, custos, enfim, ainda não conhecemos a história desse livro. Mas encontramos na contracapa do “Lições de Resistência dos Materiaes”, de Augusto de Brito Belford Roxo, publicado em 1923, um “Extracto do Catalogo da Livraria Francisco Alves”:

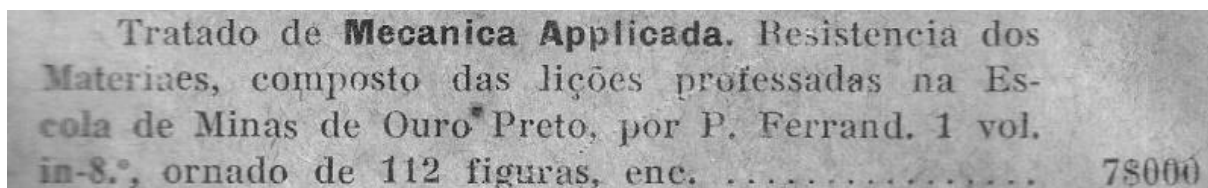


Figura 33. Destaque do anúncio do livro de Paul Ferrand, Catálogo da Livraria Francisco Alves, 1923.

Ficamos, assim, sabendo que a obra de Paul Ferrand estava sendo comercializada pela Livraria Francisco Alves, 36 anos após sua publicação.

Embora não tenhamos muitas informações sobre os caminhos percorridos pelo livro, o que sabemos sobre ele e o seu conteúdo constituem dados suficientes para a análise que nos propusemos fazer.

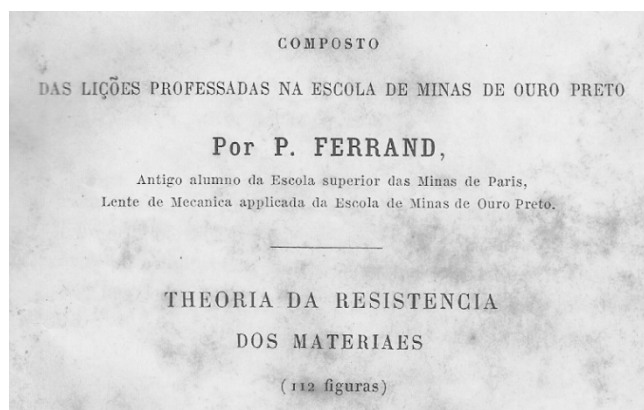


Figura 34. Detalhe do frontispício.

<sup>189</sup> Paul Ferrand (1855-1895), engenheiro civil e de minas, formou-se na Escola de Minas de Paris, em 1880.

<sup>190</sup> FERRAND, Paul. Tratado de Mecanica Applicada á Resistencia dos Materiaes. Paris: Guillard, Aillaud e Cia., Editores, 1887.

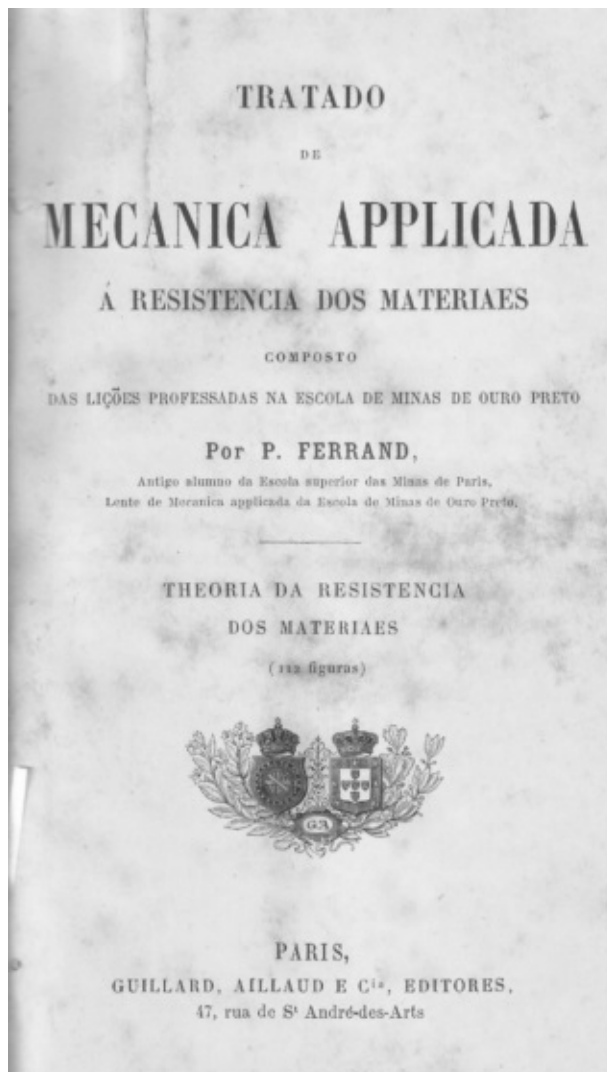


Figura35. Frontispício do livro de Paul Ferrand.

### **3.4. Brasil República (de 1889 aos dias atuais)**

A monarquia caiu mais por sua incompetência para conceber e dirigir uma sociedade sem escravos – problema que se arrastou por 67 anos – do que por mérito de seus adversários. Embora os novos governantes também não tivessem solução para o problema, possuíam mais disposição que o velho rei. Partilhavam a idéia de que a República era a melhor forma de organizar o país (...) (CALDEIRA, op. cit., p. 228)

Em 1890, a população brasileira era de cerca de 14 milhões de habitantes sendo que, de cada 100 brasileiros, apenas 6 viviam na cidade. A grande maioria vivia no campo,

dependente da agricultura. É no início do século XX que, timidamente, tem início a transição da economia agrícola para a economia industrial.

A pujança do grupo industrial criado por Francisco Matarazzo marcou a era industrial que se iniciava. A empresa surgiu em 1882, no município paulista de Sorocaba, como um mero armazém aberto pelo recém-chegado imigrante italiano. Em 1885, o bem-sucedido comerciante tentou sua primeira aventura industrial: uma fábrica para processar banha de porco. O êxito fez com que se transferisse para São Paulo, em busca de mais oportunidades. Em 1900, ele inaugurou um moinho de trigo e, dois anos depois, uma oficina metalúrgica. No entanto, o grande salto aconteceu durante a presidência de Afonso Pena. Num período de poucos anos, Matarazzo inaugurou uma indústria de tecidos, outra de óleo e sabão e uma grande serraria no Paraná. Em 1905, diversificando suas atividades, fundou um banco para impulsionar a expansão dos seus negócios. Conseguiu assim escala suficiente para ampliar em ritmo acelerado seus investimentos. Em 1910, o grupo Matarazzo era o maior complexo industrial da América do Sul (...) (id. *ibid.*, p. 247)

Após a proclamação da República, antes que terminasse o século XIX, são criadas cinco novas escolas de engenharia no Brasil:

- Escola Politécnica de São Paulo, em São Paulo, SP, 1893;
- Escola de Engenharia de Pernambuco, em Recife, PE, 1895;
- Escola de Engenharia Mackenzie, em São Paulo SP, 1896;
- Escola de Engenharia de Porto Alegre, em Porto Alegre, RS, 1896;
- Escola de Engenharia da Bahia, em Salvador, BA, 1897.

Essas novas escolas somam-se às duas únicas escolas civis de engenharia existentes: a Escola Politécnica do Rio de Janeiro e a Escola de Minas de Ouro Preto.

Essa primeira expansão do ensino foi uma conseqüência do surto de desenvolvimento propiciado pelos bons preços do café, da imigração estrangeira e também da descentralização político-administrativa propiciada pela República. (TELLES, 1993, v. 2, p. 1) <sup>191</sup>

### **3.4.1. O segundo livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil**

**RESISTENCIA DOS MATERIAES**<sup>192</sup>  
Lições dadas na Escola Militar do Brasil  
J. Eulalio da Silva Oliveira

Segundo nossas pesquisas, esse foi o segundo livro-texto de Resistência dos Materiais publicado no Brasil. Escrito pelo Capitão do Exército José Eulalio da Silva Oliveira, quando professor na Escola Superior Militar do Brasil, publicado em 1905.

É um livro raríssimo: encontramos um exemplar na Biblioteca de Obras Raras da Escola Politécnica da USP e dois exemplares na Biblioteca de Obras Raras do CT –UFRJ.

<sup>191</sup> TELLES, P. C. S. História da Engenharia no Brasil. V. 2 – século XX. Rio de Janeiro: Clavero – Editoração, Assessoria e Marketing Ltda. 1993.

<sup>192</sup> OLIVEIRA, J. E. S. Resistencia dos Materiaes - Lições dadas na Escola Militar do Brasil. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1905.

A respeito do autor, até o momento, sabemos muito pouco.  
Por considerarmos relevantes, reproduzimos a seguir algumas páginas do livro.

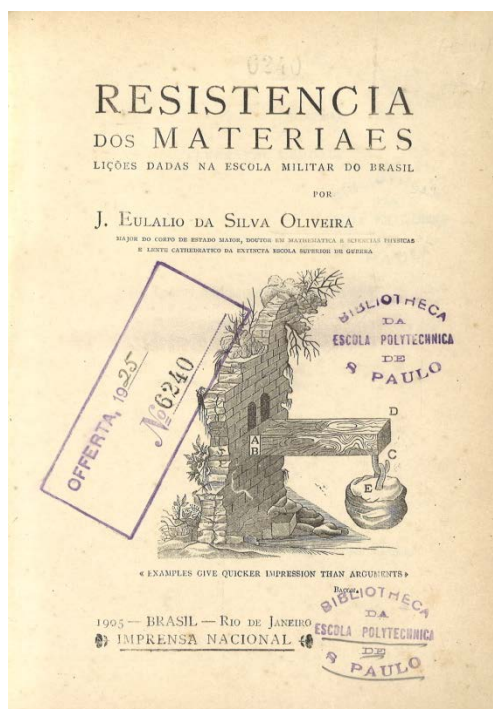


Figura 36. Frontispício do livro de J. Eulalio

### 3.4.2. Antônio Francisco de Paula Souza e a Escola Politécnica de São Paulo



Figura 37. Antônio Francisco de Paula Souza (1843-1917) <sup>193</sup>

<sup>193</sup> Imagem obtida em [http://www.poli.usp.br/Organizacao/Historia/Diretores/Paula\\_Souza.asp](http://www.poli.usp.br/Organizacao/Historia/Diretores/Paula_Souza.asp)

Antônio Francisco de Paula Souza (1843-1917) nasceu em Itu, na fazenda de seu avô materno, Major Antônio Pais de Barros, que viria a ser o Barão de Piracicaba. Sua família, como parte da elite cafeeira paulista, teve significativa participação nos acontecimentos políticos do século XIX. Seu avô paterno, Francisco de Paula Souza e Mello, participou do processo de emancipação política brasileira como deputado das Cortes de Lisboa, foi membro da Assembleia Constituinte, tornou-se Senador e, durante o período da regência, ocupou o cargo de Ministro do Império.

Seu pai, cujo nome também era Antônio Francisco de Paula Souza, formou-se em medicina, na Bélgica, e teve intensa participação política durante o Império: foi Deputado Provincial, Deputado Geral e Ministro da Agricultura, tendo participado da elaboração do primeiro projeto para extinguir a escravidão no Brasil.

Em 1858, aos 15 anos de idade, Antônio Francisco de Paula Souza vai para a Alemanha terminar sua formação secundária, voltando para o Brasil em 1860.

Em 1861, com 17 anos, Paula Souza retorna à Europa e, em outubro desse ano, é admitido no Curso de Engenharia da “Eidgenössische Polytechnische Schule”<sup>194</sup>, mais tarde denominada “Eidgenössische Technische Hochschule Zürich – ETH”<sup>195</sup>.

O ensino de engenharia praticado em Zurique, na época em que Paula Souza lá estudou, dava ênfase ao ensino da ciência aplicada, por meio do oferecimento de uma instrução sistemática de métodos experimentais e fortes ligações com as indústrias. Este tipo de ensino de engenharia representava um contraponto ao ensino de engenharia oferecido pelas escolas politécnicas francesas, com forte influência positivista, que valorizava mais o ensino das ciências fundamentais química, física e matemática, principalmente matemática. O modelo francês influenciou fortemente a Escola Politécnica do Rio de Janeiro. (PADILHA, 2010, p. 29)<sup>196</sup>

Paula Souza tentou cursar, simultaneamente, a Escola de Engenharia e a Escola de Filosofia, isso gerou um conflito que, entre outros, o obrigou a deixar a universidade:

O fato de estar matriculado em duas faculdades simultaneamente (“Doppelmatrifikation”), o que não era permitido pela direção da ETH, parece ter sido uma das principais causas das divergências entre a direção da faculdade e alguns alunos, dentre eles Antônio Francisco de Paula Souza.

(ib. PADILHA, 2010, p. 26)

Em meados do primeiro semestre do ano de 1863, Antônio Francisco de Paula Souza teve que deixar a Eidgenössische Polytechnische Schule por razões disciplinares e por fraco desempenho acadêmico, segundo consta dos protocolos do processo (Paula Souza aus Brasilien, früher Schüler unserer Ingenieurabteilung ist wegen Nachlässigkeit und Unfleiss auf den Antrag der Lehrerkonferenz mit der Wegweisung von der Anstalt bedroht worden.)<sup>197</sup>, ainda disponíveis nos arquivos da ETH (Archiv d. Schweiz Schulrats 1863, Präsidialprotokolle), datados de 23 de março e de 13 de maio de 1863. (ib. PADILHA, 2010, p. 30)

<sup>194</sup> Escola Politécnica Federal da Suíça.

<sup>195</sup> Instituto Federal Suíço de Tecnologia de Zurique.

<sup>196</sup> PADILHA, Rodrigo Bastos. Antonio Francisco de Paula Souza – Engenheiro, político e educador – o criador da Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo: Leopardo Editora Ltda., 2010.

<sup>197</sup> “Paula Souza, do Brasil, ex-aluno do nosso departamento de engenharia, foi ameaçado de expulsão da instituição, por negligência e falta de aplicação, por solicitação do colegiado de professores.”

Assim, tendo entrado na Politécnica de Zurique em outubro de 1861, Paula Souza é afastado em meados do primeiro semestre de 1863, portanto, permaneceu na escola menos de dois anos.

Em 1864, Paula Souza vai para a Alemanha e se matricula na Faculdade de Química de Karlsruhe (“Chemischen Schule”). Após um ano, passa para a Faculdade de Engenharia Civil (“Polytechnischen Hochschule”, mais tarde denominada “Technische Hochschule”).

Entre 16 e 18 de julho de 1867, Paula Souza se submete aos exames finais do curso, obrigatórios para a obtenção do diploma de engenheiro. Sua nota final, média de todas as provas, foi 52, considerada insuficiente para a aprovação.

Paula Souza, com 24 anos, retorna ao Brasil e vai para a fazenda da família, em Rio Claro.

Em 1869, Paula Souza parte para os Estados Unidos e de lá retorna à Europa, casando-se com a filha do poeta revolucionário Georg Herwegh<sup>198</sup>. Após viajar com a esposa por diversos países, Paula Souza retorna ao Brasil.

No Brasil, em 1871, Paula Souza é nomeado “Engenheiro-Chefe” da Estrada de Ferro Ituana. Em 1879, monta, em Campinas, um escritório de engenharia, através do qual trabalhou com companhias públicas e privadas. Em 1883, ocupa o cargo de “Engenheiro-Chefe” da estrada de ferro que deveria ligar Rio Claro a São Carlos. Terminada aquela obra, em 1888, retorna a Itu, onde assume o cargo de Inspetor Geral da Companhia Ituana, no qual permanece até a proclamação da República. Em 1892 é eleito Deputado Estadual. Entre os anos de 1892 e 1893, exerce os cargos de Ministro dos Negócios Estrangeiros<sup>199</sup> e Ministro da Indústria, Viação e Obras Públicas<sup>200</sup>.

### 3.4.3. O nascimento da Escola Politécnica de São Paulo

No final do século XIX, havia no Brasil apenas duas escolas de engenharia, a Politécnica do Rio de Janeiro e a Escola de Minas de Ouro Preto, que não formavam número suficiente de engenheiros para atender as necessidades do país: São Paulo precisava de uma escola de engenharia. Assim, em 1891, o Deputado Paulo Egidio de Oliveira Carvalho apresenta no Congresso Legislativo (futura Assembleia Legislativa) o anteprojeto da Escola Politécnica de São Paulo. Em 1892, Paula Souza é eleito Deputado. Ao assumir a presidência do Congresso Legislativo, dá andamento ao projeto de criação do “Instituto Politécnico”, como foi chamado inicialmente.

A proposta de criação da Escola Politécnica de São Paulo, levada adiante por Paula Souza, foi duramente criticada por Euclides da Cunha que, em artigos publicados no jornal O Estado de São Paulo, considerou o projeto *vazio de orientação, incorretíssimo na forma e deficiente no sentido de modelar a mentalidade dos futuros engenheiros* (apud. PADILHA, 2010, p. 103).

Apesar de ter enfrentado forte oposição, o projeto foi aprovado e, em 14 de novembro de 1893, Antônio Francisco de Paula Souza foi nomeado diretor da Escola Politécnica, cargo no qual permaneceria até sua morte, em 14 de abril de 1917.

A Escola Politécnica de São Paulo foi inaugurada no dia 15 de fevereiro de 1894, num evento de grande preeminência política, social e econômica.

<sup>198</sup> Georg Friedrich Rudolph Theodor Herwegh (1817-1875), poeta revolucionário alemão.

<sup>199</sup> Atual Ministério das Relações exteriores.

<sup>200</sup> Atual Ministério dos Transportes.



Figura 38. Solar do Marquês de Três Rios.<sup>201</sup>

Com o passar do tempo, as instalações da Escola foram sendo ampliadas. Em 1899, foi inaugurado um grande prédio, ao lado do Solar do Marquês de três Rios, onde se instalaram os laboratórios de Física, Química, Resistência dos Materiais e vários outros. O projeto foi do Prof. Francisco de Paula Ramos de Azevedo e as instalações e equipamentos eram o que havia de mais avançado na época, tendo como modelo a Politécnica de Zurique. Foi, também, o primeiro prédio construído no país com aquela finalidade.



Figura 39. Edifício Paula Souza.<sup>202</sup>

Ainda em 1899, Paula Souza iniciava os cursos práticos de Estabilidade e Resistência dos Materiais. As aulas foram ministradas no recém-inaugurado Gabinete de Resistência dos Materiais, anexo ao edifício principal da Escola Politécnica.

No Gabinete de Resistência dos Materiais foram também realizados os primeiros ensaios de tecnologia mecânica do país, organizados com a assistência de Ludwig von Tetmayer (1851-1905), professor de Mecânica Aplicada da Eidgenössische Technische Hochschule Zürich – ETH.

(ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS p. 55)<sup>203</sup>

<sup>201</sup> Imagem obtida em [http://www.poli.usp.br/Organizacao/Historia/Historico/imagens/pg066\\_n1.jpg](http://www.poli.usp.br/Organizacao/Historia/Historico/imagens/pg066_n1.jpg)

<sup>202</sup> Imagem obtida em <http://www.poli.usp.br/Bibliotecas/InfoGerai/Historico.asp>

<sup>203</sup> ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS. Rio de Janeiro: Editora Expressão e Cultura Ltda., 1993.



O primeiro curso especial de Resistência dos Materiais e Grafo-estática foi ministrado pelo próprio Paula Souza.

A Escola Politécnica de São Paulo teve uma importância fundamental no desenvolvimento da engenharia no Brasil. O seu Laboratório de Resistência dos Materiais, por exemplo, projetado especialmente pelo famoso Prof. Ludwig von Tetmajer, de Zurique, e embrião do futuro Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT, foi pioneiro no Brasil no ensaio de materiais, e pioneiro também desde o início, em atender não só as finalidades didáticas como também as necessidades práticas da firmas de construção e da nascente indústria paulista. (...) Essa Escola foi também responsável pelo desenvolvimento das primeiras atividades de engenharia mecânica no Brasil (...) (TELLES, 1993, p. 8)<sup>204</sup>

Era o momento exato em que as aplicações da mecânica racional aos problemas técnicos de resistência dos materiais e estabilidade das construções alcançavam sucesso baseado na experimentação de laboratório e nas observações de obras. Um dos grandes artífices desse sucesso foi o próprio diretor do Laboratório de Ensaios de ETH, Ludwig von Tetmayer – o primeiro a verificar experimentalmente a fórmula de EULER para flambagem de colunas esbeltas. Foi Tetmayer quem projetou, a pedido de Paula Souza, o Gabinete de Resistência dos Materiais da Poli, e que em 1903, enviou seu assistente, o Eng. Wilhelm Fischer, para dirigi-lo. (VARGAS, 1994, p. 218)<sup>205</sup>

O “Grêmio Politécnico”, órgão representativo dos alunos, foi fundado em 1903 (...) foi também responsável pela publicação da Revista Politécnica e diversos livros técnicos, entre os quais o manual de Resistência dos Materiais, com notas de aulas do Prof. Paula Souza. (TELLES, op. cit., p. 8, 9)

Entre os cursos da Escola Politécnica de São Paulo, havia o de Engenharia Agrícola que, em 1911, seria transferido para a Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ, em Piracicaba.



Figura 40. Engenharia Agrônômica.

Um professor da ESALQ, Octavio Teixeira Mendes, escreveu um pequeno livro de Resistência dos Materiais:

<sup>204</sup> TELLES, Pedro Carlos da Silva. História da engenharia no Brasil (Séculos XVI a XIX), VI. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

<sup>205</sup> VARGAS, Milton. História da técnica e da tecnologia no Brasil. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1994.

“Noções elementares de Resistencia dos Materiaes”<sup>206</sup>

Trata-se de um manual de aplicação em que são apresentados os conceitos básicos da Resistência dos Materiais: “pequeno e despretensioso trabalho”, nas palavras do autor. Assim, não será considerado por nós um livro-texto.

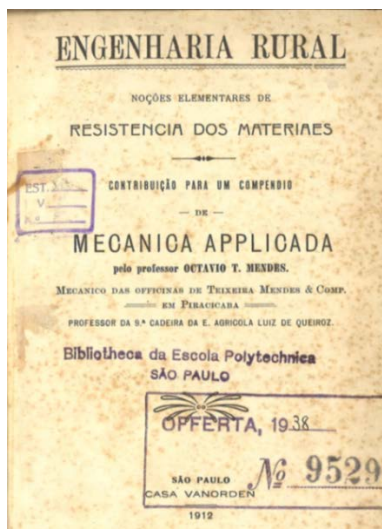


Figura 41. Frontispício do livro de Octavio Teixeira Mendes.

**3.4.4. O livro de Paula Souza:  
“Resistencia dos Materiaes e Grapho-Estatica”<sup>207</sup>**

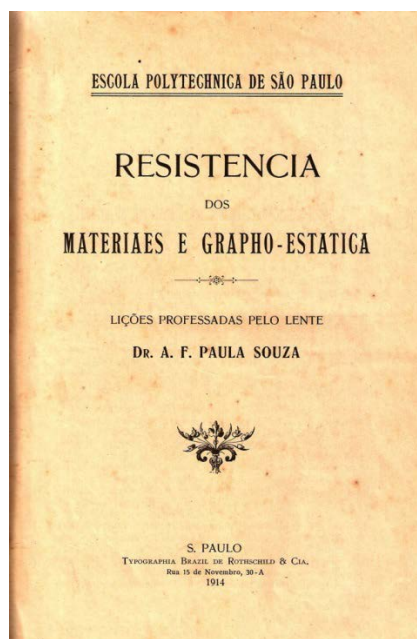


Figura 42. Frontispício do livro de Paula Souza.

<sup>206</sup> MENDES, O. T. Resistencia dos Materiaes. São Paulo: Casa Vanorden, 1912.

<sup>207</sup> SOUZA, A. F. P. Resistencia dos Materiaes e Grapho-Estatica. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Cia., 1914.

Assim, chegamos ao livro, com as “lições professadas pelo lente Dr. A. F. Paula Souza”, publicado em 1914, que consideraremos o terceiro livro-texto de Resistência dos Materiais publicado no Brasil.

É um livro relativamente volumoso: tem 632 páginas. Entretanto, nele são apresentados três cursos: “Resistencia dos Materiaes” (da pág. 3 à pág. 150), “Grapho-estatica” (da pág. 151 à pág. 200) e “Estabilidade das Construcções” (da pág. 201 à pág. 632).

Neste trabalho, interessar-nos-emos, apenas, pela 1ª parte do livro, que trata da Resistência dos Materiais.

Embora o livro seja bem impresso e a diagramação seja boa, temos a impressão de que o livro foi feito mais como uma apostila: passa-se do frontispício diretamente para o primeiro capítulo, sem um prefácio, uma introdução, uma apresentação ou um índice, nada! É um livro desprezioso, o que nos faz lembrar palavras ditas em “Escola Politécnica 100 anos”:

O ensino da engenharia, antes dedicado ao estudo dos “tratados” e aplicado segundo o conhecimento empírico dos grandes mestres, voltou-se então para o enfoque da pesquisa tecnológica, com a preocupação de formar especialistas.

(ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS, op. cit., p. 62).

### 3.4.5. A Escola de Engenharia Mackenzie

Em 1870, a Sra. Mary Chamberlain, missionária americana, da Igreja Presbiteriana, abre, em São Paulo, uma escola infantil na qual os métodos de ensino são considerados revolucionários para a época. A “Escola Americana” cresce e, em 1884, passa a ser dirigida pelo Dr. Horace Lane, profundo conhecedor dos problemas do ensino e do Brasil.

Sob a direção do Dr. Lane, a escola se desenvolve e, em 1890, já conta com cursos de nível superior de literatura e ciências.

Nessa época, na Europa, José Bonifácio de Andrada e Silva desperta em John Theron Mackenzie, um filantropo americano, o interesse em promover no Brasil o ensino dos modernos conhecimentos tecnológicos. Convencido de que aquele era um bom destino para parte de seu patrimônio, John Theron Mackenzie faz constar em seu testamento significativo legado destinado à instalação, no Brasil, de uma Escola de Engenharia que adote os métodos pedagógicos das Universidades Americanas.



Figura 43. John Theron Mackenzie.<sup>208</sup>

<sup>208</sup> Imagem obtida em <http://www.mackenzie.br/typo3temp/pics/179c0af0cf.jpg>

Coube à Igreja Presbiteriana dos Estados Unidos a incumbência de tornar realidade o empreendimento, o que foi feito através da Escola Americana, dirigida pelo Dr. Lane. Assim, em 1896, nasce a Escola de Engenharia Mackenzie.



Figura 44. Primeiro prédio da Escola de Engenharia Mackenzie.<sup>209</sup>

Até 1927, a Escola de Engenharia Mackenzie esteve ligada à Universidade de New York, que era quem expedia os diplomas.

A “Mackenzie” teve sempre bons professores, muitos dos quais norte-americanos, e excelentes laboratórios que, além das finalidades didáticas, dedicavam-se também a pesquisas de ciência pura e aplicada, bem como a serviços para terceiros. O ensino, de orientação americana, esteve, desde o início, voltado para o lado prático da engenharia. ( TELLES, op. cit., p. 11)

### 3.4.6. Augusto de Brito Belford Roxo e a Politécnica do Rio de Janeiro

Augusto de Brito Belford Roxo (1878-1951) nasceu no Rio de Janeiro, filho de Raimundo Teixeira Belford Roxo (1838-1896) e de Maria Faustina Accioli Brito (1855-1891). Seu pai, engenheiro formado pela Escola Central, no Rio de Janeiro, era membro do Instituto dos Engenheiros Civis de Londres, onde estudou durante algum tempo, tendo também frequentado a Escola de Pontes e Estradas de Paris.

Esta apresentação, apesar de extremamente sucinta, deixa claro que Augusto de Brito Belford Roxo foi criado num ambiente favorável ao seu desenvolvimento intelectual e educacional.

Em 1900, Augusto de Brito Belford Roxo graduou-se em engenharia civil na Escola Politécnica do Rio de Janeiro e, em 1911, foi nomeado professor da mesma escola.

Em outubro de 1952, a Revista do Clube de Engenharia<sup>210</sup> publicou um depoimento do Professor Maurício Joppert da Silva<sup>211</sup> em homenagem ao Professor Augusto de Brito Belford

<sup>209</sup> Imagem obtida em <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/cia-restauro-centro-historico-15-03-2004.html>

Roxo, de quem fora aluno. Desse artigo, reproduzido no livro do Professor Paulo Pardal<sup>212</sup>, *Memórias da Escola Politécnica*<sup>213</sup>, citamos alguns trechos que consideramos significativos para o nosso estudo:

Não lhe exigiram provas de concurso [de Belford Roxo]: fora um dos grandes alunos do seu tempo, já ingressara por concurso no magistério da Escola Naval e demonstrara em algumas comissões brilhante habilidade profissional, sendo dos primeiros engenheiros brasileiros a projetar obras de concreto armado. Sua nomeação foi, por isso, bem recebida e seus notáveis predicados de professor firmaram-se desde logo, lecionando a Seção de Mecânica que compreendia as cadeiras de Mecânica Racional, Mecânica Aplicada e Máquinas.

(SILVA, 1952, apud. PARDAL, 1984, p. 172)

Aconteceu que Carlos Sampaio<sup>214</sup> se ausentara em viagem à Europa e coube ao professor Belford Roxo desenvolver a cadeira de Mecânica Aplicada em sua ausência, apresentando, assim, pela primeira vez, na Escola Politécnica, em 1914, um curso completo de Resistência dos Materiais. Dada a importância do assunto, os alunos deixaram-se empolgar, acompanhando com entusiasmo o jovem professor. Mas o catedrático voltou para examinar e, discordando da orientação do substituto, reprovou quase toda a turma. Apesar desse fracasso, continuou o professor Belford Roxo a desenvolver, de preferência, a Resistência dos Materiais, até que ela se tornou independente, constituindo cadeira isolada.\* (id. *ibid.* p. 172)

\* De 1901 a 1915, Resistência dos Materiais fazia parte da cadeira Mecânica Aplicada. De 1915 a 1925, Resistência e Estabilidade contituiam uma cadeira (do prof. Lóssio e Sieblitz) desmembrada, em 1925, nas de Resistência (do prof. Lino de Sá Pereira) e de Estabilidade e Pontes, ocupada pelo prof. Belford Roxo, como catedrático. (op. cit. PARDAL, 1984, p. 172)

A cadeira de Mecânica Aplicada, além da Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos, compreendia também a Resistência dos Materiais. A princípio justificava-se esta aglomeração, mas já nos primeiros anos deste século [séc. XX] a Resistência dos Materiais – quer pela pesquisa teórica, quer pelos resultados dos laboratórios – tomara tal desenvolvimento que era necessário erigi-la em cadeira independente.

(SILVA, 1952, apud. PARDAL, 1984, p. 172)

[Belford Roxo] Publicou, em 1915, as suas Lições de Resistência dos Materiais, proferidas em 1914, obra premiada pela Congregação da Escola Politécnica e da qual apareceu, em 1920, uma segunda edição, em dois volumes. (id. *ibid.* p. 172)

<sup>210</sup> Clube de Engenharia do Rio de Janeiro, entidade fundada em 1880, que reúne engenheiros com o objetivo de discutir questões da engenharia e publicar revistas e obras técnicas.

<sup>211</sup> Maurício Joppert da Silva (1890-1985): Professor Emérito da Escola de Engenharia da UFRJ.

<sup>212</sup> Paulo José Pardal (1928-2004) Professor da Escola de Engenharia da UFRJ.

<sup>213</sup> PARDAL, Paulo. *Memórias da Escola Politécnica*. Rio de Janeiro: Xerox do Brasil, 1984.

<sup>214</sup> Carlos Cesar de Oliveira Sampaio (1861-1930), professor da cadeira de Mecânica Aplicada na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, de 1882 a 1925.

Do que foi reproduzido acima, destacamos o seguinte:

- o Prof. Belford Roxo, gozava de grande prestígio entre seus pares, tendo sido dispensado de concurso para iniciar sua docência na Escola Politécnica;
- substituindo o Prof. Carlos Sampaio, catedrático da disciplina Mecânica Aplicada, o Prof. Belford Roxo ministra, em 1914, pela primeira vez na Escola Politécnica, um curso completo de Resistência dos Materiais;
- ao retornar, o Prof. Carlos Sampaio discorda da orientação dada ao curso por seu substituto, Prof. Belford Roxo;
- em 1915, o Prof. Belford Roxo publica o livro “Lições de Resistencia dos Materiaes – curso de 1914”;
- a congregação da Escola Politécnica premia o livro do Prof. Belford Roxo;
- em 1915, Resistência dos Materiais e Estabilidade das Construções constituem uma nova disciplina, separada de Mecânica Aplicada;
- em 1925, Resistência dos Materiais e Estabilidade das Construções são separadas constituindo disciplinas independentes.

Somos levados a crer que, naquele contexto da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, no início do século XX, o Prof. Belford Roxo teve um papel importante em relação ao desenvolvimento da Resistência dos Materiais no Brasil. Seu trabalho como Professor substituto de Carlos Sampaio, supomos, teria contrariado uma tendência conservadora do Professor Catedrático que, segundo o Prof. Joppert, ao reassumir a cadeira, “reprovou quase toda a turma”. Essa atitude do Prof. Carlos Sampaio pode ser interpretada como uma reprovação à linha seguida pelo Prof. Belford Roxo.

A despeito desse “fracasso”, Belford Roxo publica, no ano seguinte, o livro com a íntegra do curso “reprovado” por Carlos Sampaio. A obra é premiada pela Congregação da Escola Politécnica, composta pelos professores Jorge de Lossio<sup>215</sup>, Sampaio Corrêa<sup>216</sup>, Domingos Cunha<sup>217</sup> e pelo Diretor da Escola, Paulo de Frontin<sup>218</sup>. Essa premiação, acreditamos, além de desautorizar a “reprovação” de Carlos Sampaio, expressa o apoio da Escola a Belford Roxo.

Temos, assim, o livro “Lições de Resistência dos Materiais”, de Augusto de Brito Belford Roxo.

---

<sup>215</sup> Jorge Valdetaro de Lóssio e Suibltz (1873-1923) Professor Catedrático de Resistência dos Materiais e Estabilidade das Construções.

<sup>216</sup> José Matoso Sampaio Correia (1875-1942) Professor Catedrático na Escola politécnica do Rio de Janeiro, trabalhou na construção das estradas de ferro Noroeste do Brasil e Maricá, colaborou com Paulo de Frontin no abastecimento de água do Rio de Janeiro (1889), foi deputado (1918) e senador (1920 e 1926) pelo antigo Distrito Federal.

<sup>217</sup> Domingos José da Silva Cunha, Professor Catedrático de Materiais de Construção, na Escola Politécnica do Rio de Janeiro, autor do primeiro trabalho publicado no Brasil sobre assuntos geotécnicos, no 1º número da Revista Brasileira de Engenharia, em outubro de 1920.

<sup>218</sup> André Gustavo Paulo de Frontin (1860-1933), Professor Catedrático de Mecânica Aplicada às Máquinas na Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Foi senador, prefeito do antigo Distrito Federal e deputado federal.

### 3.4.7. O livro de Belford Roxo

Em 1915, o Professor Belford Roxo publica o livro “Lições de Resistencia dos Materiaes – (curso de 1914)”. O livro está dividido em duas partes que, indevidamente, são chamadas 1º volume e 2º volume. Essas denominações, “1º volume” e “2º volume”, não têm sentido, pois são duas partes totalmente relacionadas, inclusive na numeração dos capítulos, e apresentadas num único volume. A “1ª parte” é apresentada em 273 páginas e a “2ª parte” é apresentada em 219 páginas, tendo o livro, portanto, 492 páginas.

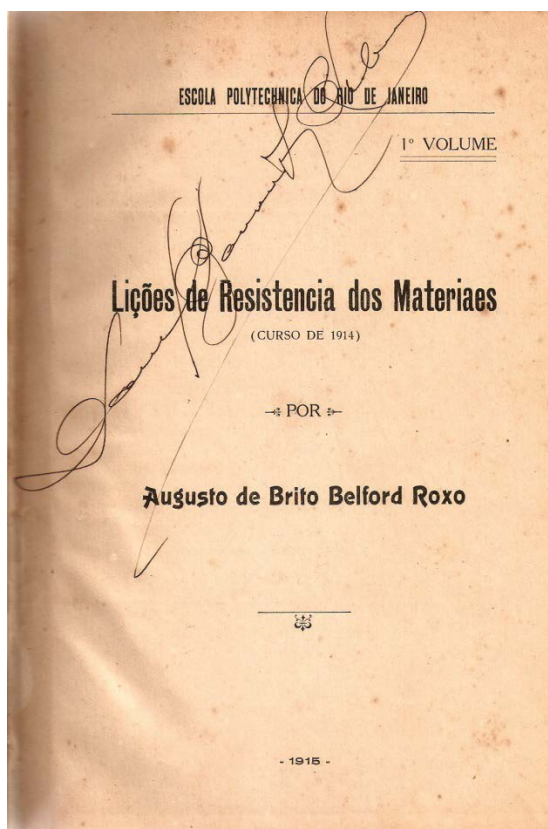


Figura 45. Frontispício do “1º volume”.

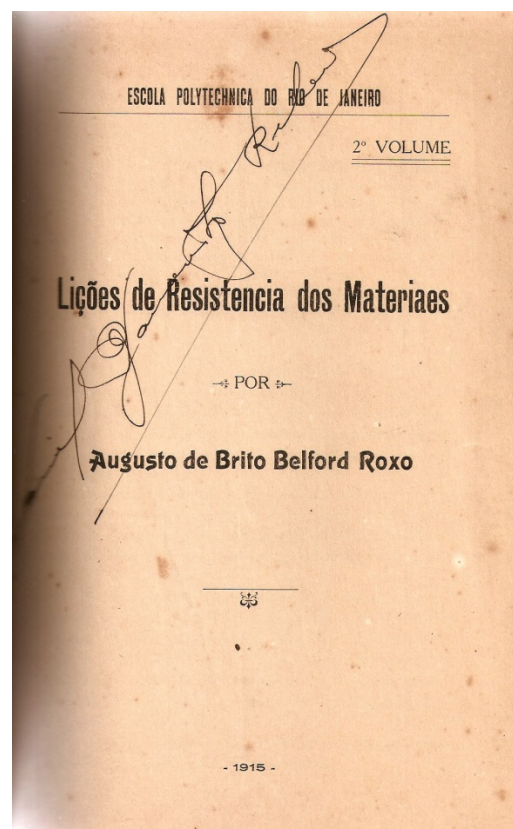


Figura 46. Frontispício do “2º volume”.

Por considerarmos o prefácio muito esclarecedor quanto aos objetivos do Professor Belford Roxo, vamos reproduzi-lo integralmente.

#### PREFACIO

Ao iniciarmos o curso, é intuito nosso salientarmos o rumo, pelo qual nos deveremos nortear, accentuando desta arte o ponto de vista, a que nos vamos subordinar.

Cumpre, para isto, attendermos primeiro a que reverteria em heresia passivel de facil impugnação pretendermos plantar qualquer desharmonia entre a theoria e a pratica, como que entre ellas erigindo qualquer muralha de separação – quando, ao contrario, ao envez de antagonicas, são antes alliadas, destinadas a marchar parallelamente, toda pratica sã, inspirando-se na theoria, nella se estribando, della emanando e toda theoria util, dando logar a applicações no mundo concreto.

Para discernirmos bem, comtudo, da utilidade d’uma theoria, sob tal aspecto, faz-se mister lancemos as nossas vistas para além dos dominios, em que tenhamos de operar, procurando descortinar não somente as applicações immediatas, mas tambem

reconhecer si, aparentemente estéril no momento, não vai ella, no entanto, fornecer subsídio a outra ou outras theorias, que tenham repercussão na pratica.

Já bem longe vão os tempos, em que aos homens de sciencia repugnava qualquer excursão em terreno pratico, parecendo-lhes, mesmo, cumprir missão menos digna, si abandonavam as suas especulações puramente abstractas em apreciação de subtilezas do mundo concreto e apresentando os resultados das suas investigações, si por acaso lhes interessava um assumpto pratico, sob feição por demais abstracta, e por isto, de accesso difficil ás applicações.

Já bem distante também a epoca, em que os praticos menos prezavam os conhecimentos scientificos, consumindo, por isto, tempo precioso no estudo e casos particulares, meras consequencias de adaptação de formulas geraes theoreticas, consagrando, ás vezes, energias valiosas em invenções chimericas, incompativeis com os principios da sciencia e creando uma triste experiencia, á custa de sucessos, que a theoria saberia prever e dos quaes se julgavam muitas vezes garantidos, sacrificando a economia em prol de um excesso de segurança desnecessario.

Hoje acha-se firmada convenientemente a conciliação entre a theoria e a pratica: trata-se de duas alliadas, decorrentes de uma mesma fonte de principios, apenas divergindo pelos pontos de vista, em que precisam operar, a sua collaboração mutua redundando em factor prodigioso de progresso.

Restam, no entanto, vestigios daquelle preconceito antigo, e, si é verdade desdenharem da sciencia somente praticos ignorantes, forçoso é confessar que scientistas de alto valor ainda consomem preciosas forças especulativas em abstracções estereis, num verdadeiro sport intellectual, em que, por completo, esquecem o mundo exterior, em um improductivo dilettantismo scientifico, do qual a humanidade não colhe proveito, revestindo os seus ensinamentos de um criterium capaz de fazer crer a espiritos menos atilados n'uma separação incomprehensivel entre a theoria e a pratica.

Estas, ao contrario, devem manter-se sempre em harmonia manifesta, em franca conciliação: o adversario da theoria, contra o qual deve ser travado combate sem treguas, sem muitas vezes garantia de successo, longe de ser a pratica, que della, realmente promana, vem a ser o empirismo, que, sem base scientifica, intervem frequentemente na engenharia, traduzido por meio de formulas, variando com as experiencias e os experimentadores e inspirando por isto credito muito relativo.

O combate a tal inimigo consiste, como se sabe, em, multiplicadas as experiencias, na coordenação, tanto quanto possivel dos resultados obtidos, na presumpção de ser nellas desvendado algo de uniforme e de ser discernida a influencia de cada um dos seus elementos, afim de serem instituidas bases para creação de theorias ou estabelecimentos de hypotheses, das quaes resulte sua absorpção gradativa pela pratica são ou ao menos uma atenuação conveniente de seus efeitos perniciosos.

Deve repousar assim sempre a pratica na theoria, que representa a fonte, onde ella vai haurir elementos para qualquer applicação racional.

De tal theoria abstrahir, redundando em dar á pratica a feição empirica, convertendo o engenheiro n'um manuseador de catálogos e aide-memoires, sem criterio para lidar com formulas, cuja origem, character, natureza e limites de applicação desconhece, sem competencia para corrigir erros de signaes e expoentes, que, por acaso, as acompanhem, pela triste ignorancia dos processos, que presidiram á sua deducção, sem circumspecção para aquilatar da intervenção dos elementos, de que ellas dependem, sem discernimento para adaptal-as a casos especiaes, que se lhes deparem e não estejam contemplados na esphera limitada dos meios ao seu alcance; seguir trajectoria de tal jaez incide na humilhação do profissional, transformando suas elevadas funcções em servil homenagem a fórmulas, que para elle constituem verdadeiros hieroglyphos, oriundos de fontes, de cuja existencia nem ás vezes suspeita, a ponto de jactar-se de prescindir de conhecimentos, nos quaes, no entanto, sem sciencia propria, se baseia a cada passo.

Não julgamos, outrossim, se deva baixar o nivel e a cultura dos conhecimentos mathematicos do engenheiro: na nossa opinião só são inuteis os exageros theoreticos, sem reflexo no dominio das applicações, representando, por isto, divagações estereis.

As theorias, comtudo, com repercussão na pratica, estas o profissional deve estudar com todo desenvolvimento, perscrutando as subtilezas e examinando com carinho os



seus menores detalhes, pois só assim poderá formar elle juizo seguro sobre todas as questões da alçada da sua profissão e adquirir a capacidade de raciocinio para interpretar, discutir e preferir com criterio as soluções, sobre as quaes se tiver de pronunciar.

Á vista d'isto, no estudo presente de RESISTENCIA DOS MATERIAES, teremos como objectivo buscar luzes na theoria sómente para projectal-as no vasto campo das applicações, de forma a manter entre a theoria e a pratica a alliança capaz de dar ao engenheiro a base scientifica para abordar com circumspecção, discernimento e idoneidade os multiplos problemas de sua profissão, que precisará resolver, não como instrumento secundario e as vezes inconsciente de execução, mas como factor inteligente de projecto e elaboração.

Belford Roxo”

Não sem razão, um de seus alunos, Sóter Caio de Araújo, dedicou-lhe a seguinte poesia:

### DEFORMAÇÃO

Notas de aula – Mecânica Aplicada... à Literatura

Temos um *corpo* natural, Senhores,  
Equilibrado molecularmente.  
Dormindo sossegado, sem temores,  
O leve e branco sono do inocente.

Sem se saber de onde e mesmo quando,  
Diversas forças, todas bem armadas,  
Apareceram, num luzido bando,  
Vibrando lanças, dando clarinadas.

E as forças vivas, fortes, desenvoltas,  
Atacaram o *corpo* adormecido.  
E aos gritos loucos, às lançadas soltas,  
Despertaram-no, então, espavorido.

Atordoado no primeiro instante  
O *corpo* todo retorceu-se e, então,  
O *corpo* teve no seu corpo arfante  
O feio indício da *deformação*.

Mas, felizmente, as *interiores forças*,  
Que são também *ações moleculares*,  
Ligeiras como as mais ligeiras corças,  
Entoando patrióticos cantares,

Correram em defesa do atacado,  
Vieram socorrê-lo da *ruptura*  
A que estava o coitado ameaçado  
Ante aquela agressão furiosa e dura.

Travou-se, então, ciclópico conflito,  
Mortífera batalha ensanguentada;  
Gritos de dor, blasfêmias de proscrito...  
Não houve intervenção sem ser lembrada!

E sempre e sempre resistindo heroicas  
As *forças interiores*, bem unidas,  
Sofreram provações as mais estoicas,  
Bateram-se incessantes, destemidas,

Até que as exteriores se cansando,  
As fardas em farrapos, sem ter sorte,  
E no campo da luta abandonando  
As que foram colhidas pela morte,

Fugiram numa grande debandada.  
Vindo à normalidade tudo, então,  
Só houve uma vitória mais contada,  
E nem indícios de *deformação*.

( PARDAL, 1984, p. 81)<sup>219</sup>

Do ponto de vista da Didática, o texto é muito ruim: faltam-lhe clareza e objetividade. O autor se perde em afirmações retóricas.

Somos levados a uma inevitável comparação entre a Politécnica do Rio de Janeiro e a recém-criada Politécnica de São Paulo: o texto prolixo de Belford Roxo nos induz a pensar que, nos primeiros anos do século XX, a Politécnica do Rio de Janeiro ainda conservava uma mentalidade retórica enquanto que a Politécnica de São Paulo já nascia com uma visão mais pragmática. No livro comemorativo dos cem anos da Politécnica de São Paulo lemos:

Paula Souza concebeu e criou a Politécnica de São Paulo como uma instituição de caráter aplicado, que tinha “em mira fornecer uma instrução científica que habilite seus alunos a não praticarem empiricamente, educando-os ao mesmo tempo na prática daqueles trabalhos que terão mais comumente de executar”. Seu objetivo primordial era, portanto, antes de de criar cidadãos que soubessem executar e praticar, do que discorrer e discutir. (ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS, op. cit., p. 12)<sup>220</sup>

No último parágrafo da citação acima parece haver mesmo uma crítica à formação dada, naquela época, pela Politécnica do Rio de Janeiro e que identificamos no livro de Belford Roxo.

### 3.4.8. Segunda edição do livro de Belford Roxo

Em 1923, é publicada a segunda edição do livro “Lições de Resistência dos Materiais (curso de 1914)”, do Professor Belford Roxo.

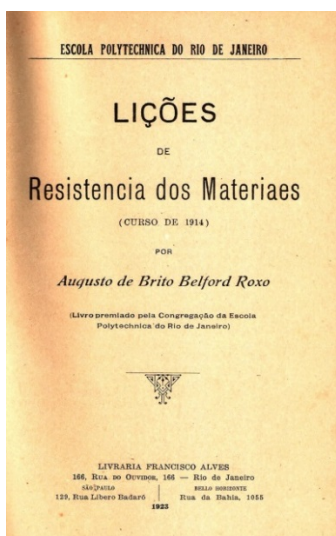


Figura 47. Frontispício da edição de 1923

<sup>219</sup> PARDAL, Paulo. Memórias da Escola Politécnica. Rio de Janeiro: Xerox do Brasil, 1984.

<sup>220</sup> ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS. Rio de Janeiro: Editora Expressão e Cultura Ltda., 1993.

Essa edição é bem mais volumosa que a primeira: tem 557 páginas enquanto a primeira tem 492. Foi acrescentado o capítulo XIV, inexistente na 1ª edição, com 14 páginas. Contudo, o grande aumento de volume é devido, principalmente, à gramatura do papel, bem mais grosseiro nesta edição.

Outra mudança foi a eliminação da divisão da matéria em duas partes, que no livro anterior são impropriamente chamadas “volumes”.

Quanto ao conteúdo, houve poucas mudanças: algumas correções foram feitas, alguns parágrafos foram eliminados ou modificados, alguns exercícios foram eliminados e outros acrescentados, alguns autores citados na primeira edição não são citados nesta. Mas, essencialmente, o livro é o mesmo.

Quanto à parte gráfica, o livro piorou muito em relação à primeira edição: a impressão, de maneira geral, é grosseira.

A segunda edição do livro de Belford Roxo é a primeira piorada: o aspecto do livro é ruim, a impressão é de má qualidade, o número de autores referidos diminuiu bastante e o Cálculo Diferencial e Integral quase não é usado.

### 3.4.9. Oscar Machado de Almeida

Em 1933, Oscar Machado de Almeida, Professor da Escola Politécnica de São Paulo, publica “Resistencia dos Materiais e Estabilidade das Construções”.

Temos pouquíssimas informações a respeito de Oscar Machado de Almeida. Sabemos que ele nasceu no Rio Grande do Sul, provavelmente em Porto Alegre, em 1862, mas não conseguimos descobrir o local e a data de sua morte.

Marilda Nagamini, em seu texto “1889-1930: Ciência e Tecnologia nos processos de urbanização e industrialização”, capítulo 3 do livro “Prelúdio para uma história – Ciência e Tecnologia no Brasil”, nos diz:

Entre 1917 e 1926, o GRM<sup>221</sup> esteve sob a direção de Oscar Machado de Almeida, que promoveu pesquisas sobre a verificação de estruturas como a do viaduto do Chá, em São Paulo. Após sua saída, o GRM foi ampliado, passando a denominar-se Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) (...) (NAGAMINI in MOTOYAMA, 2004, p. 211)<sup>222</sup>

---

<sup>221</sup> GRM: Gabinete de Resistência dos Materiais, criado em 1893, este laboratório estava ligado à disciplina Resistência dos Materiais, na Escola Politécnica de São Paulo, e sob a responsabilidade de Antonio Francisco de Paula Souza.

<sup>222</sup> MOTOYAMA, S. Prelúdio para uma história – Ciência e Tecnologia no Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

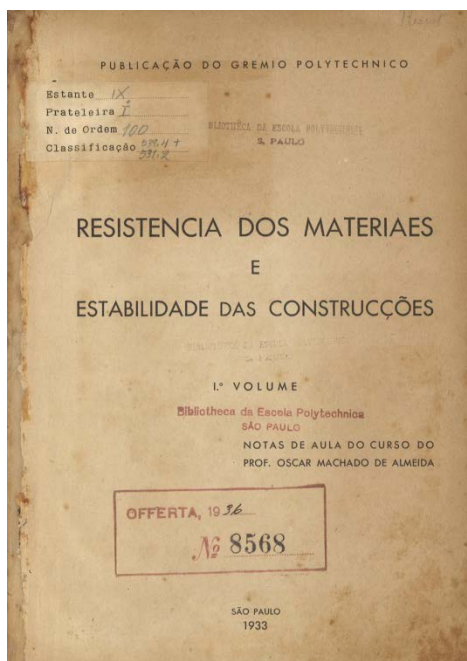


Figura 48. Frontispício do livro de Oscar Machado de Almeida

### 3.4.10. Flávio Suplicy de Lacerda

Flavio Suplicy de Lacerda nasceu em 4-10-1903, na Lapa, Paraná. Filho de Manoel José Correa de Lacerda e de Alice Maria Virmond Suplicy, descendentes de famílias com grande influência política: seu bisavô, Frederico Virmond, e seu avô, Jean F. Suplicy, tiveram fazendas no Paraná e faziam parte da classe dominante do estado.

Em 1923, Flavio Suplicy de Lacerda ingressou na Escola Politécnica de São Paulo, concluindo o curso de Engenharia Civil em dezembro de 1928, portanto, em seis anos, por ter sido reprovado num dos anos.

Em 1930, Flavio Suplicy de Lacerda é contratado pela Faculdade de Engenharia do Paraná como Professor Temporário de Resistência dos Materiais, cargo que exercerá até 1933, quando prestará concurso e passará a integrar o quadro estável de docentes da instituição.

Em 1946, a Faculdade de Engenharia passa a fazer parte da recém-criada Universidade Federal do Paraná, da qual Flavio Suplicy de Lacerda será reitor por duas décadas, a partir de 1949.

Em 1946, Flavio Suplicy de Lacerda assumiu a Secretaria de Viação de Obras Públicas no governo do interventor Brasil Pinheiro Machado, no Paraná. Porém, sua atuação política de maior relevância aconteceu quando assumiu o Ministério da Educação, no governo militar do Marechal Humberto de Alencar Castelo Branco, tendo sido nomeado em 15 de abril de 1964.

Em 1936, o Professor Flávio Suplicy de Lacerda publica “Graphostatica e Resistencia dos Materiais”. O livro tem 772 páginas e está dividido em duas partes: na primeira, ao longo de 122 páginas, é apresentado o estudo da “Grafo-Estática”, na segunda, em 650 páginas, trata da Resistência dos Materiais.

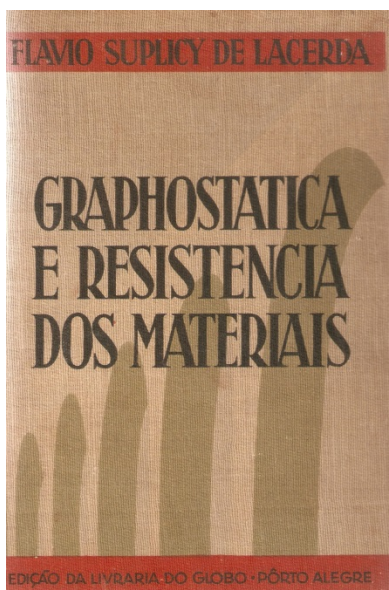


Fig. 49. Capa do livro

Na apresentação do livro, Lacerda diz:

(...) não somos somente os professores brasileiros que nos interessamos pelo estudante do Brasil, mas que todos os engenheiros d'esta grande Nação pensam sinceramente no futuro da nossa Patria , sem nunca atraioá-la na menor coisa, quanto mais na solução do máximo problema brasileiro, a formação da nossa elite intellectual. (LACERDA, 1936, p. 6)

Observamos nesse final de texto um “patriotismo exacerbado” e uma visão de educação perfeitamente coerentes com sua formação, tanto familiar quanto escolar. Suplicy teve uma formação elitista: provinha de uma família da classe dominante paranaense e estudou em escolas frequentadas pela elite, caso da Escola Politécnica de São Paulo, na época em que lá estudou, poucos anos após a morte de Paula Souza. Sua concepção de educação e sua postura política o levaram ao Ministério da Educação, em 1964, sob o regime militar.

Encontramos um testemunho de um ex-aluno do Professor Flávio Suplicy de Lacerda, Eliezer Batista da Silva<sup>223</sup>, relativo ao livro do Professor Suplicy, que acreditamos mereça ser reproduzido:

(...) lá pelos anos 40, a Universidade Federal do Paraná era um centro de excelência. Havia muitos professores europeus. (...) Os docentes brasileiros eram homens inteligentes, muitos deles com grandes contribuições para o país. (...) O Professor Flávio Suplicy de Lacerda, que viria a ser Ministro da Educação no governo Castello Branco, era autor do melhor livro de grafostática e resistência dos materiais até então publicado no Brasil. (...) (FARO et all, 2005, p. 24)<sup>224/ 225</sup>

<sup>223</sup> Eliezer Batista da Silva (1924), engenheiro pela Universidade Federal do Paraná, ex-presidente da Companhia Vale do Rio Doce.

<sup>224</sup> FARO, L. C. et all. Conversas com Eliezer. Insight Engenharia de Comunicação, 2005.

<sup>225</sup> Trata-se de um livro em que são transcritas entrevistas com Eliezer Batista.

O Engenheiro Eliezer Batista, ainda em suas memórias, referindo-se ao Professor Suplicy, nos conta:

(...Lacerda dava aula de resistência dos materiais. Era um sujeito austero, durão, que queria reprovar a turma inteira (...)) (id. ibd., p. 215)

O livro do Prof. Suplicy superou todos os outros livros de Resistência dos Materiais escritos até aquela data e, provavelmente, terá sido o mais completo escrito no Brasil, até hoje.

Em 1947, Flavio Suplicy de Lacerda, publica a segunda edição de seu livro.

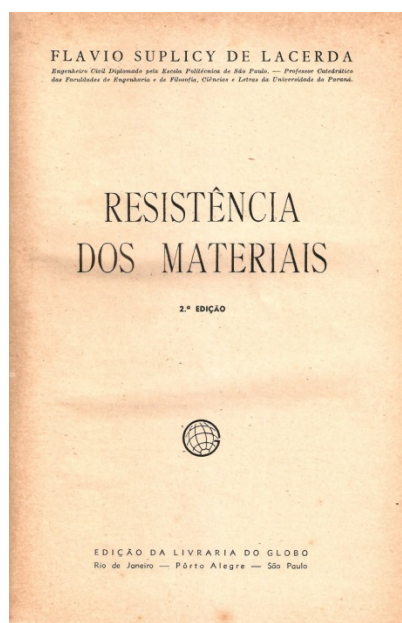


Figura 50. Frontispício da 2ª edição do livro de Flavio Suplicy de Lacerda

De imediato observa-se que o nome da obra foi alterado de “GRAPHOSTATICA E RESISTENCIA DOS MATERIAIS”, na 1ª edição, para “RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS”, na 2ª edição.

Embora “Graphostatica” não apareça mais no título do livro, o assunto continua a ser tratado, exatamente como na 1ª edição.

Observamos no frontispício um brevíssimo currículo do autor no qual destacamos uma diferença em relação àquele da 1ª edição: lá Suplicy era Professor Catedrático da Faculdade de Engenharia do Paraná, aqui a Faculdade já havia sido integrada à nova Universidade Federal do Paraná:

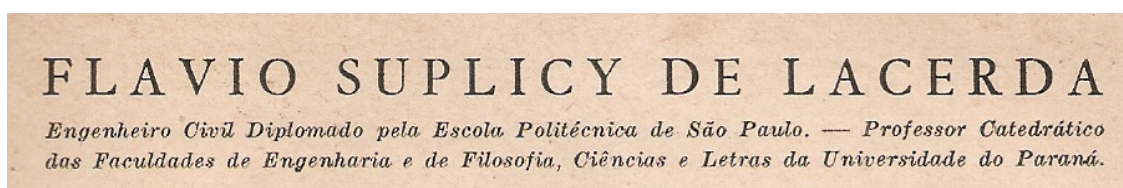


Figura 51. Detalhe do frontispício em que se destacam a formação e a posição de Suplicy.

Ao abrir o livro, observamos que a “EXPLICAÇÃO NECESSÁRIA”, encontrada logo no início da 1ª edição, que tanto nos impressionou por revelar a “honestidade” do autor, não aparece nessa 2ª edição. Lembremos uma passagem daquele texto:

Não há nenhuma novidade no nosso compêndio, não há qualquer inovação, qualquer dedução inédita. É todo elle composto com os textos mais autorizados, fazendo-se traducção liberrima nuns pontos, mais ou menos textual noutros, mas sempre traducção. Os autores são, portanto, Navier, Müller-Breslau, Föppl, Bach, Maurice Levy, Ritter, Culmann, Fontviolant, Camilo Guide etc., e não nós.

(LACERDA, 1936, p. 5)<sup>226</sup>

Ao longo de todo o livro, o texto da 2ª edição sofreu pouquíssimas alterações em relação ao texto da 1ª edição. Foram feitas algumas modificações que poderiam passar despercebidas ao leitor menos atento. Essencialmente, o livro é o mesmo. Assim, a declaração de Flavio Suplicy, reproduzida acima, “*os autores são, portanto, Navier, Müller-Breslau, Föppl, Bach, Maurice Levy, Ritter, Culmann, Fontviolant, Camilo Guide etc., e não nós.*”, obrigatoriamente, deveria ser mantida nessa nova edição.

Lamentavelmente, fica patente que Flavio Suplicy de Lacerda não manteve na 2ª edição de seu livro a mesma postura ética que tanto nos impressionou na 1ª.

As mudanças introduzidas nesta segunda edição desvalorizaram o livro apesar de ele ter se tornado mais “prático”.

Com o livro de Flavio Suplicy de Lacerda fechamos um ciclo de livros-texto de Resistência dos Materiais escritos no Brasil por autores brasileiros. Como visto no capítulo anterior, em 1945 é publicada a versão traduzida do livro de Timoshenko, a partir do qual inicia-se um novo ciclo.

---

<sup>226</sup> LACERDA, Flavio Suplicy. *Graphostatica e Resistencia dos Materiais*. Porto Alegre: Livraria Globo, 1936.





## 4. ANÁLISE CRÍTICA DE LIVROS-TEXTO DE RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS PUBLICADOS NO BRASIL

Cento e vinte e oito anos se passaram desde a publicação do primeiro livro-texto de Resistência dos Materiais no Brasil, em 1887. Nas primeiras décadas, depois do livro pioneiro de Paul Ferrand, as publicações foram esparsas, mas seu número aumentou significativamente após a II Guerra Mundial: a partir dos anos 50, dezenas de livros-texto de Resistência dos Materiais foram publicadas no Brasil.

Para compreendermos a “evolução” desses livros, este trabalho deveria “cobrir” esses cento e vinte e oito anos. Entretanto, nosso projeto só seria exequível se trabalhássemos com um número relativamente reduzido obras. Decidimos então selecionar um livro-texto que fosse representativo de cada década, a partir de 1887. Ou seja, 13 livros-texto.

Sendo este trabalho inédito, não dispúnhamos de referências ou classificações de livros-texto de Resistência dos Materiais, assim, tivemos que criar nosso próprio critério de seleção.

### 4.1. Critério adotado para a seleção dos livros a serem analisados

Para selecionar os treze livros que seriam analisados adotamos um critério que levou em conta os seguintes aspectos:

1. **importância histórica do livro:** nas primeiras décadas do século XX, poucos livros-texto foram escritos no Brasil. Dos que foram publicados, as tiragens foram pequenas e, devido ao tempo transcorrido, poucos exemplares restaram, tornando-se, portanto, ‘obras raras’. Esses antigos livros deveriam, obrigatoriamente, fazer parte da nossa seleção por sua importância histórica;
2. **importância e conceito do autor do livro:** demos importância especial aos autores cujos nomes foram imortalizados na história da engenharia no Brasil;
3. **número de edições e tempo durante o qual o livro foi comercializado:** há livros que tiveram vida efêmera, ou foram pouco adotados, e livros que foram usados por gerações de alunos de engenharia, priorizamos estes últimos;
4. **conceito geral do livro no meio acadêmico:** há livros que ganharam prestígio, respeito e muita aceitação no meio acadêmico. Procuramos priorizá-los em relação a outros menos aceitos, ou menos conhecidos;
5. **representatividade do livro:** sendo um dos nossos objetivos identificar as mudanças por que passaram os livros-texto ao longo das décadas, consideramos importante que as obras selecionadas fossem representativas de sua época .

Assim, com base nesse critério, chegamos à seguinte seleção:

ano	número de ordem	autor	ano da publicação
1880			
	1	Paul Ferrand	1887
1890			
		nenhum livro de Resistência dos Materiais foi publicado nessa década, no Brasil	
1900			
	2	José Eulálio da Silva Oliveira	1905
1910			
	3	Antônio Francisco de Paula Souza	1914
1920			
	4	Augusto de Brito Belford Roxo	1923
1930			
	5	Flavio Suplicy de Lacerda	1936
1940			
	6	Stephen P. Timoshenko	1945
1950			
	7	Telemaco van Langendonck	1956
1960			
	8	Jayme Ferreira da Silva Júnior	1962
1970			
	9	Earisto Valadares Costa	1974
1980			
	10	S. Timoshenko – James Gere	1983
1990			
	11	F. Beer – E. Johnston	1996
2000			
	12	Russell C. Hibbeler	2004
2010			
	13	J. Gere – B. Goodno	2010
2015			

Dentre tantos livros-texto de Resistência dos Materiais publicados no Brasil, selecionamos apenas treze. Mesmo assim, seria impraticável a análise completa de cada um deles. Resolvemos, então, fazer um “recorte”, ou seja, escolher alguns tópicos que fossem apresentados obrigatoriamente em todos eles e que fossem fundamentais para a matéria. Optamos pela análise dos primeiros capítulos dos livros, onde são, necessariamente, introduzidos três conceitos fundamentais da Resistência dos Materiais: o conceito de tensão, o conceito de deformação específica e o conceito de módulo de elasticidade.

Como referências iniciais, consideraremos excertos do livro “Duas novas ciências”, em que Galilei apresenta o conceito de “tensão”, e do livro “Résumé des leçons”, em que Navier, além da “tensão” na seção transversal de uma barra prismática, produzida por uma carga axial, considera a deformação da barra, introduz o conceito de “deformação específica” e o relaciona com a “tensão”, usando como fator de proporcionalidade o “módulo de elasticidade”.

## 4.2. “Duas novas ciências” Galileo Galilei 1638

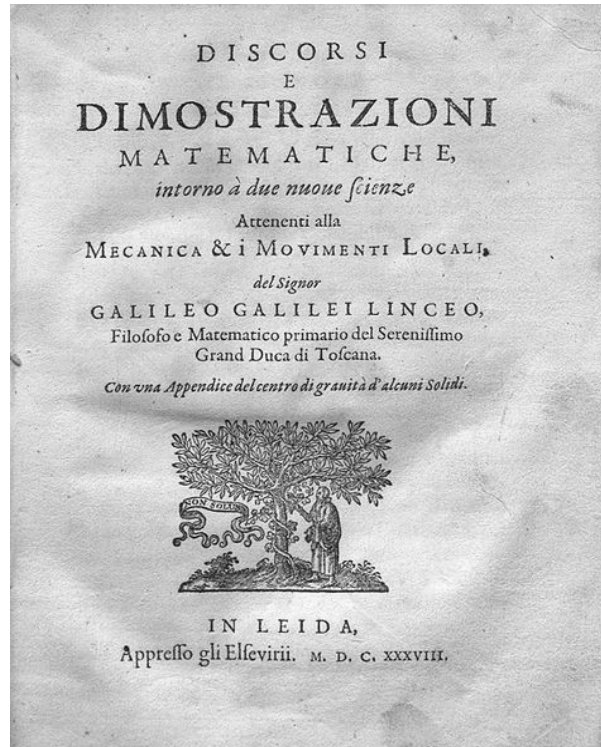


Figura 52. Frontispício.

O livro de Galilei, escrito na forma de diálogo entre três interlocutores, é dividido em quatro jornadas, ou quatro diálogos. Os fundamentos da Resistência dos Materiais são apresentados nas duas primeiras jornadas. Aqui estamos interessados na teoria de Galilei relativa ao comportamento dos sólidos prismáticos quando a eles são aplicadas cargas axiais de tração. Através desse desenvolvimento teórico, Galilei introduz o conceito que, trezentos anos depois, seria chamado “tensão”.

(...) nostro Accademico, che sopra tal materia aveva fatte molte speculazioni, e tutte, conforme al suo solito, Geometricamente dimostrate, in modo che, non senza ragione, questa sua potrebbe chiamarsi una nuova scienza; perché se bene alcune delle conclusioni sono state da altri, e prima di tutti da Aristotele, osservate, tuttavia né sono delle più belle, né (quello che più importa) da i loro primarii e indubitati fondamenti con necessarie dimostrazioni provate. E perché, come dico, voglio dimostrativamente accertarvi, e non con solamente probabili discorsi persuadervi, supponendo che abbiate quella cognizione delle conclusioni Mecaniche, da altri sin qui fondatamente trattate, che per il nostro bisogno sarà necessaria, conviene che avanti ogni altra cosa consideriamo qual effetto sia quello che si opera nella frazzione di un legno o di altro solido, le cui parti saldamente sono attaccate; perché questa è la prima nozione, nella qual consiste il primo e semplice principio che come notissimo conviene supporsi. Per più chiara esplicazione di che, segniamo il cilindro o prisma AB di legno o di altra materia solida e coerente, fermato di sopra in A e pendente a piombo, al quale nell'altra estremità B sia attaccato il peso C:

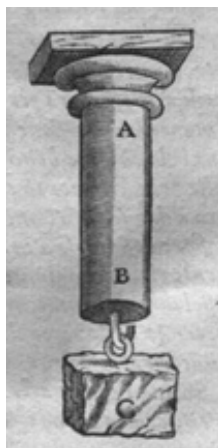


Figura 53. Cilindro AB.

è manifesto che, qualunque si sia la tenacità e coerenza tra di loro delle parti di esso solido, pur che non sia infinita, potrà esser superata dalla forza del traente peso C, la cui gravità pongo che possa accrescersi quanto ne piace, e esso solido finalmente si strapperà, a guisa d'una corda. E si come nella corda noi intendiamo, la sua resistenza derivare dalla moltitudine delle fila della canapa che la compongono, così nel legno si scorgono le sue fibre e filamenti distesi per lungo, che lo rendono grandemente più resistente allo strappamento che non sarebbe qualsivoglia canapo della medesima grossezza: ma nel cilindro di pietra o di metallo la coerenza (che ancora par maggiore) delle sue parti dipende da altro glutine che da filamenti o fibre; e pure essi ancora da valido tiramento vengono spezzati.<sup>1</sup>

(GALILEI, 1638, p. 6)

O exemplo do cilindro solicitado por uma carga longitudinal de tração, que Galilei nos apresenta, é um exemplo rudimentar do que hoje chamamos ‘ensaio de tração’, usado para a determinação, entre outras características mecânicas, da resistência à ruptura de um dado material.

Ao afirmar que a resistência de uma corda depende do número de fios que a compõem e estabelecer um paralelo entre a corda e a madeira, ou outros materiais, Galilei,

<sup>1</sup> (...) nosso Acadêmico\*, que sobre tal matéria fez muitas especulações, e todas, conforme seu costume, geometricamente demonstradas, de modo que, não sem razão, esta sua poderia ser chamada uma nova ciência; porque, se algumas das conclusões são de outros, e antes de tudo de Aristóteles, observe, todavia, não são as mais belas nem (o que é mais importante) provadas, a partir de seus fundamentos primários e inquestionáveis, com as necessárias demonstrações. E assim, como digo, quero afirmar demonstrativamente, e não persuadir com discursos somente prováveis, supondo que têm o conhecimento daquelas conclusões Mecânicas, tratadas por outros sem fundamentação, que para o nosso propósito serão necessárias, convém que, antes de qualquer outra coisa, consideremos que efeito é aquele que se opera na fração de uma madeira, ou de outro sólido, cujas partes são unidas solidamente; porque esta é a primeira noção, na qual consiste o primeiro e simples princípio que, como notamos, convém supor-se. Para uma explicação mais clara, tracemos o cilindro ou prisma AB, de madeira ou de outra matéria sólida e uniforme, fixado na parte superior em A e pendente a prumo, ao qual, na outra extremidade B seja preso o peso C: é claro que, qualquer que seja a tenacidade e a coesão entre as partes desse sólido, desde que não seja infinita, poderá ser superada pela força de tração do peso C, cuja intensidade pode ser aumentada o quanto se queira, e esse sólido finalmente se romperá como se fosse uma corda. E se, como na corda nós entendemos que a sua resistência se deve à multiplicidade de fios de cânhamo que a compõem, assim na madeira se observam suas fibras e filamentos distendidos ao longo do seu comprimento, que a fazem muito mais resistente à ruptura do que seria qualquer corda de cânhamo com a mesma grossura: mas no cilindro de pedra ou de metal a coesão (que parece ser maior) de suas partes depende de outro glúten e não de filamentos ou fibras; e mesmo assim se rompem se a tração for suficiente.

\* “O Acadêmico” é a forma usada por Galilei para referir-se a si próprio.

indiretamente, estabelece uma relação entre a capacidade de um elemento estrutural (como uma barra ou uma haste) resistir a uma dada carga e a área da seção transversal desse elemento.

Desse fragmento do texto de Galilei, reproduzido acima, destacamos o seguinte:

(...) antes de qualquer outra coisa, consideremos que efeito é aquele que se opera na fração de uma madeira, ou de outro sólido, cujas partes são unidas solidamente; porque esta é a primeira noção, na qual consiste o primeiro e simples princípio que, como notamos, convém supor-se. (...)

Fica clara a preocupação de Galilei em compreender como a carga aplicada num dos extremos do cilindro (B) se propaga, através das partículas elementares que o constituem, até o outro extremo (A).

Um pouco adiante, Galilei diz:

(...) non so vedere come non abbia ad aver luogo ed esser parimente cagione della coerenza delle parti minori e sino delle minime ultime delle medesime materie (...) <sup>2</sup>  
(GALILEI, id. ibid., p. 19)

A teoria atômica ainda não existia, mas Galilei já tinha clareza de que a matéria é constituída de partículas elementares e de que cada partícula constituinte de um corpo participa da transmissão interna da carga aplicada externamente. <sup>3</sup>

Mais adiante, Galilei diz:

(...) di tutti i metalli, pietre, legni, vetri, etc., si può facilmente ritrovare sino a quanta lunghezza si potrebbono allungare cilindri, fili o verghe di qualsivoglia grossezza, oltre alla quale, gravati dal proprio peso, più non potrebbber reggersi, ma si strapperebbero. <sup>4</sup> (GALILEI, id. ibid., p. 18)

Aqui Galilei impõe um limite para a dimensão dos corpos. Na linguagem atual, o que Galilei diz é: à medida que as dimensões do corpo aumentam seu peso também aumenta; aumentando seu peso, aumenta a tensão de tração; quando a tensão atingir a magnitude da resistência do material, o corpo se romperá.

Na segunda jornada Galilei é mais incisivo e afirma objetivamente que existe uma relação direta entre a área da seção transversal e a capacidade de um cilindro resistir a uma carga axial de tração:

---

<sup>2</sup> (...) não vejo porque a mesma não possa ser a causa da coesão das partes menores e, inclusive, das partes mínimas e últimas dos mesmos materiais (...)

<sup>3</sup> Galilei estava claramente de acordo com o atomismo grego.

<sup>4</sup> (...) de todos os metais, pedras, madeiras, vidros etc. pode-se facilmente encontrar até que comprimento se pode alongar cilindros, fios ou barras de qualquer espessura, além do qual, devido ao peso próprio, não poderia mais se sustentar e se romperia.

I due cilindri siano questi A, B:

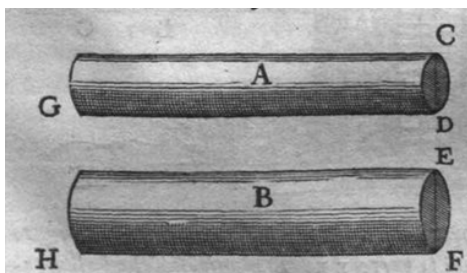


Figura 54. Cilindros A e B.

(...) se consideriamo l'assoluta e semplice resistenza che risiede nelle basi, cioè ne i cerchi EF, DC, all'essere strappati facendogli forza col tirargli per diritto, non è dubbio che la resistenza del cilindro B è tanto maggiore che quella del cilindro A, quanto il cerchio EF è maggiore del CD, perché tante più sono le fibre, i filamenti o le parti tenaci, che tengono unite le parti de i solidi.<sup>5</sup> (GALILEI, id. ibid., p. 118)

Galilei afirma que a resistência do cilindro à tração está relacionada com o número de partículas existentes na sua seção transversal, ou seja, implicitamente, à área dessa seção.

Hoje, a representação simbólica dessas palavras de Galilei seria a seguinte:

$$F_{\text{rup}} = \sigma_{\text{rup}} \times A$$

$F_{\text{rup}}$	força que provocará a ruptura do cilindro
$\sigma_{\text{rup}}$	limite de resistência do material do cilindro à ruptura por tração ou tensão de ruptura do material do cilindro
$A$	área da seção transversal do cilindro

Se ao cilindro for aplicada uma força axial de tração  $F$ , as seções transversais desse cilindro ficarão sujeitas a uma tensão

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Enquanto  $\sigma$  for menor que  $\sigma_{\text{rup}}$ , o cilindro resistirá ( $\sigma < \sigma_{\text{rup}}$ )

A ruptura do cilindro terá início quando  $\sigma$  se igualar a  $\sigma_{\text{rup}}$  ( $\sigma = \sigma_{\text{rup}}$ )

Observamos que Galilei não apresenta uma equação para o cálculo do que chamamos “tensão” e que, de maneira geral, Matemática em Galilei significa Geometria. Entretanto, mesmo não apresentando uma equação, o conceito de “tensão” e a relação tensão x resistência estão claramente definidos. Devemos salientar, também, que Galilei não conhecia as relações entre cargas e deformações. Esses estudos só seriam realizados por Robert Hooke e seus resultados publicados em 1678.

<sup>5</sup> Sejam os dois cilindros A e B: (...) se considerarmos a resistência absoluta e simples que reside nas bases, isto é, nos círculos EF e DC, a serem rompidos por uma força de tração longitudinal, não há dúvida de que a resistência do cilindro B é tanto maior que aquela do cilindro A quanto o círculo EF é maior que o círculo CD, porque tantas mais são as fibras, os filamentos ou as partes tenazes que mantêm unidas as partes dos sólidos.

### 4.3. “Résumé des leçons”

Navier

1864

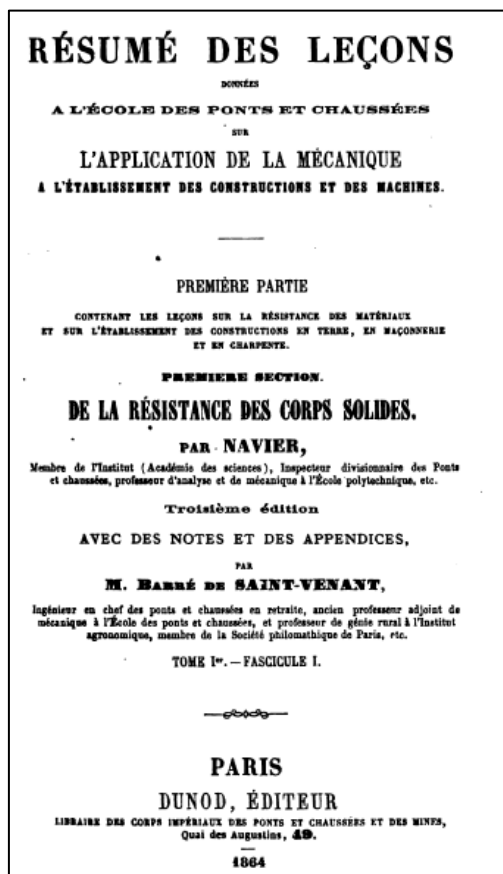


Figura 55. Frontispício.

A escolha do livro de Navier como uma de nossas referências se deve à sua importância na história da engenharia e à sua longevidade: a primeira edição foi publicada em 1826 e a última, com grandes contribuições de Saint-Venant, foi publicada em 1864. O livro foi referência no ensino de Resistência dos Materiais por mais de cinquenta anos.

Nosso interesse está voltado para os capítulos iniciais, em que Navier introduz os conceitos de “tensão”, de “deformação específica” e de “módulo de elasticidade”.

Consideremos o “ARTICLE II”<sup>6</sup>: “De la résistance des corps a um effort dirigé dans le sens de la longueur, qui tend a produire l’extension et la rupture.”<sup>7</sup>

A introdução do capítulo é a seguinte:

En considérant un corps tiré dans le sens de la longueur, on peut se demander de connaitre deux choses: 1° la quantité dont ce corps s’allongera pour un effort donné ;

<sup>6</sup> Artigo II ou capítulo II

<sup>7</sup> Da resistência dos corpos a um esforço dirigido no sentido\* do comprimento, que tende a produzir a extensão e a ruptura.

\*Aqui há um erro: “no sentido do comprimento”. O correto seria “na direção do comprimento”.

2° l'effort nécessaire pour séparer les parties et opérer la rupture. (...) La résistance à la rupture des corps tirés dans le sens de la longueur est l'objet dont on s'est le plus occupé, et le seul dont il s'agira dans cet article. Les notions que nous présenterons sur ce sujet se bornent encore ici à l'exposition des résultats obtenus par l'expérience.<sup>8</sup> (NAVIER, 1864, p. 14)

*Resultats généraux des expériences.*

Elles ont appris que les efforts capables de rompre les prismes par traction sont sensiblement proportionnels aux superficies de leurs sections transversales pour même matière.

Elles ont aussi montré (car il en a été fait beaucoup depuis 1833, sur les allongements ou accourcissements sans rupture) que les dilatations extrêmement faibles, ou les allongements très-petits par unité de longueur des prismes, sont constants d'un bout à l'autre et proportionnels aux forces de traction par unité superficielle des sections (...) <sup>9</sup> (id. ibid. p. 14)

Essa última afirmação é expressa pela simbologia atual da seguinte forma:

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

*Proportionnalité des efforts aux effets très-petits (...)*

(...) lorsqu'on augmente très-peu les distances, les molécules exercent les unes sur les autres (...) des actions nouvelles proportionnelles à ces petites augmentations (...) Comme les forces extérieures, dont l'application a modifié les distances, font équilibre aux résultantes des actions intérieures ainsi développées, il est facile de conclure immédiatement :

Que les dilatations (...) sont proportionnelles aux forces extérieures qui les amènent ; (...)

Que les petits déplacements dus à diverses forces extérieures se superposent (...) <sup>10</sup> (id. ibid. p. 15)

O texto nos apresenta a seguinte figura:

---

<sup>8</sup> Tendo em consideração um corpo tracionado no sentido [na direção] do comprimento, podemos desejar conhecer duas coisas: 1° quanto o corpo se alongará [quando submetido a] uma dada força; 2° a força necessária para separar as partes e produzir a ruptura. (...) A resistência à ruptura dos corpos tracionados no sentido [na direção] do comprimento é o assunto com o qual nos ocuparemos mais e o único do qual trataremos neste capítulo. As noções que apresentaremos sobre esse tema se restringem à exposição dos resultados obtidos pela experiência.

<sup>9</sup> *Resultados gerais da experiências.*

Eles mostram que as forças capazes de romper os prismas por tração são sensivelmente proporcionais às [áreas das] superfícies de suas seções transversais, para um mesmo material.

Eles mostram, também, (porque muito foi feito, desde 1833, sobre alongamentos ou encurtamentos sem ruptura) que as dilatações extremamente pequenas, ou os alongamentos muito pequenos por unidade de comprimento dos prismas, são constantes de uma extremidade à outra e proporcionais às forças de tração por unidade [de área das] superfícies das seções (...)

<sup>10</sup> *Proporcionalidade entre os esforços e os efeitos muito pequenos (...)*

(...) quando aumentamos muito pouco as distâncias, as moléculas exercem entre si (...) novas ações, proporcionais a esses pequenos aumentos (...) Como as forças externas, cuja aplicação modificou as distâncias, equilibram as ações interiores assim desenvolvidas, é fácil concluir:

1° Que as dilatações (...) são proporcionais às forças externas que as causam;

(...)

2° Que os pequenos deslocamentos, devidos às diversas forças externas, se superpõe [se somam] (...)



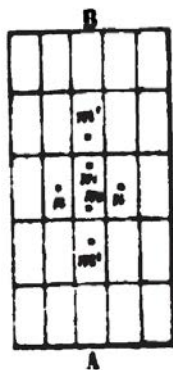


Figura 56. (NAVIER, p. 16.)

Com base nesta imagem, são feitas as seguintes afirmações:

Soit maintenant un corps prismatique. Partageons-le en fibres très-minces et égales par deux systèmes de plans orthogonaux parallèles à ses arêtes, puis ces fibres em éléments parallépipèdes par des plans transversaux équidistants. Si l'on étend tous ces éléments dans le sens longitudinal AB, les molécules  $m m$  de chacun d'eux s'éloigneront de celles  $m' m'$  des éléments que les touchent par leurs bases, ce qui, en augmentant les attractions et diminuant les répulsions, engendrera des actions attractives totales d'un élément sur l'autre à travers ces bases.<sup>11</sup> (id. ibid. p. 16)

(...) tout prisme homogène dont les faces latérales sont libres et dont les bases sont tirées, en sens opposé, par des forces normales, égales et également réparties sur leurs superficies, éprouvera, dans toutes ses fibres et dans toutes les parties de chacune d'elles, des dilatations égales (...) Et ces dilatations seront proportionnelles aux forces par unité des bases<sup>12</sup> (id. ibid. p. 17)

*Expression de cette loi.*

Il en résulte que si :

$\omega$  est l'aire de la section ou base de prisme ;

$L$  sa longueur ;

$l$  l'augmentation que cette longueur a subie ;

$i = \frac{l}{L}$  l'allongement proportionnel supposé très-petit, que nous avons aussi appelé la *dilatation* ;

$P$  la force qui aura produit l'extension  $l$  et qui est supposé appliqué longitudinalement et uniformément répartie sur chacune des bases ;

$E$  coefficient qui dépend de la matière du prisme

L'allongement  $l$  sera proportionnel à la longueur  $L$  et à l'effort  $P$  par unité superficielle de la section  $\omega$ , ce qui s'exprime par l'égalité

<sup>11</sup> Seja um corpo prismático. Consideremos esse corpo constituído de fibras muito finas e iguais, distribuídas em dois planos ortogonais, paralelos às arestas do prisma. Em seguida, cortemos essas fibras por planos transversais equidistantes, gerando paralelepípedos elementares. Se estendermos todos esses elementos no sentido [direção] longitudinal AB, as moléculas  $m m$ , [nas faces] de cada um deles, se afastarão [para as posições]  $m' m'$ , de tal forma que, aumentando a atração e diminuindo a repulsão, [esse afastamento] gerará as ações atrativas totais de um elemento sobre o outro, através de suas bases.

<sup>12</sup> todo prisma homogêneo, cujas faces laterais estão livres e cujas bases são tracionadas por forças normais, de mesma intensidade e uniformemente distribuídas sobre as suas superficies, experimentará, em todas as suas fibras e em todas as partes de cada uma delas, dilatações iguais (...) E essas dilatações serão proporcionais às forças por unidade [de área] das bases (...)

$$P = E \omega \frac{l}{L} = E \omega i \quad ^{13} \quad (\text{id. ibid. p. 17})$$

Observamos que em Navier a relação  $\frac{P}{\omega}$  (l'effort par unité superficielle) não tem uma designação específica nem é representada por um símbolo específico. Hoje, a relação  $\frac{P}{\omega}$  é chamada tensão e representada por  $\sigma$ .

Correspondência entre a simbologia usada por Navier e a simbologia usada atualmente	
simbologia usada por Navier	simbologia usada atualmente
$\omega$	$A$
$L$	$L$
$l$	$\delta$
$i$	$\varepsilon$
$P$	$P$
$E$	$E$
$P = E \omega \frac{l}{L} = E \omega i$	$P = E A \frac{\delta}{L} = E A \varepsilon$

Eis aqui duas conhecidas equações:  $\sigma = E \varepsilon$  e  $\delta = \frac{P L}{E A}$

Assim, temos o “recorte” do livro de Navier, no qual são destacados os tópicos que vamos analisar nos livros publicados no Brasil. O modo como Navier apresenta esses conceitos básicos da Resistência dos Materiais será usada como referência na análise que faremos a seguir.

<sup>13</sup> *Expressão dessa lei.*

Resulta que, se:

$\omega$  área da seção ou base do prisma ;

$L$  comprimento do prisma ;

$l$  aumento no comprimento do prisma;

$i = \frac{l}{L}$  alongamento proporcional, suposto muito pequeno, também chamado *dilatação* [deformação específica];

$P$  força que produzirá o alongamento  $l$  e que se supõe aplicada longitudinalmente e uniformemente distribuída sobre cada uma das faces;

$E$  coeficiente que depende do material do prisma [módulo de elasticidade]

O alongamento  $l$  será proporcional ao comprimento  $L$  e à força  $P$  por unidade de [área da] superfície da seção,  $\omega$ , o que se exprime pela igualdade:

$$P = E \omega \frac{l}{L} = E \omega i$$

## 4.4. Método de avaliação

Para que a nossa avaliação fosse tão equilibrada quanto pudéssemos conseguir, escolhemos para análise alguns tópicos que, classicamente, são abordados no início do estudo da Resistência dos Materiais e cuja apresentação não deveria ter muitas variações de um livro para outro: a introdução dos conceitos de tensão, de deformação específica e de módulo de elasticidade.

Além desses pontos específicos, decidimos incluir na nossa análise a “abertura” dos livros (que alguns chamam “prefácio”, outros “introdução” e outros ainda “apresentação”), que normalmente é muito esclarecedora, e a definição de Resistência dos Materiais, considerando que os livros têm como público-alvo estudantes que estão iniciando o estudo dessa disciplina.

Dos livros, fizemos “recortes”: selecionamos alguns trechos que nos pareceram mais significativos e mais representativos e os reproduzimos.

Desses trechos selecionados, destacamos fragmentos e os analisamos e comentamos isoladamente.

Para dar destaque e separar os trechos e as respectivas análises, adotamos o seguinte padrão de apresentação:

À página 4, lemos:

(...) Segundo o que nos ensina a physica, os corpos naturaes, quer sejam solidos ou fluidos, são constituídos por particulas materiaes infinitamente pequenas, (...) perfeitamente elastica (...)

### Análises e comentários

(...) particulas materiaes infinitamente pequenas (...)

O termo “infinitamente”, nesse caso, não é correto.

(...) perfeitamente (...)

O termo “perfeitamente” não deveria ser usado.

Por mais que queiramos ser objetivos, neste tipo de trabalho, alguma subjetividade é inevitável. Contudo, procuramos, tanto quanto nos foi possível, quantificar nossas observações e impressões. Para isso, dotamos a seguinte escala:

bom = 3 ; regular = 2 ; ruim = 1

Os aspectos que procuramos valorizar foram:

- **concisão**: texto escrito com poucas palavras, que usa poucos elementos para expressar um conteúdo;
- **objetividade**: texto em que não se perde tempo em lucubrações inúteis, que reproduz com fidelidade os objetos estudados;
- **clareza**: texto escrito de modo inteligível, que possibilita a compreensão imediata da ideia apresentada;
- **precisão**: escolha exata de palavras e construções para expressar um pensamento;
- **didática**: técnica de apresentação da matéria que facilite a aprendizagem;
- **coerência**: texto em que haja nexos e harmonia entre fatos, ideias etc.;
- **elegância**: adequação e fineza na escolha das palavras e no modo de dispô-las; vale também para equações e deduções matemáticas;
- **rigor**: forma correta e adequada de se tratar os princípios matemáticos;
- **correção**: texto escrito com fidedignidade, confiável;
- **sobriedade**: texto equilibrado, não “espalhafatoso”;
- **adequação**: o nível do texto deve ser adequado à maturidade esperada de um estudante universitário, que está sendo formado em engenharia;
- **correção gramatical**: uso correto da língua escrita.
- **fundamentação**: como o texto fundamentado, referências, autores etc.

**4.5. Livro 1**  
**“Tratado de Mecanica Applicada á Resistencia dos Materiaes”**  
**Paul Ferrand**  
**1887**

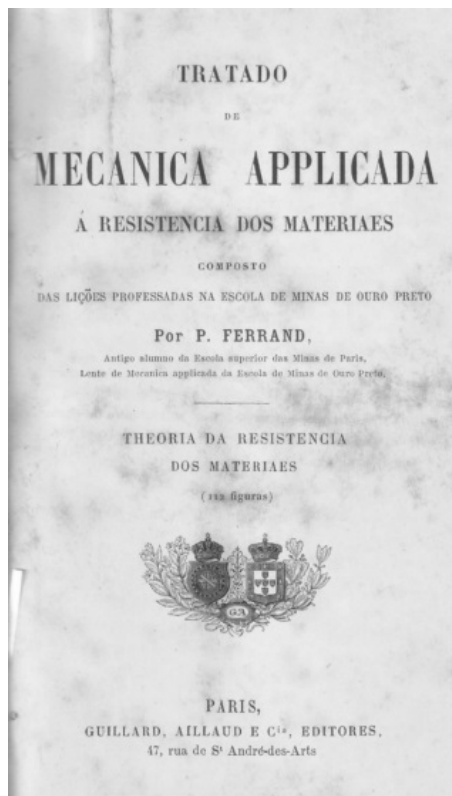


Figura 57. Frontispício.

À página VII, lemos:

### INTRODUCCÃO

Apresentando este livro ao leitor, não tenho a pretensão de expor novas theorias nem de aduzir novos elementos no estudo já tão complexo da Resistencia dos materiaes ; quiz simplesmente reunir em ordem clara os elementos importantes desta theoria, deixando completamente de lado as questões secundarias que poderiam sobrecarregar este estudo sem dar a solução de um ponto novo no decurso de seu desenvolvimento.

Para alcançar o alvo que emprehendi, não só aproveitei as notas que tomei no *Cours de machines* feito na escola de Minas de Paris por M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE, mas tambem lealmente consultei o *Traité de Mecanique générale* de M. RESAL <sup>(1)</sup>, ambos meus excellentes professores e aos quaes me acho feliz de apresentar aqui meus protestos de reconhecimento. Tambem me servi do *Cours de machines* de CALLON complété par M. BOUTAN <sup>(2)</sup>, do *Cours de résistance des matériaux* professé à l'École Centrale des Arts et Manufactures, par H. TRESCA <sup>(3)</sup>, cujas lições tão claras e tão methodicas me serviram de guia para tratar as partes deste trabalho concernentes ao Alongamento, a Compressão, a Torção ; emfim do

*Étude sur la théorie des poutres courbes* de Henri de Dion, par MM. MOLINOS et SEYRIG <sup>(4)</sup>.

Aconselho ao leitor, decidido a fazer um estudo mais especial e mais minucioso das diversas questões da Resistencia dos materiaes, de consultar as mencionadas obras ; e, para lhe evitar procuras inúteis, tive o cuidado no decurso deste livro de notar os autores para as questões mais amplamente tratadas em suas obras.

Declarar-me-hei satisfeito si, por este trabalho de coordinação, ao qual dei todos os meus desvelos, consegui a tornar menos penivel o estudo dos principios da Resistencia dos Materiaes para aquelles que começam a estudar estas questões.

<sup>(1)</sup>GAUTHIER-VILLARS, éditeur. Paris, 1880.

<sup>(2)</sup>DUNOD, éditeur. Paris.

<sup>(3)</sup>DEJEV, éditeur. Paris, 1873.

<sup>(4)</sup>Société des Ingénieurs civils. ”

## Análises e comentários

Chama nossa atenção nessa introdução a integridade de Ferrand: ele leal, humilde e honestamente reconhece que em seu trabalho limita-se a transcrever, de modo simplificado e resumido, obras de seus professores e de renomados autores – isto se observará ao longo de todo o texto: em nenhuma passagem Ferrand deixará de atribuir o crédito a quem de direito.

"Aconselho ao leitor, decidido a fazer um estudo mais especial e mais minucioso das diversas questões da Resistencia dos materiaes, de consultar as mencionadas obras ; e, para lhe evitar procuras inúteis, tive o cuidado no decurso deste livro de notar os autores para as questões mais amplamente tratadas em suas obras."

Desse modo, ao mesmo tempo em que reconhece as limitações de sua obra, Ferrand aponta caminhos e abrevia o trabalho daqueles que queiram se aprofundar no estudo das questões por ele tratadas não tão profundamente.

À página 1, lemos:

### CAPITULO PRIMEIRO

#### GENERALIDADES

##### Definições.

(...)

*Em Mecanica*, admite-se, em grande numero de problemas, que os *corpos solidos* são completamente *rijos e indeformaveis*, o que não é de todo exacto, podendo a acção de uma força qualquer deformar mais ou menos o solido, segundo a intensidade da força que sobre elle actua.

O estudo dessas deformações constitue a parte da Mecanica designada pelo nome de *Resistencia dos Materiaes*, constituindo ella o assumpto de que vamos occupar nos.

### Theoria molecular (1).<sup>14</sup>

Concebemos todos os corpos naturaes como formados de moleculas infinitamente pequenas, separadas umas das outras por intervallos que dependem da grandeza das mesmas e da acção mutua que umas exercem sobre as outras.

Nos corpos solidos, tem cada molecula em relação as outras uma posição que não pode abandonar sem um esforço mais ou menos grande.

Essas acções mutuas das moleculas constituem as *forças moleculares* ou *forças interiores*, sendo umas *attractivas* outras *repulsivas*.

Desde que uma força extranha apparece, algumas moleculas se approximam, outras se afastam e a forma do corpo se modifica.

Todo esforço, porém, que tende a afastar as moleculas determina, entre as mesmas, acções attractivas; desenvolvendo acções repulsivas o esforço que tende a approximal-as.

Donde se depreheende que se o solido conserva a sua nova forma sob a influencia dos esforços applicados, é por se achar em equilibrio debaixo da acção das forças exteriores e das reacções moleculares, podendo-se, por meio das condições que exprimem esse equilibrio, determinar relações entre as forças assim desenvolvidas.

## Análises e comentários

(...) moleculas infinitamente pequenas (...)

Além de desnecessário, dizer que moléculas são “infinitamente pequenas” é incorreto.

---

(...) esforço (...)

A palavra “esforço” deveria ser evitada. O correto, nesse contexto, seria “força”.

---

(...) esforço mais ou menos grande (...)

É o mesmo que nada dizer.

---

(...) força extranha (...)

O autor refere-se à aplicação de uma carga externa que é transmitida pelas moléculas.

---

À página 3, lemos:

### **Desenvolvimento das forças moleculares na deformação dos corpos solidos.**

---

<sup>14</sup> Nesta nota, Ferrand informa o leitor sobre a origem do seu texto : H. Tresca, *Cours de Mecanique appliquée*, 2<sup>e</sup> partie (École Centrale des arts et manufactures, Paris) ; p. 16.

Se considerarmos um solido qualquer deformado pela acção de certos esforços, é evidente que essa deformação virá a augmentar toda vez que os esforços exercidos sobre esse solido forem augmentando; neste caso, as reacções reciprocas que designámos pelo nome de forças interiores ou moleculares augmentarão havendo simultaneamente alongamento de certas distancias, encurtamento de certas outras, e, podendo outras distancias ficar completamente invariaveis.

O exame das deformações produzidas debaixo de esforços determinados permittio-nos reconhecer certas relações entre as forças moleculares e as deformações correspondentes.

D'ahi chegámos a applicar ao calculo as diversas questões da resistencia dos materiaes.

Sendo as equações fundamentaes unicamente em numero de seis, só podem ellas servir para determinar seis incognitas se considerarmos o solido em seu todo, podendo-se, porém, conseguir sempre novas equações decompondo-o no pensamento em certo numero de porções distinctas.

À página 4, lemos:

#### Estado de equilíbrio do solido depois da deformação.

Se o solido estiver em equilibrio debaixo da acção das forças exteriores que produziram a deformação e das forças moleculares desenvolvidas, teremos sempre seis equações de equilibrio.

Designando por  $F$  uma das forças exteriores,  $f$  uma das forças moleculares, e tomando tres eixos de coordenadas rectangulares, teremos:

$$\begin{array}{ll} \sum F_x + \sum f_x = 0 & \sum M_x F + \sum M_x f = 0 \\ \sum F_y + \sum f_y = 0 & \sum M_y F + \sum M_y f = 0 \\ \sum F_z + \sum f_z = 0 & \sum M_z F + \sum M_z f = 0 \end{array}$$

As forças  $F$  são em numero determinado e facilmente conhecidas em grandeza e direcção; as forças  $f$  são em numero infinito e somente determinadas quando conhecemos os deslocamentos de cada uma das partes do solido e a lei de variação de cada força molecular com esses deslocamentos.

À página 6, lemos:

## CAPITULO SECUNDO

### ALONGAMENTO OU EXTENSÃO

#### Extensão de uma fila de moleculas (1).<sup>15</sup>

Se considerarmos uma fila de moleculas de comprimento  $AB$  (fig. I), fixada em  $A$  e com peso em  $B$

<sup>15</sup> Mais uma vez, Ferrand informa o leitor sobre a origem do seu texto : H. Tresca, *Cours de Mecanique appliqué*, 2<sup>e</sup> partie (École Centrale des arts et manufactures, Paris) ; p. 18.



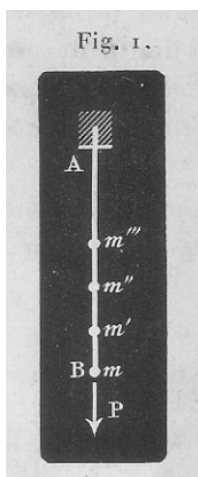


Figura 58.

este peso actua sobre a molecula  $m$  que se afasta de  $m'$  e tende a desligar-se della; este afastamento augmenta a acção attractiva de  $m'$  sobre  $m$ , e, se não se der a ruptura, estabelece-se o equilibrio e a acção desenvolvida entre  $m$  e  $m'$  é igual á acção primitiva de  $m'$  sobre  $m$  augmentada do peso applicado em  $m$ .

Esta acção exercida por  $m$  sobre  $m'$  transmite-se de  $m'$  sobre  $m''$  etc. até  $A$ , e, se fizermos abstracção do peso das moleculas, o afastamento produzido é o mesmo entre duas moleculas consecutivas; por consiguiente, a haste  $AB$  alonga-se de uma quantidade igual á soma dos alongamentos individuaes, sendo pois, o alongamento total proporcional ao comprimento primitivo da fila  $AB$ .

Esta conclusão justifica-se pela experiência

À página 7, lemos:

#### **Extensão de uma haste prismatica.**

Uma haste submetida á extensão pode ser considerada como uma reunião de filas de moleculas reunidas entre si por acções lateraes. Se admitirmos que a carga total se distribue uniformemente, cada fila supporta o mesmo peso e o alongamento se produz como se cada fila estivesse isolada.

À página 8, lemos:

#### **Periodo de elasticidade.**

O phenomeno da tracção apresenta dous periodos que cumpre distinguir.

O primeiro, designado pelo nome de *periodo de elasticidade*, é caracterizado pelo facto seguinte:

Se carregarmos uma haste com um peso que não exceda a um certo limite, produz-se um alongamento, e se tirarmos esta carga, a haste recupera o comprimento primitivo.

Dizemos então que a haste ficou completamente elastica e que actúa tal qual uma mola.

### **Análises e comentários**

(...) a haste ficou completamente elastica (...)

O correto seria: o limite de elasticidade do material da haste não foi ultrapassado.

---

À página 9, lemos:

**Leis que resultam da observação no período de elasticidade.**

Mostra-nos a experiência que o alongamento produzido é:

1° *Proporcional á carga*

2° *Proporcional ao comprimento primitivo da haste*

3° *Inversamente proporcional á secção.*

Designemos por (fig. 3):

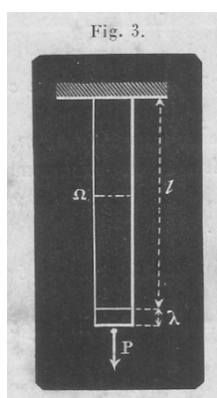


Figura 59.

$l$  o comprimento da haste, em metros.

$\Omega$  a seção, em metros quadrados.

$P$  a carga, em kilogrammos.

$\lambda$  o alongamento correspondente

$m$  um coefficiente constante ou especifico da materia da haste.

$$\lambda = m \frac{Pl}{\Omega}$$

donde

$$\frac{\lambda}{l} = m \frac{P}{\Omega}$$

$\frac{P}{\Omega}$  é a carga por unidade de superficie.

$\frac{\lambda}{l}$  é o alongamento por metro corrente, chamado *alongamento elastico*.

O alongamento elástico designa se por  $i$ .

$$\frac{\lambda}{l} = i$$

donde

$$i = m \frac{P}{\Omega}$$

## Análises e comentários

$\Omega$  a seção, em metros quadrados

O correto seria “ $\Omega$  é a área da seção, em metros quadrados”.

---

(...) matéria da haste (...)

O correto seria “material da haste”

---

Surpreendentemente, Ferrand não faz menção a Robert Hooke nem a Thomas Young.

---

À página 10, lemos:

### Determinação do coeficiente constante.

Para obtermos o valor numérico de  $m$ , fazemos uma serie de experiencias em hastes da mesma materia, determinando-se os valores de  $\lambda$ ,  $l$ ,  $\Omega$  e  $P$ . Desses valores deduziremos um valor medio de  $m$ .

Ordinariamente a fórmula  $\lambda = m \frac{Pl}{\Omega}$  é empregada sob uma forma mais usual onde  $m$  é substituido por  $\frac{1}{E}$ .

$$\lambda = \frac{P l}{E \Omega}$$

donde

$$P = E \Omega \frac{\lambda}{l}$$

ora

$$\frac{\lambda}{l} = i$$

por conseguinte

$$P = E \Omega i$$

O número  $E$  assim determinado pelo periodo de elasticidade perfeita chama-se *coeficiente de elasticidade*.

Se na fórmula  $P = E \Omega i$  considerarmos a tensão por unidade de superficie  $R = \frac{P}{\Omega}$ , teremos  $R = E i$ .

Correspondência entre a simbologia e a nomenclatura usadas por Ferrand e a simbologia e a nomenclatura usadas atualmente			
simbologia e nomenclatura usadas por Ferrand		simbologia e nomenclatura usadas atualmente	
$l$		$l$	
$\Omega$		$A$	
$P$		$P$	
$\lambda$		$\delta$	
$i$		$\varepsilon$	
$E$		$E$	
tensão por unidade de superfície	$R = \frac{P}{\Omega}$	tensão	$\sigma = \frac{P}{A}$
alongamento	$\lambda = \frac{P l}{E \Omega}$	deformação linear	$\delta = \frac{P l}{E A}$
alongamento elástico	$i = \frac{\lambda}{l}$	deformação específica	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$
coeficiente de elasticidade	$E$	módulo de elasticidade	$E$
relação entre tensão por unidade de superfície e alongamento elástico	$R = E i$	relação entre tensão e deformação específica	$\sigma = E \varepsilon$

Temos, portanto, em dez páginas e com duas figuras, a introdução dos conceitos de tensão, de deformação específica e de módulo de elasticidade.

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	140 x 220
número de páginas	218
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos	2
<b>Figuras</b>	
número de figuras	112
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{112}{218} = 0,514$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	

número de páginas em que o Cálculo é usado	69
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{69}{218} = 0,316$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	15
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	23
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	5

Autores referidos	
1	Julien Napoléon Haton de La Goupillière (1833 - 1927)
2	Aimé-Henry Rézal (1828-1896)
3	Pierre-Jules Callon (1815-1875)
4	Edmond Marie Guillaume Boutan (1848-1901)
5	Henri Édouard Tresca (1814-1885)
6	Joseph-Louis Henri de Dion (1828-1878)
7	Léon Isidore Molinos (1828-1914)
8	François Gustave Théophile Seyrig (1843-1923)
9	Galileo Galilei (1564-1642)
10	Edme Mariotte (1620-1684)
11	Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716)
12	F. P. C. Dupin (1784-1873)
13	Richard (?)
14	Arthur Jules Morin (1795-1880)
15	Eaton Hodgkinson (1780-1861)
16	G. H. Love (?)
17	Benoît Paul Émile Clapeyron (1799-1864)
18	Édouard Charles Romain Collignon (1831-1913)
19	Jacques-Germain Soufflot (1713-1780)
20	Jean-Rodolphe Perronet (1708-1794)
21	Thomas Telford (1757-1834)
22	Thomas Tredgold (1788-1829)
23	William Fairbairn (1789-1874)

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	3
2	objetividade	3
3	clareza	3
4	precisão	3
5	didática	3
6	coerência	3

7	elegância	3
8	rigor	3
9	correção	3
10	sobriedade	3
11	adequação	3
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	3
	total	38
	média	2,92

### A matemática usada no livro

Fiel à sua proposta, Ferrand escreveu um livro simples, sucinto e objetivo, “*para aquelas que começam a estudar estas questões.*” Contudo, o autor utiliza o Cálculo, do início ao fim. Trata-se, é verdade, de Cálculo Integral e Diferencial básico, mas esse conhecimento é indispensável para que o estudante acompanhe a exposição do assunto.

### Observações finais

O livro de Paul Ferrand, analisado à luz dos acontecimentos históricos aos quais está ligado, revela-nos a mentalidade de uma época, o comprometimento, a seriedade e a competência do autor. Trata-se de um livro simples e despretensioso, se comparado com obras como as citadas por Ferrand ao longo do texto, no entanto, apesar da simplicidade e de o autor declarar reproduzir seus mestres, trata-se de um livro original e bem escrito.

É um livro simples, conciso, objetivo, didático e honesto.

## 4.6. Livro 2

### “Resistencia dos Materiaes”

J. Eulalio da Silva Oliveira  
1905

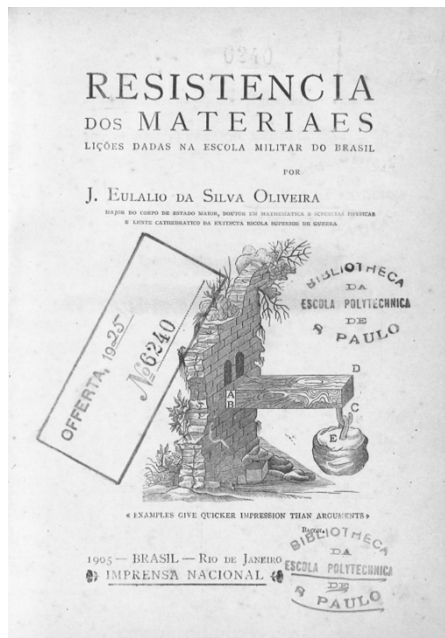


Figura 60. Frontispício.

### Análises e comentários

Para ilustrar o frontispício, Oliveira usa um desenho de Galilei (“Duas novas ciências”, 1638, p. 114) sem dar o devido crédito, como faz na citação, abaixo do desenho: “examples give quicker impression than arguments”, Bacon.

À página VII, lemos:

#### PREFACIO

Coordenando estas lições, pensamos prestar um serviço aos engenheiros do nosso paiz, especialmente aos militares, pois todos sabemos como é transcendente e extenso o estudo da theoria da resistencia dos materiaes.

Este nosso trabalho contém os capitulos seguintes:

I. Estudo dos esforços elementares de tracção, compressão e cisalhamento, considerando que a lei de Robert Hooke é um caso particular da grande indução da Mecanica Geral, devida a Galileo, que tambem foi o iniciador da theoria da resistencia dos solidos.

II. Theoria da flexão das peças rectas, subordinada á equação da *curva elastica*, de Jacques Bernouilli.

III. Theoria da flexão das peças curvas, abrangendo o estudo das peças de forte curvatura, como sejam os cylindros, as espheras, etc.; o exame da resistencia, da estabilidade e das deformações das peças extradorsadas paralelamente como são os

arcos de pontes, e o das peças de extradorsos divergentes, como os grandes travejamentos de coberturas metálicas. Termina o capítulo o exemplo clássico da tesoura, sem tirantes nem penduraes, da galeria das máquinas anexa ao palácio da Exposição Universal de 1878, cujo projecto foi calculado pelo distinto engenheiro Henri de Dion. Essa elegante tesoura foi construída sómente depois do *veredictum* do judicioso professor Jacques Bresse, falecido em 1883, a quem se deve a definitiva teoria da flexão das peças curvas. Aquelle magnífico arco metálico representa um marco na história da arte de construir, pois foi elle o precursor da famosa Torre de 1889, devida ao illustre engenheiro Eiffel, a qual ainda hoje é uma das maravilhas da arquitetura moderna.

IV. Theoria da torção, feita sob o ponto de vista elementar, conforme o eminente Navier a instituiu.

V. Os esforços combinados, cujos interessantes resultados se destinam á pratica economica das construcções.

VI. Leis de Wöhler e Bauschinger a respeito dos esforços repetidos.

VII. Theoria elementar dos solidos de igual resistencia.

Taes são os assumptos geraes deste livro, escripto após exhaustivo estudo dos bons mestres, particularmente dos Navier, Bresse, Vierendeel, Redtenbacher, Maurice Lévy, J. Résal, Flamant, Müller-Breslau, Maurice Koechlin, Leber, Bricka, Jhonson, Turneure, Leman, Dechamps e Thurston.

Rio, 7 de Setembro de 1905.

J. Eulalio.

## Análises e comentários

O prefácio do livro, uma aula de História da Resistência dos Materiais, mostra a reverência de Oliveira em relação a outros autores e sua preocupação em revelar as bases sobre as quais seu livro se fundamenta.

À página 1, lemos:

### THEORIA DA RESISTENCIA DOS MATERIAES

#### CAPITULO I

##### Esforços elementares

##### Tracção

I. GENERALIDADES. Em Mecânica Geral são os corpos considerados como systemas abstractos, typos theoreticos, como si fossem inteiramente inelásticos, ou perfeitamente elásticos; mas, nenhuma destas condições é a dos solidos naturaes, porque os differentes grãos de elasticidade não podem ser mathematicamente apreciados. Pertencem ás sciencias physicas os conhecimentos experimentaes a respeito da natureza e estado dos differentes solidos naturaes, só competindo á Mecânica Geral os methodos para o estabelecimento das condições estaticas e dynamicas entre as forças que promovem as deformações elasticas e as resistencias moleculares que os ditos corpos lhes oppõe.

Si os solidos naturaes forem dotados de plasticidade como acontece para os que são empregados na arte de construir os edificios e as machinas, poder-se-á, com sufficiente aproximação, julgar dos diferentes grãos de resistencia desses materiaes



e então este precioso conhecimento nos permitirá a economia dos materiaes excessivamente empregados em taes construcções, pelo calculo das dimensões das peças que as constituem com segurança e estabilidade permanentes.

A theoria da resistencia dos materiaes tem por objecto especial as applicações da Mecanica e da Physica á arte de construir os edificios e as machinas.

Os materiaes usados nas construcções ficam sempre submetidos a certo numero de esforços transitorios ou permanentes, aos quaes é mistér que elles resistam sem fractura nem deformação consideravel para que a construcção seja estavel e possa corresponder ao seu fim. Será, pois, de grande utilidade para a arte de construir o conhecimento do valor da resistencia que os diversos materiaes podem oppôr ás forças, que sobre elles actuam, sem romper ou deformar-se sensivelmente.

## Análises e comentários

A theoria da resistencia dos materiaes (...)

Assim como faz com “Mecanica”, “Mecanica Geral” e “Physica”, o autor deveria grafar “Resistencia dos Materiaes”, com iniciais maiúsculas.

À página 2, lemos:

2. EFEITOS DA TRACÇÃO. A resistencia que os corpos solidos oppõem ás forças sob cuja acção se acham, é proveniente da attracção molecular ou cohesão. Diz-se que a resistencia é de *tracção* quando os corpos são submettidos a forças que tendem a augmentar o seu comprimento.

Quando um corpo solido é submettido a uma carga de tracção, dous effeitos geraes se manifestam: o seu comprimento augmenta, augmento a que se chama dilatação ou *alongamento*; e a sua secção transversal diminue. A resistencia ás cargas de tracção tem logar porque as moleculas adherentes do solido oppõem-se a que se augmente a distancia entre ellas e a que umas escorreguem sobre as outras. Ella é sempre a resultante de todas as reacções moleculares que se equilibram com o peso que exerce a tracção. Desde que se der o equilibrio entre os pesos que exercem a tracção e as reacções moleculares, os pesos medirão as resistencias. Tudo isto é confirmado pela experiencia.

## Análises e comentários

(...) da attracção molecular ou cohesão.

A interação que proporciona a estabilidade da matéria se origina de forças de atração e forças de repulsão entre as partículas elementares.

(...) resultante de todas as reacções moleculares que se equilibram com o peso (...)

A particularização da “força peso”, nesse caso, não é adequada. A tração pode ser resultante de outra força que não o “peso”.

À página 3, lemos:

3. ALONGAMENTO OU EXTENSÃO DOS PRISMAS. Robert Hooke deu publicidade ao seu famoso principio da relação entre as forças e as resistencias em 1678, descoberta que disse haver feito ha 18 annos antes e cujo segredo guardava por pretender privilegio, afim de poder applical-a ás molas dos relógios. Dous annos antes, Hooke publicára a sua descoberta no anagramma posto no fim de outro livro seu “*Descriptions of Helioscope*” nesta forma “*ceüinossstuv*”, o qual significa: “*Ut tensio sic vis*”, ou, “*como a extensão tambem é a resistencia*”. Hooke fez applicação deste principio aos corpos *elasticos*, entre os quaes classificou quasi todos os solidos. Tal principio foi sempre conhecido pelo nome de *lei de Hooke*, mas forçoso é reconhecer que elle coincide com a lei induzida em 1638 por Galileo e que serve de base á *Mecanica Geral*. Com effeito, esta grande lei nos ensina que as forças são sempre medidas por seus effeitos, estaticos ou dynamicos. Ora, no caso de Hooke, as forças são proporcionaes aos alongamentos produzidos; portanto, há perfeita coincidência entre as duas expressões e não duas leis diversas. (\*)<sup>16</sup>

Estudemos primeiramente a extensão das hastes prismaticas, designando assim os corpos solidos cujas dimensões transversaes são pequenas em relação ao seu comprimento, em que a secção transversal é constante e cuja forma geral é recta.

Consideremos o prisma AB (fig. 1), recto homogeneo, de secção constante  $\Omega$  e fixa em A, sob a acção de uma força P, applicada á extremidade B, no sentido das fibras.

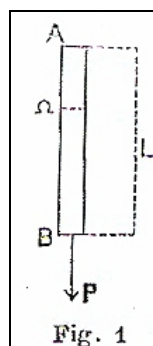


Fig. 1  
Figura 61.

<sup>16</sup> Dissemos que a lei de Hooke era uma modalidade da lei de Galileo, dessa lei que serve de fundamento á *Mecanica geral*. Não poderia ser outro o nosso modo de pensar, porque não entendemos que haja duas especies de *mecanica*. Desde a publicação das nossas lições de *Mecanica geral*, tornámos conhecida a orientação que temos a respeito do assumpto; portanto ficou sabido que, para nós, há uma *Mecanica geral* que subordina todas as applicações da *mecanica*.

Não admitimos duas *mecanicas*, uma geral e outra applicada.

Para nós o que Poncelet chamou *mecanica applicada* é constituido por applicações da *mecanica* e não tem fóros de *sciencia independente*, porque não especula sobre phenomeno novo e não possui methodos diversos dos da *Mecanica geral*.

A *theoria da resistencia dos materiaes* é caracterizada pelas applicações da *mecanica* á arte de construir os edificios e as machinas. Não é uma *sciencia nova*. Foi creada por Galileo em 1638, quando após as suas observações a respeito das machinas do Arsenal de Veneza, instituiu a *theoria da flexão dos solidos de igual resistencia*.

O anagrama do professor Robert Hooke é de 1678, isto é, quarenta annos depois de Galileo. A proporcionalidade entre as forças de tracção e os alongamentos produzidos não dá outra inducção á *mecanica*, differente da que resulta entre as forças e seus effeitos, quaesquer que estes sejam.

As inducções da *Mecanica geral* são casos particulares das leis geraes da *Philosophia Primeira* e são casos geraes das leis especiais da *Resistencia dos materiaes*. Esta se subordina á *Mecanica geral* e á *Physica*. A *Mecanica geral* dá-lhe os methodos e a *Physica* os coefficients numericos quando conhecida a natureza dos materiaes e as condições de carga a que são submetidos.

Tal é o nosso ponto de vista.

Chamando  $L$  o comprimento primitivo da haste e  $l$  o seu alongamento, o alongamento por unidade do comprimento será  $\frac{l}{L} = \delta$ . Si a área da secção transversal é  $\Omega$  e si para toda essa área a força que exerce a tracção é  $P$ ,  $\frac{P}{\Omega} = p$  será a força de tracção por unidade de superfície.

### Análises e comentários

(...) secção constante  $\Omega$  (...)

O correto seria “secção constante, de área  $\Omega$ ”.

---

(...) no sentido das fibras (...)

O correto seria “na direcção do eixo da barra”.

---

(...) força de tração por unidade de superfície (...)

O correto seria “força de tração por unidade de área”.

---

À página 4, lemos:

Suppondo constante a relação entre as forças e os efeitos produzidos, ter-se-á:

$$\frac{p}{\delta} = E$$

designamos  $E$  a constante. Fazendo a substituição dos valores de  $\delta$  e  $p$ , resultará:

$$l = \frac{P}{\Omega} \times \frac{L}{E}$$

para a determinação do alongamento elastico da haste considerada.

(...) A constante  $E$ , dependente da natureza do prisma, chama-se *modulo de elasticidade* (...)

Correspondência entre a simbologia e a nomenclatura usadas por Oliveira e a simbologia e a nomenclatura usadas atualmente			
simbologia e nomenclatura usadas por Oliveira		simbologia e nomenclatura usadas atualmente	
$L$		$l$	
$\Omega$		$A$	
$P$		$P$	
$l$		$\delta$	
$\delta$		$\varepsilon$	
$E$		$E$	
força de tração por unidade de superfície	$p = \frac{P}{\Omega}$	tensão	$\sigma = \frac{P}{A}$
alongamento elástico	$l = \frac{P L}{E \Omega}$	deformação linear	$\delta = \frac{P l}{E A}$
alongamento por unidade do comprimento	$\delta = \frac{l}{L}$	deformação específica	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$
módulo de elasticidade	$E$	módulo de elasticidade	$E$
relação entre força de tração por unidade de superfície e alongamento por unidade de comprimento	$p = E \delta$	relação entre tensão e deformação específica	$\sigma = E \varepsilon$

O autor define os conceitos de tensão, de deformação específica e de módulo de elasticidade em cinco páginas, valendo-se de uma única figura.

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	170 x 230
número de páginas	283
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos (exemplos)	11
<b>Figuras</b>	
número de figuras	151
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{151}{283} = 0,533$

<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	101
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{101}{283} = 0,357$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	6
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	40
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	3

<b>Autores referidos</b>	
1	Aimé-Henry Résal (1828-1896)
2	Joseph-Louis Henri de Dion (1828-1878)
3	Robert Hooke (1635-1703)
4	Jacques Bernouilli (1654-1705)
5	Galileo Galilei (1564-1642)
6	Jacques Antoine Charles Bresse (1822-1883)
7	Alexandre Gustave Eiffel (1832-1923)
8	Claude Louis Marie Henri Navier (1785-1836)
9	August Wöhler (1819-1914)
10	Johann Bauschinger (1834- 1893)
11	Arthur Vierendeel (1852-1940)
12	Ferdinand Jacob Redtenbacher (1809-1841)
13	Maurice Lévy (1838-1910)
14	Alfred-Aimé Flamant (1839-1915)
15	Heinrich Müller-Breslau (1851-1925)
16	Maurice Koechlin (1856-1946)
17	Engelbert Leber (1876-1920)
18	Bricka (?)
19	Jhonson (?)
20	George Hartley Bryan (1864-1928)
21	Frederick Eugene Turneure (1866-1951)
22	Leman (?)
23	Dechamps (?)
24	Robert Henry Thurston (1839-1903)
25	Louis Joseph Vicat (1786-1861)
26	Jean-Baptiste Rondelet (1734-1829)
27	Brix (?)
28	Gabriel Lamé (1795-1870)
29	Ferdinand Jacob Redtenbacher (1809-1863)
30	John Hawkshaw (1811 -1891)
31	William George Armstrong (1810-1900)
32	William Henry Barlow (1812-1902)
33	George Gabriel Stokes (1819-1903)
34	William Yolland (1810-1885)
35	Armand Considère (1841-1914)
36	Ludwiig von Tetmajer (1850-1905)
37	Madamet (?)
38	Braithwaite (?)

39	William Fairbairn (1789-1874)
40	Spangenberg ( ?)

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	3
2	objetividade	3
3	clareza	3
4	precisão	3
5	didática	2
6	coerência	3
7	elegância	3
8	rigor	3
9	correção	3
10	sobriedade	3
11	adequação	3
12	correção gramatical	3
13	fundamentação	3
	total	38
	média	2,92

### Observações finais

Trata-se de um texto claro, sucinto e objetivo. Observamos também que o autor demonstra sólido conhecimento de Mecânica e das obras fundamentais nesse campo.

**4.7. Livro 3**  
**“Resistencia dos Materiaes e Grapho-Estatica”**  
Dr. A. F. Paula Souza  
1914

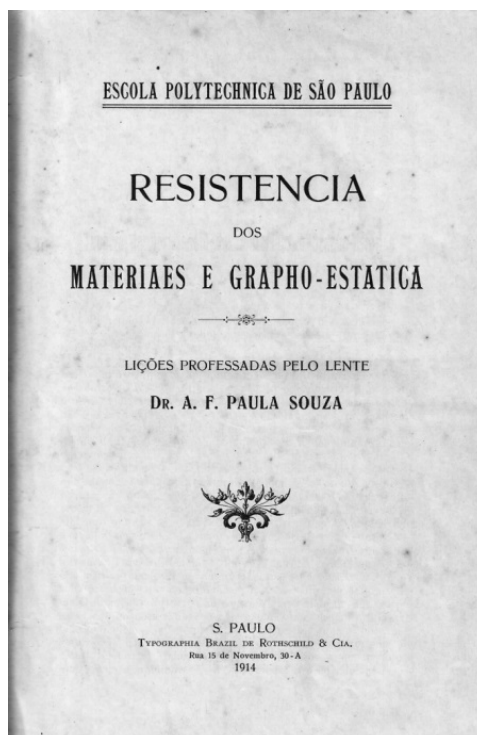


Figura 62. Frontispício.

### **Análises e comentários**

O livro não tem um prefácio e o texto se inicia abruptamente na página seguinte ao frontispício.

---

No primeiro capítulo do livro, que se inicia à página 3, Paula Souza se estende excessiva e desnecessariamente, sendo em muitas passagens contraditório e confuso. Reproduzimos, a seguir, apenas alguns trechos que nos parecem mais consistentes e relevantes para nossa análise.

---

À página 3, lemos:

## Theoria da Resistencia dos materiaes e Grapho-estatica

### 1ª PARTE

Principios fundamentaes da resistencia dos materiaes.

§1. – Noções preliminares e problemas a resolver; phenomenos geraes e deformação.

Em mecanica racional se define um corpo solido como sendo “um conjuncto de pontos materiaes invariavelmente ligados entre si”. Na natureza tal não se encontra (...)

(...) Os “solidos” resistem ás acções tendentes a deformat-os e assim não se prestam a deformações sensiveis e conservam mais ou menos as mesmas formas primitivas. Essa resistencia à deformação não é absoluta e por isso não se encontra na natureza corpos indeformaveis: todos, sob a acção de determinadas cargas, soffrem deformações mais ou menos fortes e apreciaveis. Na maioria dos corpos essas deformações são pequenas e para uma primeira approximação podem ser desprezadas. É assim que a mecanica geral pôde considerar os corpos como sendo um systema, de pontos materiaes indeformavel, quaesquer que sejam as forças que se lhes applique; e d’esse modo procedendo a mecanica geral conseguiu o estabelecimento das equações geraes de movimento e do equilibrio dos corpos solidos. (...)

### Análises e comentários

(...) resistencia dos materiaes (...)

As palavras deveriam ser grafadas com iniciais maiúsculas: “Resistencia dos Materiaes”.

---

Os “solidos” resistem ás acções tendentes a deformat-os e assim não se prestam a deformações sensiveis e conservam mais ou menos as mesmas formas primitivas.

A frase não está bem escrita e expressa de modo equivocado o fato de os sólidos se deformarem quando se lhes aplicam cargas.

---

(...) conservam mais ou menos as mesmas formas (...) soffrem deformações mais ou menos fortes (...)

A expressão “mais ou menos” é imprecisa e inadequada.

---

À página 4, lemos:



(...) Segundo o que nos ensina a physica, os corpos naturaes, quer sejam solidos ou fluidos, são constituídos por particulas materiaes infinitamente pequenas, ou moleculas, separadas por intervalos da mesma ordem de grandeza e que exercem entre si acções attractivas ou repulsivas. As posições mutuas dessas moleculas podem pois ser modificadas sob a acção de forças externas applicadas aos corpos. Vê-se portanto que quando actuam forças externas em equilibrio sobre um corpo ellas não actuam de fato sobre um systema de pontos invariavelmente ligados entre si; porem sim sobre um sistema deformavel. Sob a acção dessas forças e segundo suas direcções aquellas moleculas se approximarão ou se affastarão e como consequencia o corpo se deformará. Supprimindo-se essas forças externas em equilibrio as moleculas voltam a ocupar suas posições primitivas ou d'ellas se approximam. No primeiro caso se diz que o corpo é perfeitamente elastico; e no segundo que a deformação excede o limite da elasticidade e o corpo sob a acção d'aquellas forças adquire uma deformação permanente; pois que se dá o nome de “elasticidade” a propriedade de voltarem as moleculas constitutivas do corpo deformado perfeitamente á suas primitivas posições. (...)

## Análises e comentários

(...) particulas materiaes infinitamente pequenas,

O termo “infinitamente”, nesse caso, não é correto.

---

(...) perfeitamente (...)

O termo “perfeitamente” não deveria ser usado.

---

Continuando na página 4, lemos:

(...) não há corpo, por mais elastico que seja, que sob dadas forças não apresente alguma deformação restante ou permanente; assim como tambem não há corpo que sendo deformado não tenda a voltar a sua primitiva forma quando supprimidas as causas da deformação, ainda que essa tendencia seja extremamente pequena. (...)

À página 5, lemos:

(...) Submetendo-se um corpo a cargas maiores do que as do limite de elasticidade as deformações serão cada vez mais sensíveis e para uma dada carga dar-se-á a ruptura do corpo. Essa carga que determina a ruptura é a que se designa como sendo a do “limite de ruptura” (...)

(...) O estudo de resistencia e das deformações dos materiaes de construção tem por objectivo resolver os seguintes problemas fundamentaes:

1º Dado um corpo (fôrma, dimensões e natureza) determinar a carga á qual pôde-se submeter-o sem que seja atingido não só o limite da ruptura como tambem o limite da elasticidade.

2º Dada uma carga (intensidade, módo de acção e distribuição) á qual se pretende submeter um corpo, determinar a fôrma e dimensões deste de módo que não apresente deformações permanentes.

O estudo destas questões envolve o de varias e importantes questões de resistencia dos materiaes; e esses problemas não podem ser resolvidos com o auxilio exclusivo dos principios da mecanica racional; tem-se necessidade de tomar em consideração as deformações dos corpos sob a acção das forças externas o que reclama um estudo experimental das propriedades phisicas desses corpos.

As moleculas de um corpo solido exercem entre si acções attractivas e repulsivas dirigidas segundo as rectas que as unem e que se equilibram constituindo assim o que se chama “equilibrio molecular”. As acções exteriores, como as cargas e outras, modificam essas distancias relativas das moleculas, pois que deformam o corpo, e portanto aquellas cargas produzem a ruptura do equilibrio molecular.

À página 7, lemos:

§2. – Analyse e classificação das deformações. – Equilibrio estatico e molecular. – Gráo de elasticidade. – Limite de elsticidade e da proporcionalidade das deformações.

Tomemos em consideração um solido que designamos pelo nome de “barra”; isto é: um corpo que imaginamos formado pelo movimento de uma figura plana de contórno constante ou variável, tendo, pois, uma área constante ou variável cujo centro de gravidade percorra uma dada linha plana recta ou curva. Os principios que se estabelecer para esta barra serão applicaveis á quaesquer outros corpos. (...)

### **Análises e comentários**

(...) designamos pelo nome de “barra” (...)

A explicação de Paula Sousa sobre o que seria uma “barra” é confusa, contraditória e inadequada.

(...) cujo centro de gravidade (...)

Não se trata de “centro de gravidade” e sim de “centroide”.

Os principios que se estabelecer para esta barra serão applicaveis á quaesquer outros corpos.

Se for assim, isto é, se os principios são “applicáveis a quaisquer corpos”, então não há necessidade de se definir especificamente uma barra.

Continuando na página 7, lemos:

Designaremos por “secção transversal” da barra aquella figura plana que a gerou, e que será sempre normal á seu “eixo”; sendo que pelo nome de eixo entenderemos sempre o logar geometrico do percurso ao longo da linha dada do centro de gravidade da figura ou secção transversal. Esse centro de gravidade da secção será sempre indicado pela letra S que tambem exprimirá a área da figura.

Na maioria dos casos as peças constructivas são barras de secção transversal constante e de eixo recto, sobre as quaes actuam cargas situadas n'um plano que contem o eixo da barra. – Em regra esse plano no qual actuam as cargas e que contem o eixo recto ou curvo da barra é um plano de symetria da secção transversal. (...)

## Análises e comentários

Designaremos por “secção transversal” da barra aquella figura plana que a gerou, e que será sempre normal á seu “eixo” (...)

Em relação a um plano (ou a uma figura plana), um eixo é “perpendicular”, e vice-versa.

---

(...) o logar geometrico do percurso (...)

O correto seria, apenas, “lugar geométrico”.

---

(...) centro de gravidade da figura ou secção transversal (...)

Não se trata de “centro de gravidade”, mas de “centroide”.

---

Esse centro de gravidade da secção será sempre indicado pela letra S que tambem exprimirá a área da figura.

É inadequado o uso do mesmo símbolo (S) para representar coisas diferentes.

---

Paula Souza se vale das figuras mostradas nas páginas 8, 9, 10 e 11 do seu livro, e reproduzidas a seguir, para ilustrar sua explanação:

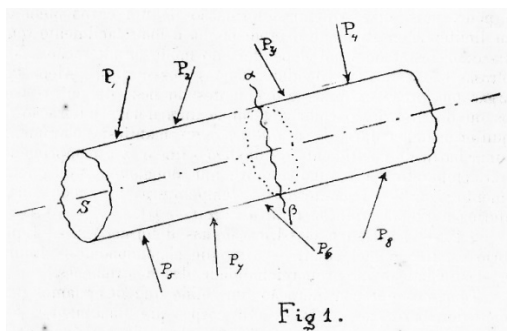


Fig 1.  
Figura 63.

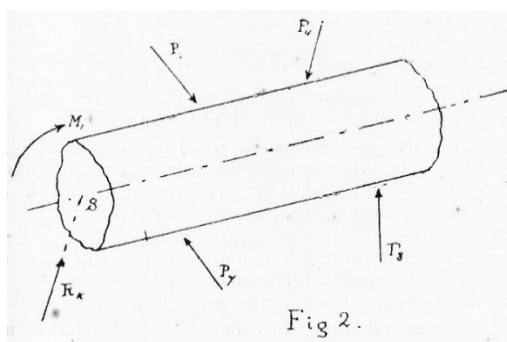


Fig 2.  
Figura 64.

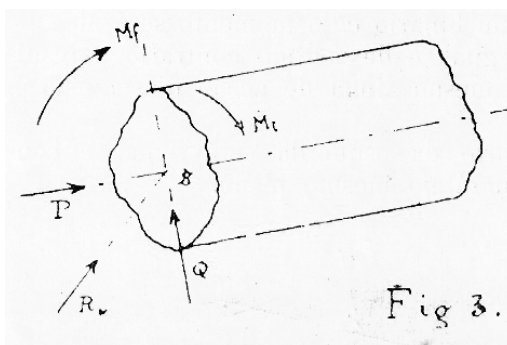


Fig 3.  
Figura 65.

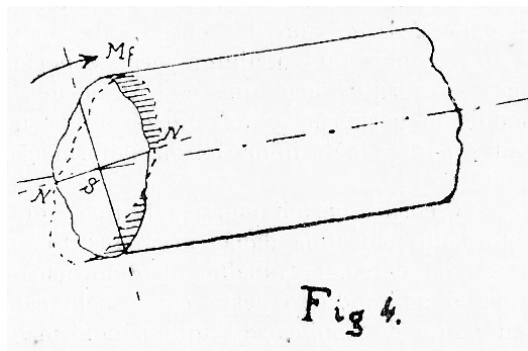


Fig 4.  
Figura 66.

## Análises e comentários

Parece-nos que a inserção dessas figuras, como elas se apresentam, no estágio inicial do curso, só irá dificultar a compreensão daquilo que se pretende ensinar.

---

Da página 14 à página 17, lemos:

§3. – Lei de Hooke e experiencias de Wöhler. – Determinação dos limites de elasticidade e da proporcionalidade. Estudo das equações de proporcionalidade

(...) dentro dos limites da proporcionalidade podemos applicar essa relação de proporcionalidade que se pode escrever sob a forma

$$\lambda = c \cdot P$$

a qual é conhecida pelo nome de “lei de Hooke”; - porque foi o physico inglez Dr. Robert Hooke quem já em 1661 a estabeleceu.

Aquella constante  $c$  de proporcionalidade verificou elle ser proporcional ao comprimento  $l$  da barra e inversamente proporcional a seção  $S$ , e tambem dependente da qualidade do material.

Demais verificou elle que se tivessesmos uma barra de comprimento

$$l = n \cdot l'$$

a deformação de cada um desses segmentos  $l'$  seria

$$\lambda'$$

$$\lambda = \frac{P \cdot l}{S \cdot E}$$

equação esta que Hooke apresentou sob a forma de um anagramma. O anagramma foi decifrado, só em 1678 quando elle revelou no seu escripto “De potentia restitutiva” dizendo: “*ut tentio sic vis*” (\*)<sup>17</sup>

## Análises e comentários

(...) seção S (...)

O correto seria “área S”.

---

(...) sendo este coefficiente E aquelle que Hooke denominou “modulo” ou “coefficiente” de elasticidade (...)

Aqui há um equívoco em relação à história: quem introduziu a noção de “módulo de elasticidade” foi Thomas Young, em 1807.

---

(...) equação de Hooke  $\lambda = \frac{P \cdot l}{S \cdot E}$

Essa não é uma “equação de Hooke”.

---

À página 19, lemos:

(...) para materiaes que seguem a lei de Hooke, dentro do limite de proporcionalidade se terá sempre a relação

$$\lambda = \frac{P \cdot l}{S \cdot E}$$

que podemos tambem escrever do modo seguinte:

$$\frac{\lambda}{l} = \frac{P}{S} \times \frac{1}{E}$$

Ora  $\frac{\lambda}{l}$  nada mais é que o alongamento ou encurtamento por unidade linear de seu eixo; e que em seguida notaremos sempre pela letra  $\varepsilon$  e designaremos pelo nome de deformação específica.  $\frac{P}{S}$  exprime tambem uma carga por unidade superficial da secção, e designaremos sempre pela letra  $\sigma$  e chamaremos pelo nome de tensão específica. Temos assim aquella equação sob a forma:

---

<sup>17</sup> O anagrama foi o seguinte: ceiiinosssttuv

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Estas equações em regra são sempre homogêneas e como

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$$

representando a relação entre duas grandezas lineares, não possui dimensão segue-se que E deve possuir a mesma dimensão que

$$\sigma = \frac{P}{S}$$

que representa uma carga por unidade superficial.

À página 22, lemos:

### Tracção

Examinemos agora com mais detalhe o fenómeno de deformação em consequência de uma tracção de barra no sentido de seu eixo. Nesse intuito tomemos em consideração uma barra recta de comprimento  $l$  e de diâmetro constante  $d$ , tendo, pois, uma secção constante de área

$$S = \frac{\pi}{4} d^2$$

Submetida essa barra a um aparelho de experimentação de materiais a solicitação das forças será indicada schematicamente no esboço [fig.8]

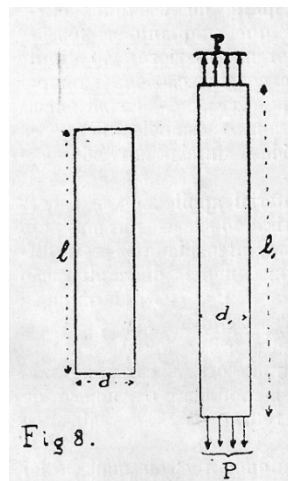


Figura 67.

Essas duas forças P que a solicitam tendem a alongá-la e são aplicadas de modo que sejam uniformemente distribuídas sobre as duas secções extremas; e demais admitiremos que suas intensidades sejam inferiores àquela que produz a ruptura da barra.

Consequentemente elas se equilibram por intermédio da mesma barra e portanto os esforços moleculares que se desenvolvem no seu interior também se acham em equilíbrio; pois que se fizermos uma secção  $\alpha\beta$  normal ao eixo da barra em

quaesquer de seus pontos verifica-se que esse equilibrio entre as forças externas PP não poderia existir se a cohesão n'essa secção não se achasse por sua vez tambem em equilibrio como se indica schematicamente [fig. 9]

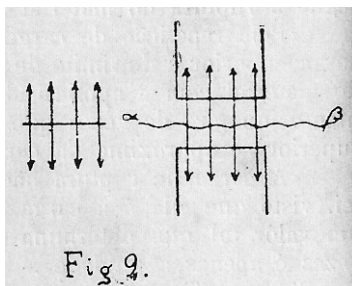


Figura 68.

Estes esforços moleculares assim indicados designaremos pelo nome de “tensões” e quando referidas a unidade superficial de “tensões especificas” e demais serão indicadas pela letra  $\sigma$  quando forem normaes a superficie da secção e se oppozerem ao alongamento ou encurtamento da barra.

Em consecuencia da acção das forças tracticvas PP inferiores a carga de ruptura a barra se alongará e adquirirá o comprimento  $l$  ; ao mesmo tempo seu diametro diminuirá e se reduzirá á  $d$  .

Vemos pois que ella terá soffrido duas deformações: a 1ª no sentido longitudinal igual á  $\lambda = l, l$  ; e a segunda no sentido transversal igual á  $-\delta = d, -d$  . Substituindo porem o equilibrio entre as forças externas e as internas é claro que devemos tambem admittir que as tensões  $\sigma$  por unidade superficial tenham uma resultante igual e contraria a força externa P. A este resultado se chega em virtude de existir aquelle equilibrio estatico; mas o módo porque se acham essas tensões especificas distribuidas sobre a secção é cousa que não sabemos. O que podemos verificar é que a força P externa que solicita a barra segundo o seu eixo póde ser considerada como a resultante de innumeras pequenas forças que solicitam as fibras da mesma barra parallelas a seu eixo. Portanto a força P poderá ser considerada como a resultante das forças  $\frac{P}{S}$  que solicitam outras tantas barras quantas são as unidades superficiais da secção da barra. Portanto podemos tambem podemos dizer que as tensões especificas são eguaes e contrarias a essas forças externas  $\frac{P}{S}$  .

## Análises e comentários

(...) tracção de barra no sentido de seu eixo (...)

O correto seria “na direção de seu eixo”.

---

(...) aparelho de experimentação de materiaes (...)

O correto é “máquina de ensaio de tração”.

---

(...) é claro que devemos tambem admittir que as tensões  $\sigma$  por unidade superficial tenham uma resultante igual e contraria a força externa P.

Não se pode comparar tensões e forças.

---



(...) a 1ª no sentido longitudinal (...)

O correto seria “a 1ª na direção longitudinal”.

(...) igual á  $\lambda = l, l$

O correto é:  $\lambda = l, - l$  [  $l$ , menos  $l$  ]

(...) a força  $P$  poderá ser considerada como a resultante das forças  $\frac{P}{S}$

$\frac{P}{S}$  não é uma força.

Portanto podemos também dizer que as tensões específicas são iguais e contrárias a essas forças externas  $\frac{P}{S}$ .

Novamente,  $\frac{P}{S}$  não é uma força.

Correspondência entre a simbologia e a nomenclatura usadas por Paula Sousa e a simbologia e a nomenclatura usadas atualmente			
simbologia e nomenclatura usadas por Paula Sousa		simbologia e nomenclatura usadas atualmente	
$l$		$l$	
$S$		$A$	
$P$		$P$	
$\lambda$		$\delta$	
$\varepsilon$		$\varepsilon$	
$E$		$E$	
carga por unidade superficial ou tensão específica	$\sigma = \frac{P}{S}$	tensão	$\sigma = \frac{P}{A}$
alongamento ou encurtamento	$\lambda = \frac{P L}{E \Omega}$	deformação linear	$\delta = \frac{P l}{E A}$
deformação específica	$\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$	deformação específica	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$
módulo ou coeficiente de elasticidade	$E$	módulo de elasticidade	$E$

relação entre tensão específica e deformação específica	$\sigma = E \varepsilon$	relação entre tensão e deformação específica	$\sigma = E \varepsilon$
---	--------------------------	--	--------------------------

## Resultados

<b>O livro em números</b>	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	160 x 235
número de páginas (de Resistência dos Materiais)	149
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	1
número de problemas resolvidos	21
<b>Figuras</b>	
número de figuras	88
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{88}{149} = 0,591$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	37
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{37}{149} = 0,248$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	1
<b>Autores referidos</b>	
número de autores citados	21
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	4

<b>Autores referidos</b>	
1	Robert Hooke (1635-1703)
2	Emil Winkler (1835-1888)
3	August Wöhler (1819-1914)
4	Johann Bauschinger (1834-1893)
5	Julius Carl von Bach (1847-1931)
6	Siméon Denis Poisson (1781-1840)
7	Ludwig von Tetmayer (1850-1905)
8	Edme Mariotte (1620-1684)
9	C. L. M. H. Navier (1785-1836)
10	Jacob Bernoulli (1655-1705)
11	Leonhard Paul Euler (1707-1783)
12	Schwartz (?)
13	William J. M. Rankine (1820-1872)

14	Lewis D. B. Gordon (1815–1876)
15	Friedrich Laissle (?)
16	Adolf von Schübler (1829-1904)
17	Scharowski (?)
18	Karl Culmann (1821-1881)
19	Gustav Anton Zeuner (1828-1907)
20	Land (?)
21	Christian Otto Mohr (1835-1918)

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	2
2	objetividade	2
3	clareza	2
4	precisão	2
5	didática	2
6	coerência	3
7	elegância	2
8	rigor	2
9	correção	2
10	sobriedade	3
11	adequação	2
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	2
	total	28
	média	2,15

### A matemática usada no livro

Não se pode dizer que Paula Souza não use o Cálculo Diferencial e Integral no seu livro, mas o usa pouco.

### Observações finais

Embora o livro seja bem impresso e a diagramação seja boa, parece-nos que o livro foi feito mais como uma apostila: passa-se do frontispício diretamente para o primeiro capítulo, sem um prefácio, uma introdução, uma apresentação ou um índice, nada! É um livro desprezioso, o que nos faz lembrar palavras ditas em “Escola Politécnica 100 anos”:

O ensino da engenharia, antes dedicado ao estudo dos “tratados” e aplicado segundo o conhecimento empírico dos grandes mestres, voltou-se então para o enfoque da pesquisa tecnológica, com a preocupação de formar especialistas.

(ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS, op. cit., p. 62).

O texto de Paula Sousa, em muitas passagens, é confuso e tem erros graves.

Chamam nossa atenção as semelhanças entre a apresentação de Paula Sousa e as que encontramos nos livros atuais.

**4.8. Livro 4**  
**“Lições de Resistencia dos Materiaes”**  
 Augusto de Brito Belford Roxo  
 1923

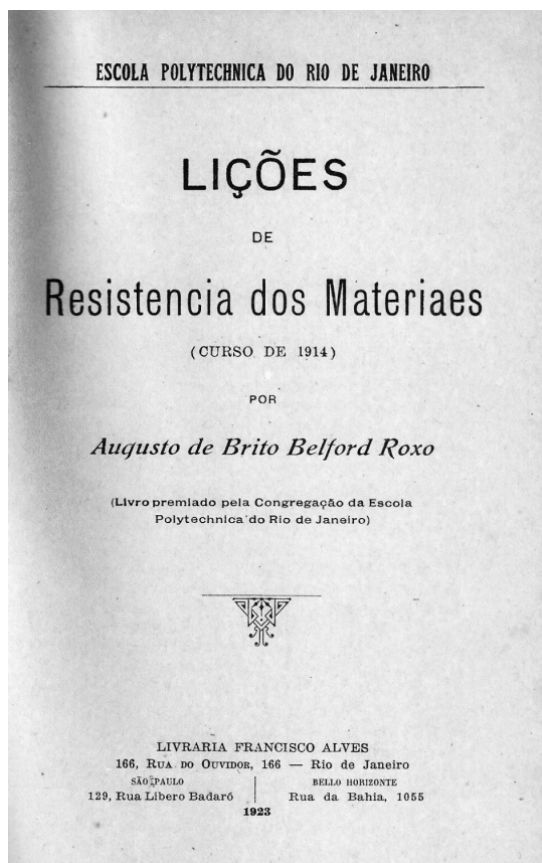


Figura 69. Frontispício.

A primeira edição desse livro foi publicada em 1915. A edição que analisamos é a segunda, publicada em 1923.

À página 15, lemos:

PREFACIO DA 2ª EDIÇÃO

Á digna Congregação da Escola Polytechnica do Rio de Janeiro, que, por proposta dos provetos professores Exmos. Drs. Jorge de Lossio, Sampaio Corrêa e Domingos Cunha, premiou esse meu modesto trabalho, e ao seu eminente Director Exm. Dr. Paulo de Frontin, que prestou o seu valioso apoio á semelhante iniciativa, os meus votos de profundo reconhecimento.

Felizmente, ou talvez infelizmente, sei reduzir o meu valôr proprio ás suas justas e devidas proporções e comprehendi perfeitamente o alto gesto de benevolencia de meus pares, recompensando não o merito, mas o esforço real de quem, publicando

as suas Lições de Resistencia, apenas procurou ensejo para prestar um serviço ao ensino e aos alumnos.

Os raios bemfazejos do sol, que assim se vieram reflectir sobre a planta fragil não poderiam permittir que ella fenecesse; e, por isso, inundada de seiva nova, ella sentiu impulsos propios a um novo desenvolvimento.

D'ahi a presente edição, enriquecida de tabellas e exercicios, e repretando ampliação da primeira, mas como esta aspirando não á glorificação d'um successo, para o qual não foi creada, mas sim ao convívio com a mocidade, para a qual foi especialmente publicada.

Janeiro, 1919.

Belford Roxo

## Análises e comentários

Esse prefácio é muito revelador:

- a linguagem, empolada, afetada e pernóstica, será usada por Roxo ao longo de todo o livro, mesmo na exposição de conceitos matemáticos;
- ao contrário do que procura parecer, Roxo se mostra vaidoso e imodesto, usando o livro para jactar-se.

À página 17, lemos:

Os solidos invariaveis da Mecanica Racional não são passiveis de deformação sob a acção de forças exteriores, a distancia entre os seus pontos mantendo-se sempre constante. Constituem, como se sabe, simples ficção, creada pela nossa imaginação nas especulações de ordem puramente abstracta.

Transportando-nos ao mundo concreto, para o qual legisla a Mecanica Applicada, os seres necessariamente se deformam sob a acção das forças exteriores e, como consequencia, não se cingem, ás vezes, a certas regras de Mecanica Racional, desde que a invariabilidade absoluta de fórma seja um dado basico e essencial nos problemas, em que tenham de figurar.

Infere-se, d'ahi, como poderá dar logar a applicações intempestivas e a resultados erroneos a extensão inconsiderada, em certos casos, aos solidos naturaes, quando se estudam as suas deformações, das regras de composição e decomposição de forças, como poderá, ás vezes, nas mesmas condições, adquirir feição suspeita o simples deslocamento do ponto d'applicação d'uma força na sua linha de acção e como então a neutralização de suas forças iguaes e directamente oppostas constituirá uma heresia, desde que não coincidam os seus pontos d'applicação na linha de acção commum.

Accentuando ser a deformação caracter inherente aos solidos naturaes, esclareçamos o que se relaciona e se prende a tal phenomeno.

Consideraremos, para isto, um corpo natural em equilibrio molecular e admittamos sobre elle venham actuar forças exteriores, que não sejam, no emtanto, de ordem a acarretar a ruptura.

A deformação se manifesta; a materia, como era de esperar, em virtude da lei de Newton, reage; forças, que ali se achavam em estado latente, como que adormecidas no interior do corpo, acodem em sua defeza, travando-se conflicto entre ellas e as forças exteriores.

Como a intensidade de taes forças interiores, tambem denominadas forças elasticas ou açções moleculares, vai sempre crescendo, acabam ellas adquirindo a

supremacia. Cessa assim a deformação, voltando o corpo a assumir nova posição de equilíbrio em que o arranjo das moléculas é todo outro, equilíbrio conseguido á custa de neutralização de efeitos de forças antagonicas.

## Análises e comentários

As primeiras linhas do livro já nos dão uma ideia da linguagem usada por Belford Roxo e da sua maneira extravagante e bombástica de expor a matéria.

---

À página 24, lemos:

Quanto á intensidade da acção molecular num ponto dado, para ficar bem comprehendida a sua significação, torna-se preciso primeiro consideremos como ficção no mundo concreto a noção adquirida na Mecanica Racional de força finita applicada num ponto.

As forças naturaes se distribuem sempre segundo superficies; não há, pois, resultantes finitas e sim componentes infinitesimae applicadas em elementos superficiaes, as quaes combinadas, seriam capazes de dar pelas regras da mecanica racional uma resultante ficticia applicada num ponto.

Posto isto, consideremos um ponto qualquer da superficie de distribuição  $\omega$  de uma força  $F$ . Supponhamos o caso corrente –  $F$  não se distribue uniformemente em  $\omega$  - e figuremos um elemento  $d\omega$  em torno do ponto em questão,  $dF$  representando a parte de  $F$ , que sobre ele vai repercutir.

O elemento se deformando, nele se desenvolve a força elastica, com que se defende contra o agente exterior, força igual e contraria a  $dF$ , logo que se manifesta o equilibrio elastico, sendo, então, indifferente denominar  $dF$  força exterior ou acção molecular e força elastica.

As dimensões do elemento nos autorizando a admitir a distribuição uniforme de  $dF$  em  $d\omega$  fica o ponto sujeito á parcella, que lhe compete de tal distribuição uniforme. Será para elle a situação a mesma, tanto considerando  $dF$  distribuido uniformemente em  $d\omega$ , como distribuida, segundo a mesma lei, na unidade de area, supposta rodeando-o, uma força ficticia, capaz de produzir-lhe a mesma fadiga.

Si  $n$  é tal força ficticia, da proporção:

$$dF : d\omega :: n : 1$$

resulta:

$$n = \frac{dF}{d\omega}$$

fazendo assim idéa segura do modo pelo qual é estimulado o ponto, não pela distribuição uniforme de  $dF$  em  $d\omega$  e sim pela imagem da repartição por igual de  $\frac{dF}{d\omega}$  na unidade da area.

Esta força referida assim á unidade da area denomina-se indifferente no ponto, no elemento considerado, intensidade de acção molecular especifica, tensão unitaria e trabalho elastico.

O conhecimento completo do estado elastico do corpo em torno do ponto exigiria, comtudo, a aquisição de recursos, habilitando-nos á determinação de tal força relativamente a qualquer elemento por elle passando, qualquer que fosse a sua

orientação e para tal requisitaria s Theoria de Elasticidade as acções moleculares relativas a tres elementos.

A denominação de trabalho elastico é altamente viciosa, pois a accepção de trabalho não é a accepção scientifica firmada pela Mecanica: trabalho é, no nosso caso, synonymo de força. Trata-se, comtudo, de uma expressão, por assim dizer, victoriosa, que nos devemos resignar a aceitar, limitando-nos a consignar a feição impropria.

A denominação de acção molecular especifica é corrente em autores allemães, mas entre nós não tem sido vulgarizada.

A de tensão unitária é ao contrario, commummente empregada.

No caso especial, em que a força exterior  $F$  se distribue uniformemente na superficie de distribuição  $\omega$ , em vez do elemento  $d\omega$  rodeando o ponto  $M$ , consideramos integralmente tal superficie e chamamos:

$$n = \frac{F}{\omega}$$

força referida á unidade de area, representando como se fatiga o ponto em questão.

## Análises e comentários

O elemento se deformando, nele se desenvolve a força elastica (...)

“Força elástica”: designação usada por Roxo para a interação entre as moléculas constituintes do material sob a ação de força externa.

---

(...) sendo, então, indifferente denominar  $dF$  força exterior ou acção molecular e força elastica.

Como pode ser indifferente chamar  $dF$  de “força exterior”, “ação molecular” (que é uma força interior) e “força elástica” (também uma força interior)?

---

(...) fadiga (...)

Corresponde ao que, hoje, denominamos “tensão”.

---

(...)  $\frac{dF}{d\omega}$  (...)Esta força referida assim á unidade da area denomina-se indifferentemente (...) intensidade de ação molecular especifica, tensão unitaria e trabalho elastico (...)

Trata-se do que, hoje, denominamos “tensão”.

---

(...) superficie de distribuição  $\omega$  (...)

$\omega$  é a área da superficie.

---

$$n = \frac{F}{\omega} \text{ força referida á unidade de area.}$$

Trata-se do que, hoje, denominamos “tensão”.

À página 50, lemos:

Vejamos primeiro a extensão de uma haste prismatica, isto é, d’uma peça de secção transversal constante, sendo a dimensão transversal muito pequena em relação á longitudinal e de comprimento reduzido, de fôrma a ficar autorizada a abstracção do peso proprio.

Submettendo-a a cargas de tracção gradualmente crescente, verificamos que a deformação passa por quatro phases distinctas.

A primeira phase, a phase elastica, termina com a carga estatica – limite de elasticidade á tracção – a partir da qual as deformações plasticas começam a ser apreciaveis. Em tal periodo, suppressa a acção exterior, retoma a peça a fôrma primitiva, restituindo integralmente, sob fôrma de energia cinetica, o trabalho da deformação armazenado como energia potencial.

Nelle tem pleno cabimento a applicação da lei de Hooke, a equação linear, a que ella dá logar, assumindo feição naturalmente muito simples, visto traduzir a proporcionalidade entre os alongamentos, isto é, as deformações, e as cargas correspondentes.

Em taes condições, designando por  $P$  uma carga de tracção do periodo elastico, por  $L$  e  $\omega$  respectivamente o comprimento e a seção transversal da haste e por  $l$  o alongamento por ella sofrido, decorre directamente de tal lei experimental:

$$P = \frac{E \omega l}{L}$$

em que  $E$  é um coefficiente que depende da natureza do material.

À página 52, lemos:

As experiencias se referem commummente aos metaes; as indicações, comtudo, obtidas, adquiriram fôros d’uma feliz generalização.

Com os documentos colhidos achamo-nos habilitados á representação graphica (...)

Para isto tomemos por abscissas os alongamentos por unidade de comprimento  $\frac{l}{L}$  e para as ordenadas as tensões unitarias ou trabalhos elasticos  $\frac{P}{\omega}$  correspondentes [fig. 3].

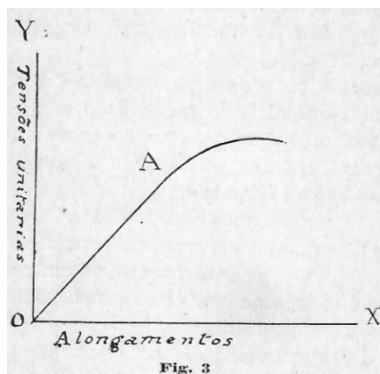


Figura 70.



Correspondência entre a simbologia e a nomenclatura usadas por Paula Sousa e a simbologia e a nomenclatura usadas atualmente			
simbologia e nomenclatura usadas por Paula Sousa		simbologia e nomenclatura usadas atualmente	
$L$		$l$	
$\omega$		$A$	
$P$ ou $F$		$P$	
$l$		$\delta$	
$\frac{l}{L}$		$\varepsilon$	
$E$		$E$	
força referida á unidade de area ou intensidade de acção molecular especifica ou tensão unitária ou trabalho elástico	$n = \frac{F}{\omega}$	tensão	$\sigma = \frac{P}{A}$
alongamento	$l = \frac{P L}{E \omega}$	deformação linear	$\delta = \frac{P l}{E A}$
alongamento por unidade de comprimento	$\frac{l}{L}$	deformação específica	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$
coeficiente	$E$	módulo de elasticidade	$E$

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	150 x 230
número de páginas	557
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos	67
<b>Figuras</b>	
número de figuras	115
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{115}{492} = 0,234$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	61

relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{61}{492} = 0,124$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	1
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	17
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	0

Autores referidos	
1	Robert Hooke (1635-1703)
2	August Wöhler (1819-1914)
3	Johann Bauschinger (1834-1893)
4	Aimé-Henry Resal (1828-1896)
5	Galileo Galilei (1564-1642)
6	Johannes Kepler (1571-1630)
7	Isaac Newton (1642-1727)
8	Carnot (?)
9	Barba (?)
10	Pillet (?)
11	Cagniard de la Tour (?)
12	W. Wertheim (1815-1861)
13	Alfred Cornu (1841-1902)
14	Spangenberg (?)
15	Del Vecchio (?)
16	Borja Castro (?)
17	Apollonius (?)

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	1
2	objetividade	1
3	clareza	1
4	precisão	1
5	didática	2
6	coerência	2
7	elegância	2
8	rigor	1
9	correção	2
10	sobriedade	1
11	adequação	2
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	1
	total	19
	média	1,46

## Observações finais

Belford Roxo é extremamente prolixo: usa palavras em demasia, não sabe ou não deseja ser objetivo. O texto é empolado, afetado, sem naturalidade e repleto de palavras mal-empregadas. Deixa a impressão de que o autor é pernóstico e pedante. Do ponto de vista da Didática, o texto é muito ruim: faltam-lhe clareza e objetividade. O autor se perde em afirmações retóricas.

**4.9. Livro 5**  
**“Graphostatica e Resistencia dos Materiais”**  
 Flavio Suplicy de Lacerda  
 1936

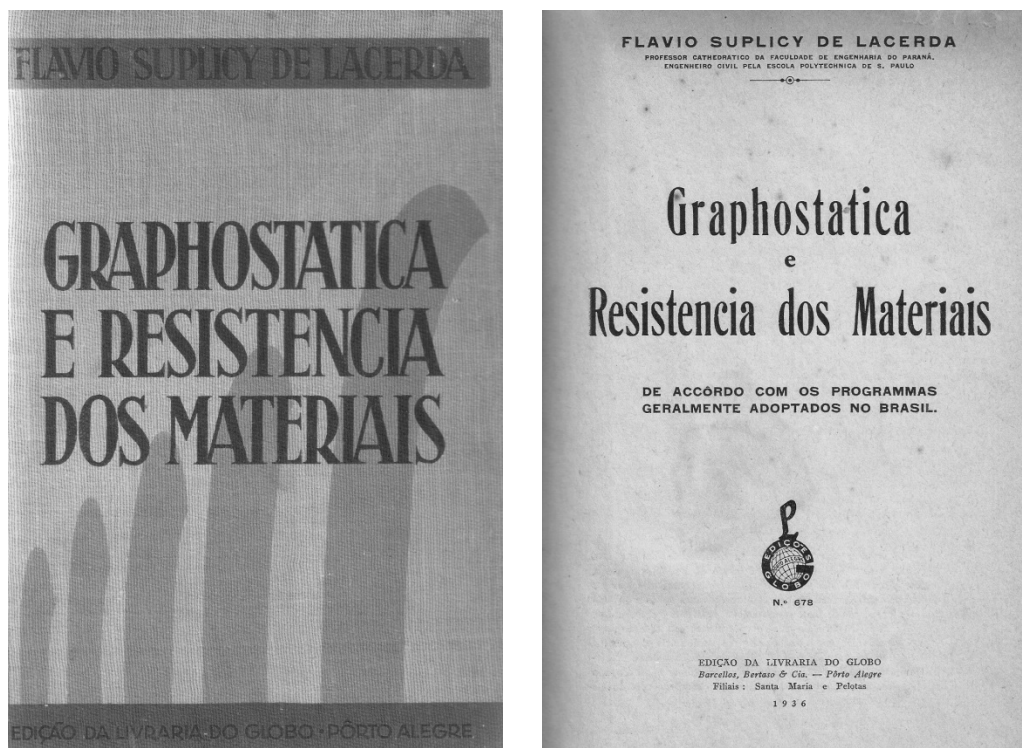


Figura 71. Capa e frontispício.

Como introdução, Lacerda escreve o que chamou uma “explicação necessária”. À página 5, lemos:

EXPLICAÇÃO NECESSARIA

Observando-se a dificuldade da maioria dos alumnos e mesmo dos engenheiros que querem saber “Resistencia dos Materiais”, dificuldade decorrente da variedade dos compendios, na sua quasi totalidade estrangeiros e de alto preço, etc., descobre-se desde logo a lacuna existente no Brasil, neste particular.

Foi por causa de tal observação e da boa vontade dos snrs. Barcellos, Bertaso & Cia., que resolvemos publicar as nossas notas de aula, orientadas pelos programas geralmente usados no Brasil. Não há nenhuma novidade no nosso compêndio, não ha inovação, qualquer deducção inedita. É todo elle composto com os textos mais autorizados, fazendo-se traducção liberrima nuns pontos, mais ou menos textual noutros, mas sempre traducção. Os autores são, portanto, Navier, Müller-Breslau, Föppl, Bach, Maurice Levy, Ritter, Culmann, Fontviolant, Camillo Guide, etc., e não nós.

Aos que quiserem portanto se deliciar numa obra original, de assumptos ineditos, ou de calculos sem applicação, e não em obra didactica, diremos como Nietzsche: “yo no soy la boca para esos oídos!”

Nunca fizemos aos nossos alumnos mysterio sôbre a origem dos nossos conhecimentos, e nunca citámos livros esgotados, de impossivel aquisição. É por esta razão que damos no começo de cada capítulo as fontes principais, muitas vezes secundárias mas jamais inacessíveis.

Para terminar estas explicações, pedimos aos leitores o obsequio de nos communicarem qualquer imperfeição ou êrro que encontrarem, pois é possível que a primeira edição não seja livre de imperfeições. Assim, ainda teremos a satisfação de constatar que não somos somente os professores brasileiros que nos interessamos pelo estudante do Brasil, mas que todos os engenheiros d'esta grande Nação pensam sinceramente no futuro da nossa Patria, sem nunca atraçoá-la na menor coisa, quanto mais na solução do maximo problema brasileiro, a formação da nossa elite intelectual.

Flavio Suplicy de Lacerda.

Outubro de 1935.

## Análises e comentários

(...) dificuldade da maioria dos alumnos (...) dificuldade decorrente da variedade dos compendios, na sua quasi totalidade estrangeiros e de alto preço, incompletos etc. (...) lacuna existente no Brasil, neste particular.

Informações importantes:

- dificuldade de obtenção de livros-texto de Resistência dos Materiais, à época;
- quase todos os compêndios encontráveis eram estrangeiros;
- o preço dos livros era alto, o que devia inviabilizar, para muitos, sua aquisição;
- havia necessidade de livros-texto de Resistência dos Materiais.

Não há nenhuma novidade no nosso compêndio, não há qualquer inovação, qualquer deducção inedita. É todo elle composto com os textos mais autorizados, fazendo-se traducção liberrima nuns pontos, mais ou menos textual noutros, mas sempre traducção. Os autores são, portanto, Navier, Müller-Breslau, Föppl, Bach, Maurice Levy, Ritter, Culmann, Fontviolant, Camilo Guide etc., e não nós.

Com a declaração acima, o Professor Suplicy mostra-se profundamente ético, reconhecendo que sua obra é uma composição de textos de outros autores, o que nos remete aos comentários já feitos em relação à obra de Paul Ferrand.

Aos que quiserem portanto se deliciar numa obra original, de assumptos ineditos, ou de calculos sem applicação, e não em obra didactica, diremos como Nietzsche: “yo no soy la boca para esos oídos!”

Para o nosso trabalho, é importante essa informação de que se trata de uma “obra didática”.

(...) damos no começo de cada capítulo as fontes principais (...)

De fato, as referências bibliográficas são abundantes e o autor nunca deixa de apresentá-las.

(...) não somos somente os professores brasileiros que nos interessamos pelo estudante do Brasil, mas que todos os engenheiros d'esta grande Nação pensam sinceramente no futuro da nossa Patria, sem nunca atraí-la na menor coisa, quanto mais na solução do máximo problema brasileiro, a formação da nossa elite intellectual.

Observamos neste final de texto um “patriotismo” exacerbado e uma visão de educação coerentes com sua formação familiar e escolar. Suplicy teve uma formação elitista.

À página 125, lemos:

#### Capítulo IV

##### § 17º - PRELIMINARES <sup>(1)</sup><sup>18</sup>

**Objecto.** No estudo da Mecanica Racional os corpos não são considerados com as suas propriedades de deformabilidade, pois são encarados como indeformaveis e rigidos, em desaccôrdo com a natureza real d'esses corpos. Levando-se em consideração as transformações soffridas pelo corpo, o problema escapa dos dominios da Mecanica Racional, a menos que se possa fazer uma idéia precisa do estado final da deformação, estado estatico, quando as equações universais de equilibrio poderão fornecer meios para a solução da questão. Em outros casos, mesmo havendo deformação do corpo, a Mecanica, com suas equações de equilibrio, poderá resolver problemas parciais, como por exemplo, a determinação das reacções dos apoios de uma viga simplesmente apoiada nas duas extremidades. A viga tendo, porém, mais de dois apoios, o problema se torna indeterminado para a Mecanica, pois apparece um número de incognitas maior que o número de equações fornecidas. Da mesma maneira, a Mecanica Racional não tem elementos para solucionar muitas outras questões, como a determinação das reacções dos apoios das vigas simplesmente cruzadas, etc.

Para a resolução de tais problemas torna-se necessaria a intromissão de novas equações em número sufficiente para determinar o systema, e isto será possível levando em linha de conta as propriedades dos materiais tais como ellas são. E é êste o campo da Resistencia dos Materiais e da Theoria Mathematica da Elasticidade, ou somente da “*Resistencia dos Materiais*”, num sentido mais amplo.

Todos os corpos que existem na Natureza são susceptiveis de soffrerem pequenas deformações sem se destruirem, embora antigamente a idéia da indeformabilidade de certos materiais tivesse constituído corpo de doutrina, não permitindo a solução de inúmeras questões importantes, que se resolvem actualmente com grande facilidade. Por menores que sejam as deformações soffridas por um corpo, a Resistencia dos Materiais, *no seu sentido mais amplo*, não as póde abandonar, d'onde, reunindo numa só definição a Resistencia dos Materiais e a Theoria Mathematica da Elasticidade, podemos definir: *Resistencia dos Materiais é o capítulo da Mecanica dos corpos solidos no qual se consideram as deformações soffridas pelos referidos corpos, por effeito de forças que agem sôbre elles*. Torna-se, portanto, a Resistencia dos Materiais um complemento valiosissimo da Mecanica dos corpos invariaveis, aproximando-nos mais da realidade.

### Análises e comentários

(...) deformabilidade (...)

<sup>18</sup> (1) Em muitos pontos seguimos as obras citadas textualmente.

Os dicionários não registram esse vocábulo.

---

Todos os corpos que existem na Natureza são susceptíveis de soffrerem pequenas deformações (...)

O leitor poderia se perguntar: o que é uma “pequena deformação”?

Em se tratando de um livro-texto de Resistência dos Materiais, essa “imprecisão” é significativa.

---

À página 127, lemos:

#### **Princípio fundamental.**

*“Toda parte de um corpo, seja qual fôr a maneira pela qual é limitada, pode ser encarada como um corpo independente, ao qual são applicaveis os theoremas gerais de Mecanica”*

Na Mecanica só levamos em consideração os systemas de fôrças externas, ao passo que na Resistencia dos Materiais precisamos considerar que as fôrças exteriores provocam reacções moleculares, internas, reacções correlativas da cohesão existente entre as partes componentes do solido, e é com o auxílio d’estas considerações que se tornará possível a applicação dos theoremas racionais aos casos reais, da Resistencia dos Materiais.

#### **Acções moleculares.**

Continuemos com a sequencia emprestada de Augusto Föppl, o mestre.

(...) Si um corpo é solicitado externamente, a acção de uma de suas partes sôbre a outra, é identica á acção de dois corpos semelhantes que se tocam, d’onde os pontos de applicação das acções de uma parte sôbre a outra se acharem, evidentemente, na superficie de separação. Quando se solicita externamente um corpo, as suas moléculas reagem á deformação, nascendo fôrças interiores, que recebem o nome de *acções moleculares*. Ora, sendo possível separar uma parte do corpo considerado, procederemos de tal maneira que a acção molecular que age numa dada direcção, na superficie de separação, se torne fôrça externa da parte separada, tornando-se, portanto, elemento do cálculo racional.

D’ahi a possibilidade de se applicarem as equações da Mecanica Racional, d’onde o conhecimento das relações existentes entre as acções moleculares, que se desenvolvem em direcções quaisquer, em diversos pontos do corpo considerado. E é neste problema que a Resistencia dos Materiais tem o seu ponto de partida.

### **Análises e comentários**

São notáveis a preocupação de Lacerda em dar destaque às fontes a que recorreu e sua honestidade ao reconhecer que “empresta” o texto de Föppl.

Digna de destaque, também, é a reverência ao “mestre”.

---

(...) forças interiores, que recebem o nome de *acções moleculares*.

Portanto, as *acções moleculares* são as forças entre as moléculas.  
Melhor que *acções moleculares* seria *interacções moleculares*.

---

À página 128, lemos:

As acções moleculares poderão ser calculadas, *em muitos casos*, porque as forças externas são, em geral, dados do problema, tornando-se possível a aplicação das equações gerais do equilíbrio. Supponhamos, por exemplo, uma peça de material qualquer, uma *vara* redonda e recta, para fixarmos melhor. Imaginemos que no eixo da vara agem duas forças P, iguais e opostas, applicadas nas extremidades, e tendendo a arrebentar a vara por effeito de uma tracção. Normalmente ao eixo, façamos uma secção  $\alpha \beta$ , de modo a cortar a peça. Considerando-se a parte da peça á esquerda de  $\alpha \beta$ , por exemplo, as condições de equilibrio exigirão que actue na secção de separação uma força P, igual e contrária á força P que age na extremidade da esquerda, com linha de acção commum, para não se produzir um binario, que romperia o equilibrio. As condições de equilibrio nos forneceram portanto a resultante das acções moleculares na secção  $\alpha \beta$ . Entretanto, nada sabemos da distribuição das várias acções moleculares na referida secção, tanto mais que a peça não é indeformavel e que a sua capacidade de resistir sem se romper é limitada, não se produzindo a ruptura ao mesmo tempo em toda uma secção, mas principiando nos pontos onde as condições para a verificação do phenomeno se apresentarem mais favoraveis. Temos resolvida, portanto, uma parte do problema, permanecendo uma outra indeterminada, por enquanto.

### Análises e comentários

Quando se solicita externamente um corpo, as suas moleculas reagem á deformação, nascendo forças interiores, que recebem o nome de *acções moleculares* (...)

As acções moleculares poderão ser calculadas, *em muitos casos* (...)

(...) nada sabemos da distribuição das várias acções moleculares na referida secção  
(...)

De fato, as interacções moleculares, ou forças entre as partículas, (que o autor chama *acções moleculares*) são indeterminadas. Portanto, ao afirmar que “as ações moleculares poderão ser calculadas”, o autor comete um erro.

---

(...) uma *vara* redonda e recta (...)

Esse nos parece um exemplo muito infeliz.  
Deveria ser “barra prismática de seção transversal circular.

---

(...) duas forças P, iguais e opostas (...)



Rigorosamente, se as forças são iguais, não podem ser opostas.

O que o autor quer dizer é: duas forças de mesmo módulo, mesma direção e sentidos opostos.

(...) e tendendo a arrebentar a vara (...)

O mínimo que podemos dizer é: essa não é uma expressão apropriada num curso de Resistência dos Materiais.

O que o autor deveria dizer é: as forças tracionam a barra e, no limite, levam-na à ruptura.

Normalmente ao eixo, façamos uma secção  $\alpha \beta$  (...)

O correto é “perpendicularmente” ao eixo.

Continuando na página 128, lemos:

Entretanto, a repartição das acções moleculares poderá se elucidada, desde que, após a ruptura, se observem as deformações soffridas pela peça, pois é evidente que as repartições são função das deformações experimentadas pela peça. Intervem então a parte puramente experimental, sendo a natureza de tal função dependente das propriedades proprias de cada corpo considerado. Assim, suppondo-se que a peça considerada é de comprimento muito grande em relação ás suas dimensões transversais, admite-se e a experiencia mostra que nos aproximamos da verdade, que a secção  $\alpha \beta$  estando sufficientemente distante das duas extremidades da peça de *materia elastica*, os alongamentos de todos os pontos de  $\alpha \beta$  são iguais entre si, bem como são entre si iguais as acções moleculares nesses diversos pontos. Ou, em outras palavras, as acções moleculares se distribuem *uniformemente*. Assim sendo, a fôrça que age na unidade de superficie da secção  $\alpha \beta$ , de area igual a  $S$ , será:

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad (28)$$

A esta relação chama-se *acção molecular especifica*, na escola allemã, de *trabalho elastico* na escola francesa, ainda, impropriamente, *tensão especifica* (1)<sup>19</sup> A noção de trabalho elastico nada tem que ver com a noção de trabalho physico.

A noção de trabalho elastico representa papel importantissimo na Resistencia dos Materiais, pois para cada material há um limite além do qual não se poderá ir, sob pena de se verificar a ruptura da peça, ou pelo menos transformações sensiveis na natureza íntima do material.

## Análises e comentários

<sup>19</sup> (1) Muitos ainda chamam-na de **fadiga**, simplesmente.

(...) a repartição das acções moleculares poderá se elucidada, desde que, após a ruptura, se observem as deformações sofridas pela peça, pois é evidente que as repartições são função das deformações experimentadas pela peça.

Aqui há uma inversão: a deformação é que é função da força. A deformação resulta da aplicação da força e não o contrário.

(...) propriedades próprias (...)

Pleonasmo a ser evitado.

(...) comprimento muito grande em relação às suas dimensões transversais (...)

Um leitor teria o direito de perguntar o que significa “muito grande”.

(...) a fôrça que age na unidade de superfície da secção  $\alpha \beta$ , de area igual a S, será:

$$\sigma = \frac{P}{S}$$

Está errado:  $\sigma$  não é “força que age na unidade de superfície”.

$\sigma$  é o resultado da divisão de uma força pela área da superfície na qual ela atua.

Ação molecular específica, trabalho elástico, tensão específica, tensão...

Diferentes nomes para uma mesma grandeza; eventualmente, levarão a uma interpretação errônea do conceito de tensão.

À página 149, lemos:

#### Lei de Hooke.

Os ensaios de extensão estudados para o caso de certos materiais, como por exemplo, o aço doce, mostram que, não se ultrapassndo certo limite, os alongamentos são proporcionais aos esforços applicados, e mais, que para um dado esforço, os alongamentos são proporcionais, directamente, ao comprimento da peça, e inversamente proporcionais a secção transversal.

Suponhamos que o comprimento inicial da peça seja  $l$ , que o alongamento observado seja  $\Delta l$ , e que  $\sigma$  seja o trabalho elastico correlativo. Ao quociente

$$\frac{\Delta l}{l}$$

chamaremos  $\varepsilon$ , *deformação específica*, que será uma dilatação específica no caso de um esforço tractivo. Então, conforme a experiencia, podemos escrever

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \alpha \cdot \sigma \quad (38)$$

onde  $\frac{1}{E}$  é um coeficiente de proporcionalidade, função das propriedades do material em estudo. Ao denominador E chama-se *coeficiente de elasticidade longitudinal*, e para seu valor inverso  $\alpha$ , não temos uma denominação bem apropriada em português e preferimos a denominação francesa – *coeficiente de souplesse directa*.

A deformação específica  $\varepsilon$  é um numero abstracto, pois é o resultado da divisão de duas grandezas expressas na mesma unidade. Consequentemente, a fórmula (38) nos mostra que o coeficiente E é expresso nas unidades do trabalho elastico, isto é, em Kgs./cm<sup>2</sup>.

O coeficiente de elasticidade E, tambem chamado *módulo de elasticidade longitudinal* (2)<sup>20</sup>, (...)

## Análises e comentários

(...) ensaios de extensão (...)

Trata-se de ensaios de tração.

---

(...) aço doce (...)

Essa designação está e desuso. Atualmente, denomina-se “aço baixo-carbono”.

---

(...) esforço tractivo (...)

A palavra “esforço” não é apropriada; os dicionários não registram a palavra “trativo”. O correto seria “força de tração”.

---

À página 151, lemos:

Considerando as fórmulas (28) e (38), podemos escrever

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{ES}$$

Expressão da lei de elasticidade, lei de Hooke, (1)<sup>21</sup> que é verdadeira para muitos materiais mas não todos (...)

<sup>20</sup> (2) Denominação de Young – “Curse of lectures os nat. phil.” - London - 1807.

<sup>21</sup> “Phil. tract. and collections” – London – 1679. – Anagramma de Hooke – “Ut tensio sic vis” – pag.71 da “Histoire de la Physique” de Edmond Hoppe, Paris, Payot, 1ª edição traduzida.

Correspondência entre a simbologia e a nomenclatura usadas por Lacerda e a simbologia e a nomenclatura usadas atualmente			
simbologia e nomenclatura usadas por Lacerda		simbologia e nomenclatura usadas atualmente	
$l$		$l$	
$S$		$A$	
$P$		$P$	
$\Delta l$		$\delta$	
$\varepsilon$		$\varepsilon$	
$E$		$E$	
ação molecular específica ou trabalho elástico ou tensão específica	$\sigma = \frac{P}{S}$	tensão	$\sigma = \frac{P}{A}$
alongamento	$\Delta l = \frac{P l}{E S}$	deformação linear	$\delta = \frac{P l}{E A}$
deformação específica	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$	deformação específica	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$
coeficiente de elasticidade ou módulo de elasticidade logitudinal	$E$	módulo de elasticidade	$E$
	$\varepsilon = \frac{1}{E} \sigma$	relação entre tensão e deformação específica	$\sigma = E \varepsilon$

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	170 x 235
número de páginas de Resistência dos Materiais	650
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos (exemplos)	104
<b>Figuras</b>	
número de figuras	224
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{224}{650} = 0,345$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	260
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{260}{650} = 0,400$

<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	115
<b>Autores referidos</b>	
número de citações	415
número de autores citados	135
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	86

<b>Autores referidos</b>	
1	Robert Hooke
2	Julius Carl von Bach
3	Siméon Denis Poisson
4	Ludwig von Tetmayer
5	C. L. M. H. Navier
6	Jacob Bernoulli
7	Leonhard Paul Euler
8	Charles-Augustin Coulomb
9	Karl Culmann
10	William J. M. Rankine
11	B. P. É. Clapeyron
12	August Wöhler
13	Christian Otto Mohr
14	James Clerk Maxwell
15	Baumann
16	Alberto Castigliano
17	Emil Winkler
18	Luigi Federico Menabrea
19	Jacques Antoine C. Bresse
20	Johann Wilhelm Ritter
21	Maurice Lévy
22	Bertrand deFontviolant
23	Considère
24	Friedrich Engesser
25	August Föppl
26	Camillo Guidi
27	Gabriel Lamé
28	Augustin C. M. Mesnager
29	Pigeaud
30	Duplaix
31	Amsler
32	M. d'Ocagne
33	L. J. V. Resal
34	Müller- Breslau
35	Mesnager
36	Weyrauch
37	F. Campus
38	Bauschinger
39	Young
40	Krüger
41	R. Planck
42	Coker
43	Hütte

44	Schüle
45	Lang
46	Hopkinson
47	Tresca
48	Saint-Venant
49	Grashof
50	Poncelet
51	Miguel Letelier
52	Foerster
53	Morley
54	Johnson
55	Perbal
56	Nasi
57	Rabozée
58	Tenot
59	Winkler
60	Tremont
61	Matiotte
62	Raul Buich
63	Pugno
64	F. Dumas
65	F. Masi
66	Flavio Suplicy de Lacerda
67	Keck
68	Heinemann
69	Neumann
70	Cologovic
71	Manet
72	Rabut
73	Ariovaldo Viana
74	Luiz G. de São Tiago
75	Mário Whately
76	Luis Wèwe
77	Pigeaud
78	Kirsch
79	M. Keelhoff
80	Lagrange
81	Colligno
82	Basquin
83	Rodolpho Baptista de São Tiago
84	Perry
85	Ströbel
86	H. Kayser
87	Novat
88	Laissle
89	Möller
90	Krohn
91	Scharowski
92	Luis Perbal
93	Natalis
94	Usinger
95	Brethower
96	Fairbairn
97	Launhardt
98	Karman
99	E. Elwitz
100	Fernand Dumas
101	Moersch

102	Mendonça Moreira
103	Chaudy
104	Carnot
105	Appel
106	Dautheville
107	Flamard
108	Takabeya
109	Thomas
110	Augusti
111	Culmann
112	Gerber
113	Bertot
114	Braun
115	Tolle
116	Bantlin
117	Werner
118	Maurice Koechlin
119	Marbec
120	Lossier
121	Pujol Junior
122	Felipe dos Santos Reis
123	E. Flamard
124	Maxwell
125	Jorini
126	H. Meoli
127	Marcolongo
128	Fresnel
129	Hertz
130	E.G. Coker
131	G. Colonetti
132	H. Favre
133	Stephen P. Timoshenko
134	Vierendeel

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	2
2	objetividade	2
3	clareza	3
4	precisão	3
5	didática	2
6	coerência	3
7	elegância	3
8	rigor	3
9	correção	3
10	sobriedade	3
11	adequação	3
12	correção gramatical	3
13	fundamentação	3
	total	36
	média	2,77

**4.10. Livro 6**  
**“Resistência dos Materiais”**  
 S. Timoshenko  
 1945

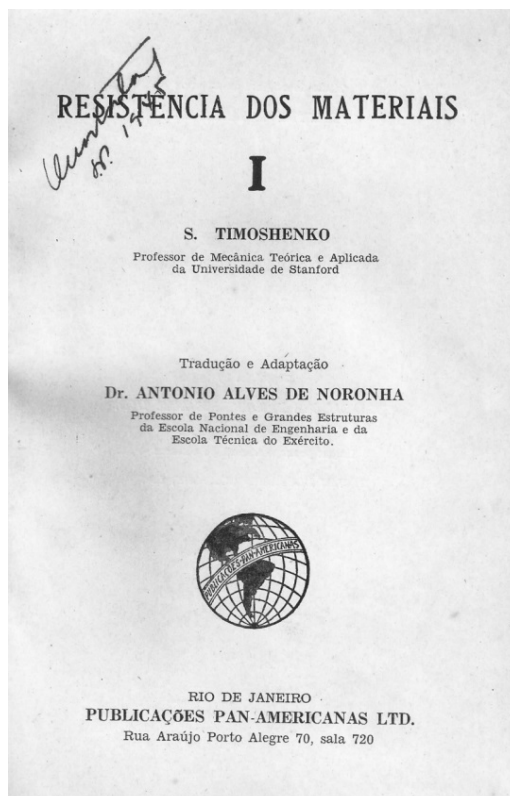


Figura 72. Frontispício do volume 1.

À página 11, lemos:

**PREFÁCIO DA PRIMEIRA EDIÇÃO**

Atualmente, manifestou-se mudança acentuada no critério dos engenheiros que projetam, tendendo para a aplicação dos métodos analíticos na solução dos problemas de engenharia. A base principal do projeto não é mais a fórmula empírica. A importância dos métodos analíticos, associados aos ensaios de laboratório, impoz-se na solução dos problemas técnicos.

Os tipos de máquinas e de estruturas estão mudando muito rapidamente, de modo especial nos novos campos da indústria e, em geral, o tempo não permite que se acumulem os dados empíricos necessários. O tamanho e o custo das estruturas estão aumentando constantemente, criando, dêste modo, exigência severa de maior confiança nas estruturas. O fator econômico no projeto tornou-se de importância fundamental nas atuais condições de concorrência. A construção deve ser suficientemente forte e segura e, ainda, projetada com a maior economia possível de material. Nestas condições, o problema de um engenheiro projetista torna-se



extremamente difícil. A redução no pêso próprio acarreta um aumento nas tensões admissíveis, o que se pode ser conseguido com segurança, tendo por base uma análise cuidadosa da distribuição de tensões na estrutura e uma investigação experimental das propriedades mecânicas dos materiais empregados.

O objetivo dêste livro é apresentar problemas que dirijam a atenção do estudante para as aplicações práticas do assunto. Se isto for atingido e tiver como resultado, numa certa medida, correlação maior entre os estudos de resistência dos materiais e os projetos de engenharia ter-se-á dado um grande passo à frente.

O livro está dividido em dois volumes. O primeiro contém, principalmente, a matéria que é, em geral, dada nos cursos de resistência dos materiais de nossas escolas de engenharia. As partes mais elevadas do assunto interessam, mais de perto, aos estudantes dos cursos superiores e aos engenheiros de pesquisas, e estão expostas no segundo volume do livro. Êste contém, ainda, os novos desenvolvimentos de importância prática no campo da resistência dos materiais.

Escrevendo o primeiro volume da resistência dos materiais, atendeu-se à simplificação de tôdas as deduções, tanto quanto possível, de modo que o estudante com o preparo de matemática usual, fôsse capaz de estudá-las sem dificuldade.

(...)

O livro é ilustrado com numerosos problemas cujas soluções são dadas. Em muitos casos, os problemas são escolhidos de modo a desenvolver o assunto dado no texto e a ilustrar a aplicação da teoria na solução dos problemas do projeto. Espera-se que êstes problemas sejam de interesse para fins didáticos e também úteis aos engenheiros projetistas. (...)

Ann Arbor, Michigan.  
1 de maio de 1930.

S. Timoshenko

## **Análises e comentários**

Atualmente, manifestou-se mudança acentuada no critério dos engenheiros (...)

Como esse prefácio foi escrito em 1930, pode ser lido hoje como parte da história da engenharia.

O objetivo dêste livro é apresentar problemas que dirijam a atenção do estudante para as aplicações práticas do assunto.

A preocupação com a formação de engenheiros foi um traço marcante em Timoshenko.

O livro está dividido em dois volumes.

Esse “formato” escolhido por Timoshenko, deixando para o segundo volume a parte mais avançada da Resistência dos Materiais, é muito interessante do ponto de vista da didática.

Escrevendo o primeiro volume da resistência dos materiais, atendeu-se à simplificação de tôdas as deduções, tanto quanto possível, de modo que o estudante com o preparo de matemática usual, fôsse capaz de estudá-las sem dificuldade.

Aqui, Timoshenko refere-se ao Cálculo Diferencial e Integral, normalmente ensinado nos dois primeiros anos dos cursos de engenharia. Ou seja, apesar das “simplificações” que diz ter feito no primeiro volume, Timoshenko conta com a capacidade do estudante em relação ao Cálculo.

O livro é ilustrado com numerosos problemas (...)

O que Timoshenko considera “numerosos problemas”, hoje, seria um número irrisório.

Espera-se que êstes problemas sejam de interêsse para fins didáticos e também úteis aos engenheiros projetistas. (...)

De fato, notamos que os problemas propostos por Timoshenko têm consistência e levam o estudante a enfrentar situações que, pelo menos, se aproximam da realidade.

À página 21, lemos:

## RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

### PARTE I

### CAPÍTULO I

### TRAÇÃO E COMPRESSÃO ENTREOS LIMITES ELÁSTICOS

**1. Elasticidade.** – Admitimos que um corpo é constituído de pequenas partículas ou moléculas, entre as quais estão atuando fôrças. Estas fôrças moleculares opõem-se à mudança de forma que fôrças exteriores tendem a produzir. Se estas fôrças exteriores são aplicadas no corpo, suas partículas deslocam-se e os deslocamentos mútuos continuam até que o equilíbrio entre as fôrças exteriores e interiores seja estabelecido. Diz-se, então, que o corpo está num *estado de deformação*. Durante a deformação, as fôrças exteriores que estão atuando num corpo produzem trabalho, o qual é transformado completa ou parcialmente em *energia potencial de deformação*. Como exemplo dêste acúmulo de energia potencial num corpo deformado, citaremos o caso da corda de relógio. Se as fôrças que produziram a deformação do corpo diminuírem gradualmente, o corpo volta total ou parcialmente à sua forma inicial e, durante esta deformação inversa, a energia potencial de deformação acumulada no corpo, pode ser recuperada sob a forma de trabalho exterior.

Tomemos, por exemplo, uma barra prismática carregada na extremidade, como mostra a Fig. 1.

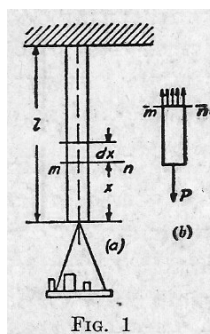


FIG. 1

Figura 73.

Sob a ação dessa carga, manifestar-se-á certo alongamento da barra. O ponto de aplicação da carga mover-se-á, então, para baixo e, durante êste movimento, a carga produzirá trabalho positivo. Quando a carga diminue, o alongamento da barra também diminua, a extremidade carregada se desloca para cima e a energia potencial de deformação transformar-se-á em trabalho, produzido pelo movimento da carga para cima.

A propriedade dos corpos de voltarem à forma inicial, após a retirada da carga, é chamada *elasticidade*. Diz-se que o corpo é *perfeitamente elástico* se recupera completamente sua forma original depois da retirada da carga; *parcialmente elástico*, se a deformação produzida pelas forças exteriores não desaparece completamente depois da retirada da carga. No caso de um corpo perfeitamente elástico, o trabalho produzido pelas forças exteriores durante a deformação, será completamente transformado em energia potencial de deformação. No caso de um corpo parcialmente elástico, parte do trabalho produzido pelas forças exteriores, durante a deformação, será perdido sob a forma de calor, o qual será desenvolvido no corpo durante a deformação não elástica. As experiências mostram que alguns materiais estruturais, como o aço, a madeira e a pedra podem ser considerados como perfeitamente elásticos entre certos limites, os quais dependem das propriedades do material. Admitindo as forças exteriores que atuam na estrutura, sejam conhecidas, constitui um problema fundamental para o engenheiro que projeta, estabelecer proporções tais para os elementos da estrutura que esta se aproxime da condição de um corpo perfeitamente elástico, sob todas as condições de trabalho. Somente sob estas condições, teremos uma utilização conveniente da estrutura, sem haver *deformação permanente* de nenhum de seus elementos.

## Análises e comentários

### TRAÇÃO E COMPRESSÃO ENTRE OS LIMITES ELÁSTICOS

Essa foi a tradução de “Tension and compression within the elastic limit”.

A tradução literal seria: “Tração e compressão no limite elástico”.

Contudo, o correto seria: “Tração e compressão abaixo do limite de elasticidade”.

Diz-se que o corpo é *perfeitamente elástico* (...)

A palavra “perfeitamente” deveria ser evitada.

À página 22, lemos:

**Lei de Hooke.** – Por meio de experiências diretas relativas à distensão de barras prismáticas (Fig. 1), estabeleceu-se, para vários materiais estruturais que o alongamento de barra, entre certos limites, é proporcional à força de tração. Esta relação linear simples entre a força e o alongamento que ela produz foi formulada, primeiramente, em 1678, pelo cientista inglês Robert Hooke<sup>22</sup> e recebeu o seu nome. Adotando-se as notações:

P	=	fôrça que produz a distensão da barra,
l	=	comprimento da barra,
S	=	área da seção transversal da barra,
$\delta$	=	alongamento total da barra,

<sup>22</sup> Robert Hooke, De Potentia restitutiva, Londres, 1678.

$E$  = constante elástica do material, chamada *módulo de elasticidade*,

a lei experimental de Hooke pode ser dada pela seguinte equação:

$$\delta = \frac{P l}{S E} \quad (1)$$

O alongamento da barra é proporcional à força de tração e ao comprimento da barra, e inversamente proporcional à área da seção transversal e ao módulo de elasticidade. Ao fazermos ensaios de tração, tomamos, comumente, precauções com o fim de assegurar uma aplicação axial da força de tração. Dêste modo, prevenimos contra qualquer flexão da barra. Não se considerando as partes da barra situadas na vizinhança das forças aplicadas<sup>23</sup>, pode admitir-se que, durante a tração, todas as fibras longitudinais da barra prismática sofrem o mesmo alongamento e que as seções transversais da barra, originariamente planas e perpendiculares a seu eixo, permaneçam assim depois da distensão.

Ao estudarmos a grandeza das forças interiores, imaginemos a barra cortada em duas partes por uma seção transversal  $mn$  e consideremos o equilíbrio da parte inferior da barra (Fig. 1). Na extremidade inferior desta parte está aplicada a força de tração  $P$ . Na extremidade superior estão atuando as forças que representam a ação das partículas da parte superior da barra deformada, sobre as partículas da parte inferior. Estas forças estão distribuídas continuamente sobre a seção transversal. Um exemplo comum desta distribuição contínua de forças sobre uma superfície, é a pressão hidrostática ou pressão de vapor. Lidando com forças distribuídas continuamente, é de grande importância a intensidade da força, isto é, a força por unidade de área. Em nosso caso de tração axial, no qual todas as fibras têm um mesmo alongamento, a distribuição de forças sobre a seção transversal  $mn$  será *uniforme*. Levando-se em conta que a soma destas forças, pela condição de equilíbrio (Fig. 1), deve ser igual a  $P$  e representando-se a força por unidade de área da seção transversal por  $\sigma$ , obteremos

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Esta força por unidade de área é chamada *tensão*. No que se segue, a força será medida em quilogramas e a área em centímetros quadrados, de modo que as tensões serão medidas em quilogramas por centímetro quadrado. O alongamento da barra por unidade de comprimento, é determinado pela equação

$$\varepsilon = \frac{\delta}{l} \quad (3)$$

e é chamado alongamento relativo ou deformação de tração. Empregando-se as equações (2) e (3), a lei de Hooke pode ser representada da seguinte forma

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (4)$$

e o alongamento relativo é calculado facilmente, contanto que a tensão e o módulo de elasticidade do material sejam conhecidos. O alongamento relativo  $\varepsilon$  é um número abstrato, representando a relação entre dois comprimentos (veja equação 3); portanto, da equação (4), conclue-se que o módulo de elasticidade deve ser medido nas mesmas unidades que as tensões  $\sigma$ , isto é, em quilogramas por centímetro quadrado.

<sup>23</sup> A distribuição de tensões, mais complexa perto dos pontos de aplicação das forças, será discutida posteriormente na parte II.

## Análises e comentários

Por meio de experiências diretas relativas á distensão de barras prismáticas (...)

Seria mais adequado dizer: por meio de ensaios de tração com barras prismáticas.

(...) a lei experimental de Hooke pode ser dada pela seguinte equação:  $\delta = \frac{Pl}{SE}$

Apesar de ter tomado o cuidado de acrescentar o “pode”, ao relacionar a equação com a “lei de Hooke”, Timoshenko deveria esclarecer que o módulo de elasticidade (E) só foi introduzido por Thomas Young, em 1807.

(...) prevenimo-nos contra qualquer flexão da barra.

Elsa foi a tradução de “in this manner any bending of the bar will be prevented”.  
A tradução literal seria: “dessa maneira, qualquer flexão da barra será evitada”.

(...) todas as fibras longitudinais da barra prismática (...)

A palavra “fibras” é inadequada quando se trata de um material não fibroso como, por exemplo, o aço.

Ao estudarmos a grandeza das forças interiores (...)

Essa foi a tradução de “In discussing the magnitude of internal forces”.  
A palavra “grandeza” não é adequada. O correto seria “magnitude” ou “intensidade”.

No que se segue, a força será medida em quilogramas (...)

A palavra “quilogramas” está incorreta: a palavra correta é “quilogramas”. Além disso, “quilograma” não é unidade de força. O correto seria “quilograma-força”.

Correspondência entre a simbologia e a nomenclatura usadas por Timoshenko e a simbologia e a nomenclatura usadas atualmente	
simbologia e nomenclatura usadas por Lacerda	simbologia e nomenclatura usadas atualmente
$l$	$l$
$S$	$A$
$P$	$P$
$\delta$	$\delta$
$\varepsilon$	$\varepsilon$
$E$	$E$

tensão	$\sigma = \frac{P}{S}$	tensão	$\sigma = \frac{P}{A}$
alongamento	$\delta = \frac{P l}{E S}$	deformação linear	$\delta = \frac{P l}{E A}$
alongamento por unidade de comprimento ou alongamento relativo ou deformação de tração	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$	deformação específica	$\varepsilon = \frac{\delta}{l}$
coeficiente de elasticidade ou módulo de elasticidade longitudinal	$E$	módulo de elasticidade	$E$
	$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$	relação entre tensão e deformação específica	$\sigma = E \varepsilon$

## Resultados

<b>O livro em números</b>	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	170 x 235
número de páginas	394
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	218
número de problemas resolvidos	154
<b>Figuras</b>	
número de figuras	516
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{516}{394} = 1,309$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	89
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{89}{394} = 0,226$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	96
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	74
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	71

Autores referidos	
1	Andrée, W. L.
2	Andrews, E. S.
3	Arnold, R. N.
4	Arnoviećic, I.
5	Bach, C.
6	Beggs, G. E.
7	Bertot
8	Bett, E.
9	Boussinesq, I.
10	Castigliano, A.
11	Clapeyron
12	Cox, H.
13	Davidenkoff, N. N.
14	Dreyer, G.
15	Engesser, F.
16	Esling, F. K.
17	Euler, L.
18	Filon, L. N. G.
19	Finniecome, J. R.
20	Föppl, A.
21	Fuller, C. E.
22	Green, C. E.
23	Gross, S.
24	Grüneisen
25	Grüning, M.
26	Hackstroh
27	Henkel, O.
28	Hooke, R.
29	Johnston, W. A.
30	Jouravski
31	Karman, T.
32	Keck, Z.
33	Kidwell, E.
34	Kleinlogel
35	Lamé
36	Land, R.
37	Landau, D.
38	Lehr, E.
39	Love, A. E. H.
40	Marié, G.
41	Maxwell, C.
42	Menabrea, F.
43	Michell, J. H.
44	Mohr, O.
45	Moore, H. F.
46	Müller-Breslau, H.
47	Navier
48	Nisida, M.
49	Ostenfeld, A.
50	Parr, P. H.
51	Perry, J.

52	Phillips, E.
53	Pohl, K.
54	Poisson
55	Ramsauer, C.
56	Rayleigh, Lord
57	Roever, V.
58	Ros, M.
59	Saint-Venant
60	Salmon, E. H.
61	Sears, J. E.
62	Southwell, R. V.
63	Todhunter
64	Tschetsche
65	Tuzi, Z.
66	Voigt, W.
67	Wagner, I.
68	Wahl, A.
69	Wahstaff, J. E. P.
70	Welter
71	Westergaard, H. M.
72	Weyrauch, T.
73	Young, D. H.
74	Zimmermann, H.

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	3
2	objetividade	3
3	clareza	3
4	precisão	3
5	didática	3
6	coerência	3
7	elegância	3
8	rigor	3
9	correção	3
10	sobriedade	3
11	adequação	3
12	correção gramatical	3
13	fundamentação	3
	total	39
	média	3,00

### Observações finais

Timoshenko é um “divisor de águas”: a história da Resistência dos Materiais se divide em antes e depois de Timoshenko, e assim é seu livro. Infelizmente, a versão em português tem alguns erros de tradução.



**4.11.1. Livro 7 (a)**  
**“Resistência dos Materiais – Tensões”**  
 Telemaco van Langendonck  
 1956

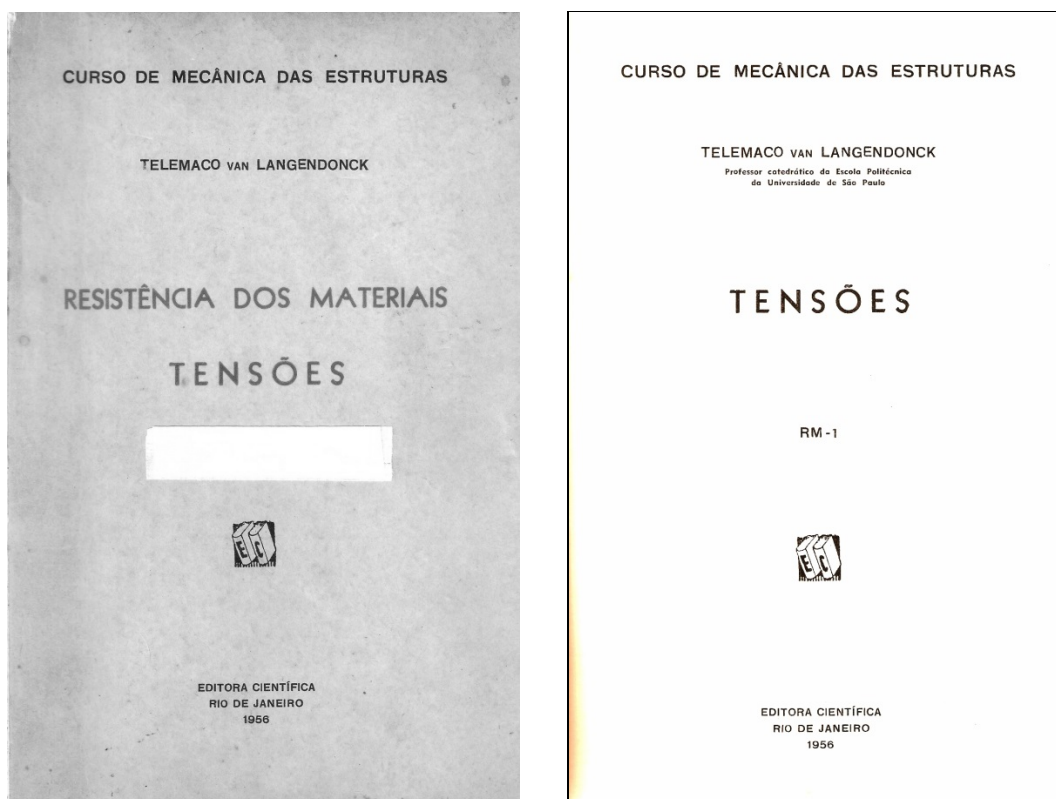


Figura 74. Capa e frontispício.

No prefácio do livro, à página VII, lemos:

Prosseguindo na publicação do Curso de Mecânica das Estruturas, iniciado com o tomo EC-1 sobre as “Vigas simples isostáticas de alma cheia”, é agora apresentado novo volume, RM-1, primeiro da série relativa à Resistência dos Materiais. É ele dedicado aos estudos das “Tensões”, abrangendo duas partes (...). Presumem-se sabidos alguns dos conhecimentos expedidos no volume EC-1 (...)

O desenvolvimento dos assuntos faz-se de acôrdo com o curso do autor na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (...)

## Análises e comentários

De fato, trata-se de uma série de livros:

1º	Vigas simples e isostáticas	EC-1	1955	203 páginas
2º	Vigas articuladas, arcos e pórticos	EC-2	?	?
3º	Resistência dos Materiais – Tensões	RM-1	1956	286 páginas
4º	Deformações I	RM-2	1960	251 páginas
5º	Deformações II	RM-3	?	293 páginas
6º	?	RM-4	?	?

A primeira observação a ser feita é relativa ao desenvolvimento da matéria em diferentes livros: isso dificulta muito o estudo. Como afirmou no prefácio de RM1, Langendonck presume que sejam “sabidos alguns conhecimentos expedidos no volume EC-1”. Assim, para ler o livro Resistência dos Materiais – Tensões é preciso, antes, ler “Vigas simples e isostáticas”.

Com base nos títulos dos livros, um leitor interessado em compreender o significado de “tensão”, que é o nosso caso, certamente imaginará que o livro no qual encontrará as explicações que procura seja “Resistência dos Materiais – Tensões”. Contudo, não é o que ocorre: Langendonck introduz o conceito de tensão no livro “Vigas simples e isostáticas”. Isso nos levará, então, a analisar primeiramente esse volume da “série de livros de Langendonck”.

**4.11.2. Livro 7 (b)**  
**“Vigas simples e isostáticas”**  
 Telemaco van Langendonck  
 1955

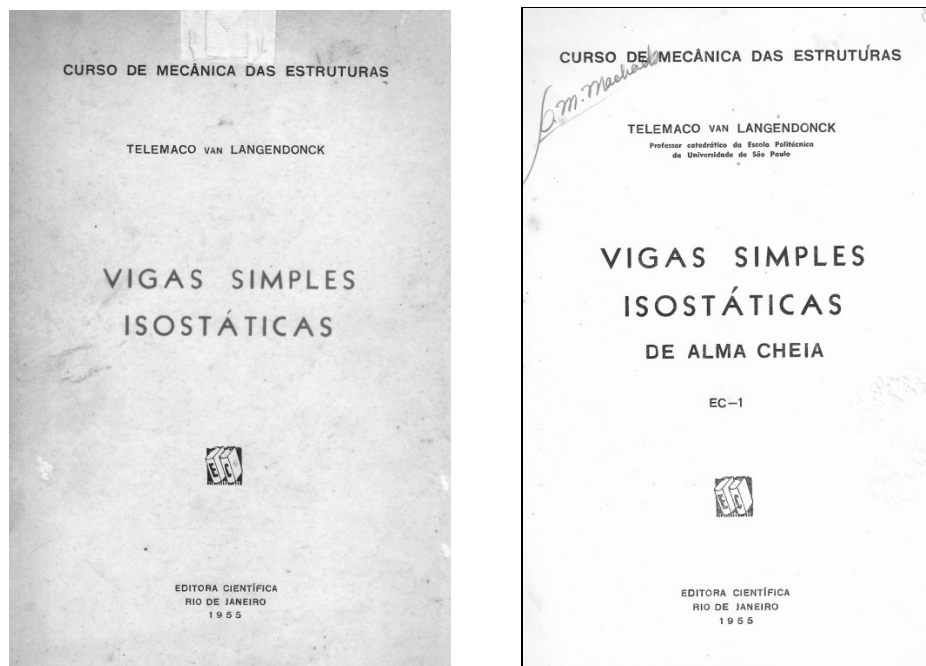


Figura 75. Capa e frontispício.

No prefácio desse livro, à página III, lemos:

Com êste volume inicia-se a publicação de uma série de livros que constituem um Curso de “Mecânica das Estruturas”, entendendo-se com essa denominação o conjunto das ciências aplicadas à engenharia de estruturas: Resistência dos Materiais, Estática das Construções, Teoria da Elasticidade e da Plasticidade. O referido Curso é a reprodução, um tanto ampliada, daquele que o autor desenvolve em suas aulas na Escola Politécnica na Universidade de São Paulo.

Os vários volumes que constam da referida série terão, tanto quanto possível, carácter independente, fazendo-se no prefácio de cada um indicação de quais dos outros já se pressupõem conhecidos os ensinamentos. (...) Dos [volumes] que tratam da *Resistência dos Materiais*, sairão em breve aqueles que se referem às tensões e deformações das barras, seguindo-se depois os correspondentes aos estudos da energia de deformação, dos critérios de resistência e os que cuidam da Teoria da Elasticidade e da Plasticidade.

Espera o autor, com a presente publicação, concorrer, embora com pequena parcela, para a divulgação em língua portuguesa, e com carácter de uniformidade, dos ensinamentos da Mecânica das Estruturas, e com isso facilitar a tarefa do estudante brasileiro, a quem especialmente ela se destina.

## Análises e comentários

Espera o autor, com a presente publicação, (...) facilitar a tarefa do estudante brasileiro, a quem especialmente ela se destina.

Assim, somos informados que a série de livros é dirigida a estudantes e que, com ela, o autor espera facilitar o estudo e a aprendizagem da matéria apresentada.

---

À página 1, lemos:

### CAPÍTULO I

#### NOÇÕES PRELIMINARES

##### 1. Definições.

Neste parágrafo procurar-se-á dar uma noção de sentido atribuído a vários vocábulos, no decorrer do Curso.

À página 4, lemos:

(...)

Tôda estrutura se acha sob a acção de *esforços externos*, como, por exemplo, os oriundos de seu pêso próprio ou da aplicação de cargas (*activos*) e as reacções de apoio (*reactivos*). A transmissão dêsses esforços se faz através da estrutura, havendo solicitação de seu material, isto é, uma causa de alteração da posição relativa de suas moléculas. Àquela solicitação, o material opõe certa resistência, que se manifesta sob a forma de *esforços resistentes*, denominados *tensões*, cuja intensidade se mede por unidade de área de uma secção plana da estrutura. Êles podem sempre decompor-se em tensões situadas no plano da secção, denominadas *tensões tangenciais* ou de *cisalhamento*, e em tensões *normais* a êsse plano, que serão de *tracção* ou de *compressão*, conforme se oponham a um afastamento ou a uma aproximação dos elementos do material.

Quando a secção considerada da estrutura é a secção transversal de uma das barras que a compõem, dá-se, à resultante de tôdas as tensões tangenciais que aí actuam, o nome de *fôrça cortante* e à das tensões normais o de *fôrça normal*; aquela estará contida no plano da secção e esta lhe será perpendicular, tomando ainda o nome de *fôrça normal de tracção* ou de *compressão* conforme se dirija da secção para fora ou vice-versa.

## Análises e comentários

Tôda estrutura se acha sob a acção de *esforços externos* (...)

Essa afirmação nos parece exagerada. Podemos, por exemplo, supor uma estrutura no espaço, livre da ação de qualquer campo gravitacional. Essa estrutura estaria livre da ação de forças externas.

---

(...) *esforços externos* (...)

A utilização da palavra “esforços”, nesse texto, está incorreta. De acordo com o Dicionário Houaiss:

Esforço

- 1 intensificação das forças físicas, intelectuais ou morais para a realização de algum projeto ou tarefa;
- 2 aquilo que se faz com dificuldade e empenho; trabalho, empreendimento, obra;
- 3 intensificação de atividade, quando esta se acha de alguma forma bloqueada; estimulação, animação.

No lugar de “esforços” deveria ser usada a palavra “forças” ou a palavra “cargas”.

(...) *esforços resistentes* (...)

Como já dissemos, o correto seria “forças resistentes” ou “cargas resistentes”.

Àquela solicitação, o material opõe certa resistência, que se manifesta sob a forma de *esforços resistentes*, denominados *tensões* (...)

Aqui verificamos um erro grave: o que Langendonck chama “esforços resistentes” são forças que se desenvolvem entre as partículas que constituem o material e não “tensões”.

Para dar suporte à nossa afirmação, reproduzimos as palavras de Timoshenko, relativas ao mesmo fenômeno:

Admitimos que um corpo é constituído de pequenas partículas ou moléculas, entre as quais estão atuando forças. Estas forças moleculares opõem-se à mudança de forma que forças exteriores tendem a produzir. Se estas forças exteriores são aplicadas no corpo, suas partículas deslocam-se e os deslocamentos mútuos continuam até que o equilíbrio entre as forças exteriores e interiores seja estabelecido. (TIMOSHENKO, 1945, p. 21)

Portanto Langendonck comete um erro grave na definição do conceito fundamental da Resistência dos Materiais.

(...) *tensões*, cuja intensidade se mede por unidade de área de uma secção plana da estrutura.

Está errado: a unidade de tensão é dada por uma unidade de força dividida por uma unidade de área. Hoje, a tendência mundial é a adoção do Sistema Internacional de Unidades – SI, no qual a unidade de tensão é o pascal (Pa), que é o resultado da divisão de uma unidade de força, o newton (N) por uma unidade de área, o metro quadrado (m<sup>2</sup>):  $1\text{Pa} = \frac{1\text{N}}{1\text{m}^2}$

Êles podem sempre decompor-se em tensões situadas no plano da secção, denominadas tensões *tangenciais* ou de *cisalhamento*, e em tensões *normais* a êsse plano (...)

Nessa afirmação há erros graves:

1. “Êles”, os “esforços resistentes”, não podem “decompor-se”. O que Langendonck quer dizer é que os “esforços resistentes” podem ser decompostos;
2. Como já foi dito, os “esforços resistentes”, na verdade são forças, e forças não podem ser “transformadas” em tensões. Essa não é uma operação possível.
3. Como Langendonck está considerando que “esforços resistentes” são tensões, ao afirmar que “êles”, ou seja, as tensões podem ser decompostas em tensões tangenciais e tensões normais a um plano, está propondo uma operação vetorial, ou seja, que um vetor seja decomposto nas suas componentes ortogonais. Entretanto, uma tensão não é um vetor e não pode ser tratada como tal: uma tensão não pode, simplesmente, ser decomposta em componentes ortogonais, como se faria com uma força.

(...) tensões *tangenciais* ou de *cisalhamento*, e em tensões *normais* a êsse plano, que serão de *tração* ou de *compressão*, conforme se oponham a um afastamento ou a uma aproximação dos elementos do material.

Considerando que o livro se destina a estudantes de engenharia que estão sendo apresentados à Resistência dos Materiais (Langendonck diz no prefácio: "Espera o autor com a presente publicação (...) facilitar a tarefa do estudante brasileiro."), a introdução dos conceitos de “tensão normal”, “tensão de cisalhamento”, “tração” e “compressão” dessa maneira é um grande erro, do ponto de vista da didática.

Quando a secção considerada da estrutura é a secção transversal de uma das barras que a compõem (...)

Ainda considerando o fato de que o livro se destina a estudantes que estão se iniciando no aprendizado da Resistência dos Materiais, temos aqui mais um erro, do ponto de vista da didática: essa frase deveria se limitar a “secção transversal de uma barra”. Todo o resto é inútil e só complica uma ideia simples.

Quando a secção considerada da estrutura é a secção transversal de uma das barras que a compõem, dá-se, à resultante de tôdas as tensões tangenciais que aí actuam, o nome de *fôrça cortante* e à das tensões normais o de *fôrça normal*;

Insistência num erro grave: força não é tensão.

Nesse livro, nada mais será dito a respeito de tensões. Voltemos, então, ao livro “Resistência dos Materiais – Tensões”.

### 4.11.3. Livro 7 (a)

## “Resistência dos Materiais – Tensões”

Telemaco van Langendonck  
1956

Na série de livros de Langendonck, “Resistência dos Materiais – Tensões” é classificado pelo autor como RM 1, ou seja, supostamente esse é o livro em que se inicia o curso de Resistência dos Materiais. Esperar-se-ia, portanto, que a Resistência dos Materiais e seus objetivos fossem apresentados ao leitor logo nas primeiras páginas, entretanto, isso só ocorrerá no capítulo III.

À página 78, lemos:

#### **Objectivo da Resistência dos Materiais.**

A ciência que estuda as tensões e as deformações dos corpos que delas se originam tem o nome de *Reologia*. Fazem parte da Reologia a *Mecânica das Flúidos*, que estuda os líquidos perfeitos e os gases; a *Mecânica das Matérias Plásticas*, que trata dos corpos assim impròpriamente chamados (por causa da confusão que pode haver com os materiais plásticos, sólidos perfeitos, que mais adiante se mencionam), que se situam entre os líquidos perfeitos e os sólidos perfeitos e que hoje são fabricados em grande variedade; a *Mecânica dos Solos*, que estuda os sólidos granulosos; e a *Teoria da Elasticidade e da Plasticidade*, cujo objecto são os sólidos compactos, perfeitamente elásticos ou perfeitamente plásticos. Estas duas Teorias conjuntamente com as ciências que delas provêm quando se fazem hipóteses simplificadoras, que facilitam seu emprêgo pelo engenheiro, e que são a *Resistência dos Materiais* e a *Estática das Construções* – constituem a *Mecânica das Estruturas*.

A *Estática das Construções* tem por objectivo a determinação dos esforços reactivos e dos solicitantes causados em uma estrutura por dados esforços externos activos. Quando sobre êles não influi a deformabilidade do material, podem os elementos da estrutura ser considerados como corpos rígidos e o seu estudo se faz simplesmente com os conhecimentos da *Estática*; para os outros casos, porém, não são êles suficientes para resolver os problemas da Estática das Construções, tornando-se então necessários os ensinamentos da Resistência dos Materiais.

As hipóteses simplificadoras que caracterizam a *Resistência dos Materiais*, distinguindo-a da Teoria da Elasticidade e da Plasticidade, aplicam-se, em geral, às barras definidas no § 26 e permitem estudar com relativa facilidade as tensões que nestas se manifestam como consequência dos esforços solicitantes calculados pela Estática das Construções. Os efeitos dessas tensões, como sejam, as deformações do material, os deslocamentos das estruturas, a energia dispendida, a possibilidade de ruptura do material ou de ruína da estrutura, constituem outros tantos objectos da Resistência dos Materiais. Os Capítulos que se seguem são dedicados apenas ao estudo das tensões que se manifestam nas barras de material elástico, devendo constituir assunto de outros volumes dêste Curso os demais efeitos atrás mencionados, bem como o caso das barras de material plástico. (...)

## Análises e comentários

O texto deveria apresentar ao estudante a Resistência dos Materiais e seus propósitos de modo claro, objetivo e conciso. Entretanto, não é o que acontece. Pelo contrário: o autor opta por discorrer sobre aspectos que, no momento em que o aluno está tomando contato com a disciplina, são irrelevantes, dispensáveis e só servem para confundir o neófito.

(...) barras definidas no § 26 (...)

Não nos parece adequado que, ao longo de todo o livro, o leitor seja “obrigado” a voltar ou a avançar para poder acompanhar o que está sendo dito. Pois é o que acontece em todos os volumes da coleção de livros de Langendonck.

Aqui, por exemplo, estamos no § 28, à página 78 e somos remetidos ao § 26, página 73. Lá vemos o seguinte:

### 26. Conhecimentos admitidos.

Admitem-se conhecidos todos os conceitos estudados no Capítulo I do volume deste Curso de Mecânica das Estruturas intitulado “Vigas simples isostática de alma cheia” (indicado nas citações com a designação EC – 1).

Assim, o leitor do § 28 foi mandado ao § 26 e deste, eventualmente, terá que ir ao livro EC-1

Os efeitos dessas tensões, como sejam, as deformações do material, os deslocamentos das estruturas, a energia dispendida, a possibilidade de ruptura do material ou de ruína da estrutura (...)

Cargas aplicadas numa estrutura provocam o aparecimento de tensões e deformam a estrutura. Portanto, tensões e deformações são os efeitos, as cargas aplicadas na estrutura são as causas.

Os Capítulos que se seguem são dedicados apenas ao estudo das tensões (...) devendo constituir assunto de outros volumes deste Curso os demais efeitos atrás mencionados (...)

Tendo em vista os aspectos didáticos do processo ensino-aprendizagem da Resistência dos Materiais, não podemos concordar com a separação de assuntos, como o estudo das tensões e o estudo das deformações, em diferentes livros, critério adotado por Langendonck.

Após ter introduzido o conceito de tensão no livro “Vigas simples e isostáticas”, EC – 1, sem que nada mais tivesse sido tratado a esse respeito, era de se esperar que o livro “Resistência dos Materiais – Tensões” se iniciasse com os problemas mais simples envolvendo o cálculo de tensões e que a complexidade fosse aumentando gradualmente. Contudo, mais uma vez, não é o que ocorre: Langendonck inicia o primeiro capítulo



estudando o “ESTADO DUPLO DE TENSÃO” e assim prossegue estudando assuntos que, acreditamos, só deveriam ser tratados após o leitor passar por uma fase introdutória e estar familiarizado com as questões mais simples. Nesse livro, as ideias básicas só serão apresentadas no capítulo IV.

À página 125, lemos

#### CAPÍTULO IV

### TRACÇÃO, COMPRESSÃO E CORTE

#### SECÇÃO A – TEORIA

#### 46. Fôrça normal

Diz-se que a sollicitação de uma barra é de tração simples ou de compressão simples quando o esforço solicitante (§ 26) que age em suas secções transversais reduz-se a uma fôrça normal  $N$ , respectivamente, de tracção ou de compressão. É o que se dá, por exemplo, no caso de uma barra recta traccionada ou comprimida axialmente (fig. 52).

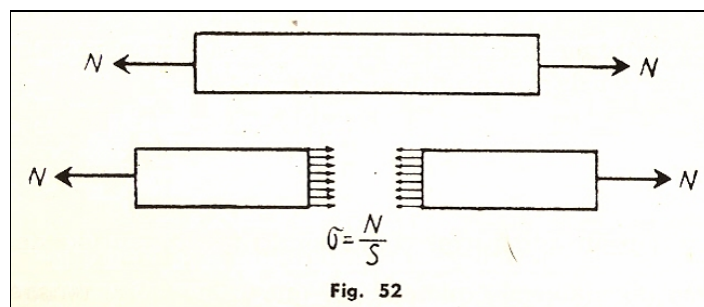


Figura 76.

Tratando-se de barra, isto é, de peça de dimensões transversais pequenas em relação ao seu comprimento, faz a Resistência dos Materiais a hipótese de que todos os seus elementos colaborem igualmente na resistência do conjunto e que, portanto, as tensões sejam as mesmas em todos os pontos da secção transversal de área  $S$ , valendo, em consequência:

$$\sigma = \frac{N}{S}$$

### Análises e comentários

Temos, portanto, que a ordem de apresentação dos assuntos, adotada por Langendonck, contraria totalmente a premissa didática de que a construção do conhecimento se faz do mais simples para o mais complexo.

---

(...) o esforço solicitante (§ 26)

Como ocorre em todo o texto, a palavra “esforço” é indevidamente usada no lugar de “força”.

O leitor, estando no parágrafo 46, é remetido ao parágrafo 26.

Diz-se que a solicitação de uma barra é de tração simples ou de compressão simples quando o esforço solicitante (§ 26) que age em suas secções transversais reduz-se a uma força normal  $N$ , respectivamente, de tração ou de compressão.

Assim, o leitor é ensinado que;

- quando uma força de tração solicita uma barra, essa barra está tracionada;
- quando uma força de compressão solicita uma barra, essa barra está comprimida;

e caso esse ensinamento ainda não tenha ficado claro, o leitor pode recorrer à fig. 52.

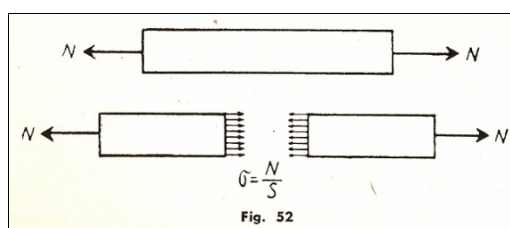


Figura 77.

Essa figura induz o leitor a pensar, erradamente, que os pequenos vetores mostrados na seção da barra são tensões ( $\sigma = \frac{N}{S}$ ).

Aqueles vetores, na seção transversal da barra, representam as forças internas ou forças de ligação entre as partículas que constituem aquelas superfícies.

Para darmos mais lastro à nossa afirmação, reproduzimos abaixo as palavras de Timoshenko, referentes a uma situação semelhante:

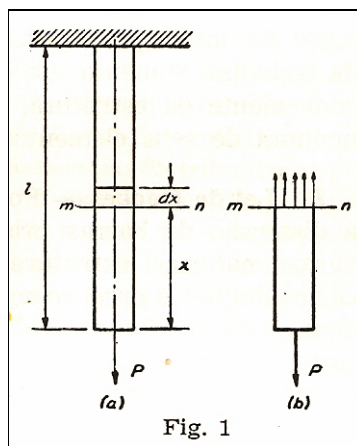


Figura 78.

Ao estudarmos a magnitude das forças interiores, imaginemos a barra cortada em duas partes por uma seção transversal  $mn$  e consideremos o equilíbrio da parte inferior da barra (Fig. 1 *b*). Na extremidade inferior desta parte está aplicada a força de tração  $P$ . Na extremidade superior estão atuando as forças que representam a ação das partículas da parte superior da barra deformada sobre as partículas da parte inferior. Estas forças estão distribuídas continuamente sobre a seção transversal.

(TIMOSHENKO, 1978, p. 25)

---

Langendonck estuda as tensões e as deformações em livros diferentes, o que nos parece bastante inconveniente.

Para darmos continuidade à nossa análise, passemos ao livro “Resistência dos Materiais – Deformações I”, RM – 2.

**Livro 7 (c)**  
**“Resistência dos Materiais – Deformações I”**  
 Telemaco van Langendonck  
 1960

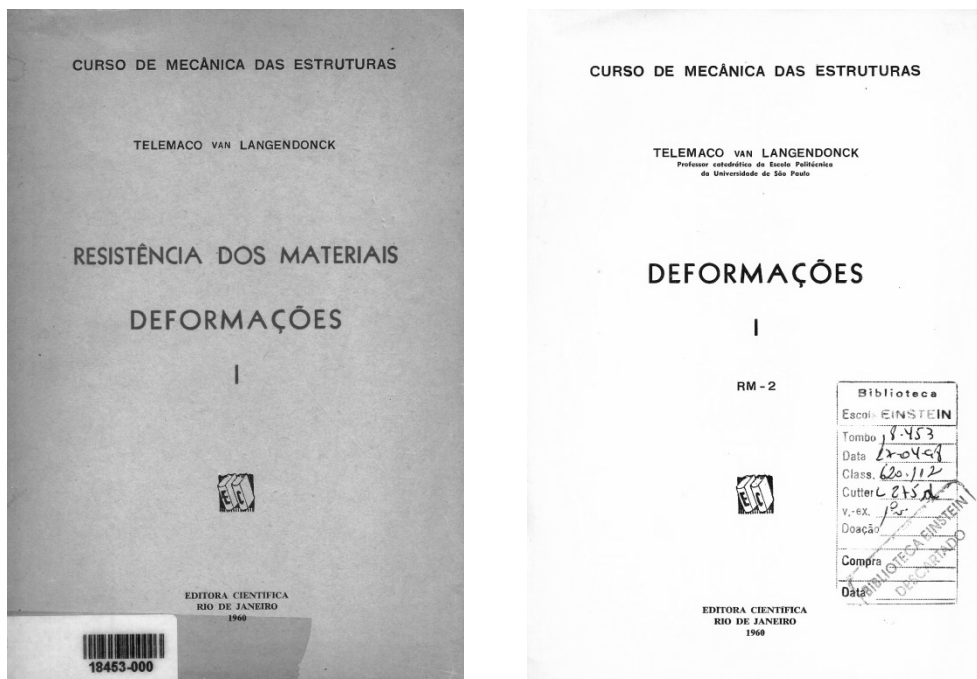


Figura 79. Capa e frontispício.

À página III, lemos:

### PREFÁCIO

O presente volume do Curso de Mecânica das Estruturas é o quarto a ser publicado e o segundo da série relativa à Resistência dos Materiais. Nele se inicia o estudo das “Deformações”, que é feito com a mesma orientação do das “Tensões” (RM-1) (...) a sub-divisão da matéria [será feita] em três volumes que serão designados por RM-2, RM-3 e RM-4 (...) Quanto aos conhecimentos necessários para a compreensão do estudo das “Deformações”, dentre os considerados em outros volumes deste Curso, veja-se o que se diz no § 26.

No § 26, à página 77, lemos:

#### 26. Conhecimentos admitidos.

Admite-se conhecido o volume deste Curso de Mecânica das Estruturas intitulado “Tensões” (indicado nas citações com a designação RM-1). Para os exemplos de aplicação também se consideram conhecidas as estruturas mais

características estudadas nos volumes “Vigas simples isostáticas de alma cheia” (EC-1) e “Vigas articuladas, arcos e pórticos triarticulados” (EC-2).

## Análises e comentários

Como já dito, discordamos da divisão da matéria em diferentes livros e, mais ainda, da divisão do estudo das deformações em três livros: RM-2, RM-3 e RM-4.

### Conhecimentos admitidos

Segundo Langendonck, para compreender o que será ensinado nesse livro (RM-2), o estudante deverá conhecer o que foi apresentado nos volumes anteriores: EC-1, EC-2 e RM-1. Como cada livro tem, em média, 250 páginas, para se iniciar no estudo das “deformações”, o autor admite que o aluno tenha estudado cerca de 750 páginas.

Esse pré-requisito nos parece irrealista, se não inviável.

Nesse volume, mais uma vez, Langendonck opta por começar do mais complexo, “ESTADO DUPLO DE DEFORMAÇÃO”, CAPÍTULO I, página 3, deixando para tratar das “NOÇÕES PRELIMINARES” no CAPÍTULO III, página 77. Entretanto, à página 4, lemos o seguinte:

Não se mantendo a posição relativa dos vários pontos do corpo, diz-se que êste se *deforma*. Podem distinguir-se dois tipos de *deformação*: uma *linear*, caracterizada pela variação da distância entre dois pontos vizinhos; outra, *angular*, que se caracteriza pela variação do ângulo entre duas linhas que ligam o ponto considerado a dois outros pontos vizinhos. A deformação linear é medida pelo *alongamento*  $\epsilon$ , assim chamada a razão entre o acréscimo de distância e a própria distância primitiva (quando negativo, corresponderá materialmente a um *encurtamento*, mas matematicamente poderá continuar sendo considerado como um alongamento negativo).

## Análises e comentários

(...) uma deformação linear é caracterizada pela variação da distância entre dois pontos vizinhos (...)

Podemos perguntar: o que são “dois pontos vizinhos”?

Podemos pensar numa deformação angular (por torção) em que a distância entre dois pontos “vizinhos” também varia.

Portanto, essa não é uma definição adequada nem precisa de deformação linear.

A deformação linear é medida pelo *alongamento*  $\varepsilon$ , assim chamada a razão entre o acréscimo de distância e a própria distância primitiva (...)

Podemos apontar, inicialmente, uma confusão de nomenclatura: a denominação é “deformação linear” ou “alongamento”?

Fosse  $\varepsilon$  “deformação linear”, ou “alongamento”, ele não poderia ser “a razão entre o acréscimo de distância e a própria distância primitiva”.

As expressões “acréscimo de distância” e “a própria distância primitiva” são totalmente inadequadas. O que Langendonck quer dizer é “deformação” (ou “alongamento”) e “comprimento da barra” (ou “comprimento inicial da barra”).

Langendonck não só confunde o leitor como o priva de informações que poderiam ser transmitidas de modo simples, claro e objetivo. Vejamos:

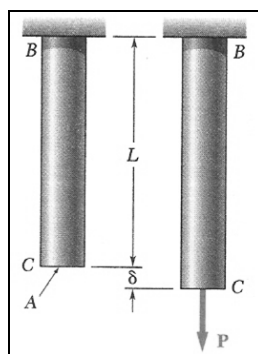


Figura 80.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Sendo:

$\varepsilon$	deformação linear específica
$\delta$	deformação
L	comprimento inicial da barra

No Capítulo III, “NOÇÕES PRELIMINARES”, à página 80, lemos:

### 29. Resultados experimentais

Para se poder realizar a experiência a que se acaba de fazer menção, é conveniente, a fim de que se possam medir os resultados, impor ao corpo em ensaio, estados de tensão que se repitam em todos os seus pontos. Para isso, costuma aplicar-se a uma barra do material em estudo uma força normal de tração ou de compressão (...)

Se se representarem em gráfico os resultados obtidos, pondo em abscissas a variação  $\Delta l$  do comprimento inicial  $l$  da barra, e, em ordenadas, a força total N de tração ou de compressão, obtêm-se, conforme o material, curvas do tipo das da fig. 27. (...)

Se nos diagramas estudados se fizer uma alteração das escalas, dividindo por  $l$  (comprimento inicial da peça) os valores das abscissas, e por  $S$  (área da seção transversal inicial da barra) os das ordenadas, obtém-se o chamado diagrama tensão-deformação característico do material em estudo. Em ordenadas ter-se-á a tensão  $\sigma = N/S$  (da fórmula 46.1 do RM-1) e em abscissas o alongamento  $\varepsilon = \Delta/l$  (da definição de alongamento no § 1 deste volume). (...)

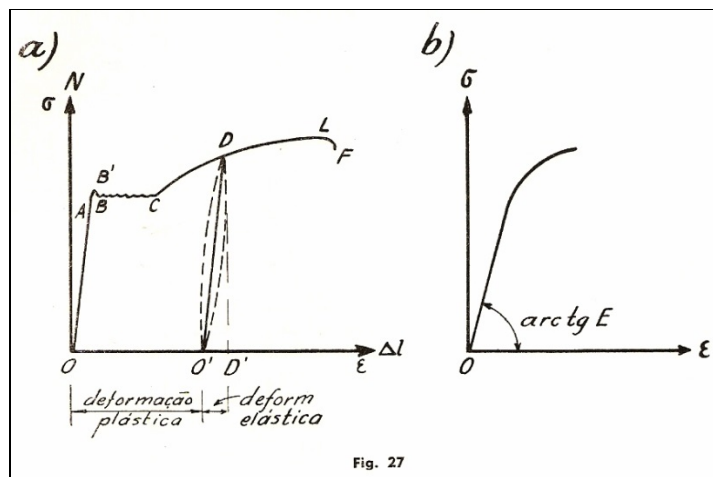


Figura 81.

## Análises e comentários

Para isso, costuma aplicar-se a uma barra do material em estudo uma força normal de tração ou de compressão (...)

Nessa afirmação há dois erros:

- nos ensaios de tração e de compressão, aos quais o autor se refere, o aspecto essencial é que a carga tenha a direção do eixo longitudinal do corpo de prova, isto é, seja axial. Embora isso implique o perpendicularismo entre a linha de ação da força e a seção transversal do corpo de prova, não é usual definir a carga a ser aplicada como “força normal” (não fazemos distinção entre os termos “força” e “carga”);
- ao dizer que “costuma aplicar-se a uma barra do material em estudo uma força normal de tração ou de compressão”, Langendonck se refere ao ensaio de tração e ao ensaio de compressão como se houvesse semelhança entre eles e como se os dois ensaios fossem realizados “costumeiramente”, o que é um erro. A esse respeito, vejamos o que diz o Engenheiro Sérgio Augusto de Sousa, Chefe do Laboratório de Ensaios Mecânicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT):

Não é frequente o emprego do ensaio de compressão para metais, porque a determinação das propriedades mecânicas por esse ensaio é dificultada pela existência de atrito entre o corpo de prova e as placas da máquina, pela possibilidade de flambagem, pela dificuldade de medida dos valores numéricos do ensaio e por outros fatores que provocam incidência considerável de erros. (SOUZA, 1974, p. 123)<sup>24</sup>

<sup>24</sup> SOUZA, Sérgio Augusto, Ensaios mecânicos de materiais metálicos. 2ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1974.

Se se representarem em gráfico os resultados obtidos, pondo em abscissas a variação  $\Delta l$  do comprimento inicial  $l$  da barra, e, em ordenadas, a força total  $N$  de tração ou de compressão, obtêm-se, conforme o material, curvas do tipo das da fig. 27. (...)

- A expressão “força total”, aqui, não tem significado;
- Mais uma vez, Langendonck sugere que uma força de tração ou de compressão seja aplicada, sendo que se trata de ensaios completamente diferentes;
- Langendonck sugere também que as curvas mostradas na fig. 27 seriam obtidas tanto num ensaio de tração quanto num ensaio de compressão. Está errado: curvas obtidas nesses dois ensaios não são, sequer, semelhantes;
- Langendonck sugere que seja traçado um gráfico em que nas abscissas sejam registradas as deformações e nas ordenadas as cargas. Esse gráfico não teria utilidade e não é usado. Aqui caberia uma explicação ao leitor do porquê um diagrama  $N \times \Delta l$  não é usado, mas Langendonck não o faz.

A respeito da “figura 27”:

- Não poderia ter sido usada a mesma curva para representar dois diagramas diferentes: um deles seria carga versus deformação ( $N \times \Delta l$ ) e o outro seria tensão versus deformação específica ( $\sigma \times \Delta l / l$ );
- As indicações de “deformação plástica” e “deformação elástica” estão completamente erradas, conforme mostra o diagrama seguinte:

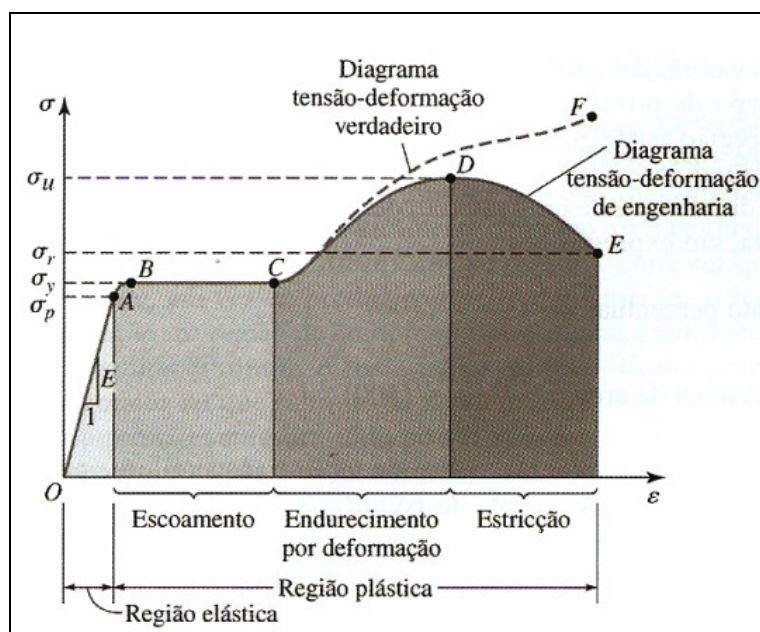


Figura 82. (UGURAL, 2009, p. 79)<sup>25</sup>

<sup>25</sup> UGURAL, A. C. Mecânica dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., 2009.



Para introduzir o “módulo de elasticidade”, Langendonck percorre um longo caminho, da página 81 à página 85, fazendo várias considerações que nos absteremos de comentar.

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	160 x 232
número de páginas	EC-1: 203; RM-1: 285; RM-2: 251; total = 739
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos	?
<b>Figuras</b>	
número de figuras	?
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \text{---} = 0,$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \text{---} = 0,$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	0
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	?
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	0

### Autores referidos

O fato de a obra ser fragmentada em diversos livros em que diferentes assuntos são tratados, além de dificultar a obtenção dessa informação, torna-a sem muito valor para este estudo.

### Avaliação geral

		pontos
1	concisão	1
2	objetividade	1
3	clareza	1
4	precisão	1

5	didática	1
6	coerência	1
7	elegância	1
8	rigor	2
9	correção	1
10	sobriedade	1
11	adequação	1
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	1
	total	15
	média	1,15

### A matemática usada no livro

Langendonck usa intensamente o Cálculo Tensorial tornando complexas passagens que em outros autores são relativamente simples.

### Observações finais

O conjunto da obra é confuso. Como livros-texto de Resistência dos Materiais são péssimos. Um aluno iniciante enfrentaria grandes dificuldades com esses livros.

**4.12. Livro 8**  
**“Resistência dos Materiais”**  
 Jayme Ferreira da Silva Jr.  
 1962

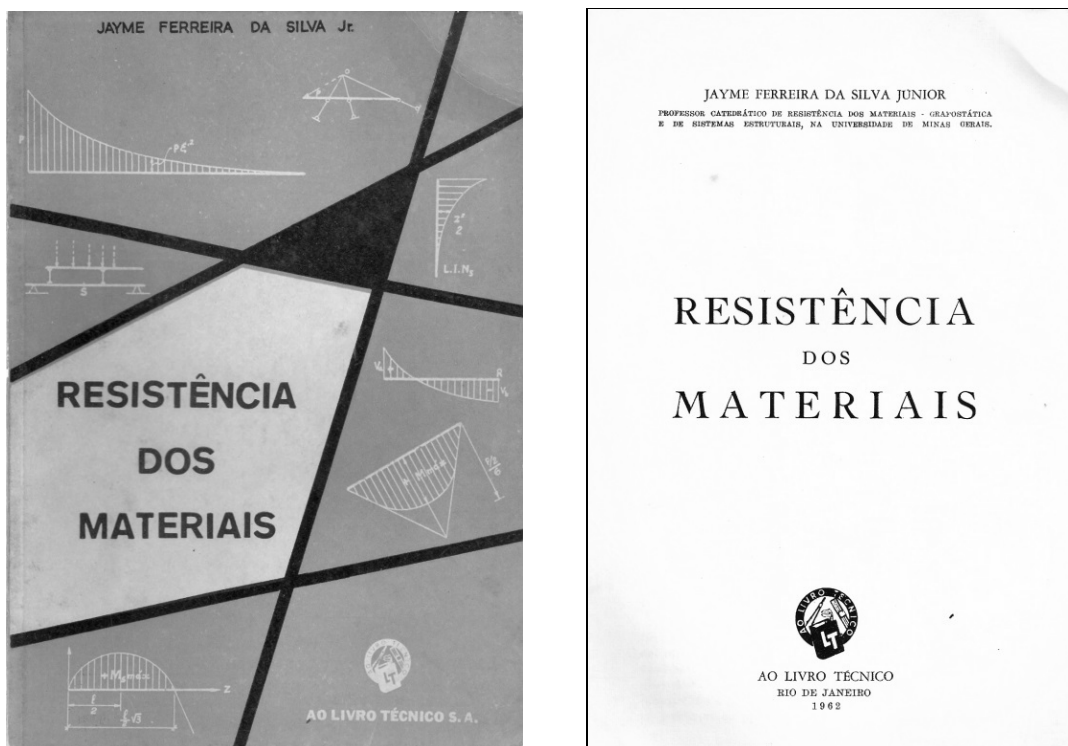


Figura 83. Capa e frontispício.

À página 5, lemos:

**PREFÁCIO**

Este livro é, de certa forma, o resultado da experiência que o seu autor adquiriu, quer como Assistente de Resistência dos Materiais. Estabilidade das Construções, na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo; quer como professor catedrático de Resistência dos Materiais. Grafostática, na Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais; quer como professor catedrático de Sistemas Estruturais, na Escola de Arquitetura da U. M. G. Além disso, muito contribuiu, e diretamente sobre este livro, a experiência adquirida no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, e, também, como simples engenheiro.

Dedicando-se às atividades didáticas, a partir de 1946, procurou suprir as deficiências da não existência de um livro texto, com a publicação de inúmeras apostilas, tanto no campo da Resistência dos Materiais, como no da Estática das Construções. Sua intenção era transformá-las em livro; é o que, na parte de Resistência dos Materiais, conseguiu fazer, com a publicação desta obra.

(...) O que aqui se considera, entre outros assuntos correlatos, é o estudo das tensões e das deformações, principal objetivo da Resistência dos Materiais. (...)

Embora alguma coisa possa haver de original, neste livro, quanto à forma de expôr e quanto à maneira de encarar os assuntos, a verdade é que procuramos menos

a originalidade do que, de forma simples e didática, auxiliar àqueles que não de se iniciar nestes estudos (...)

Em particular, esperamos ter contribuído, não só para simplificar os estudos nas nossas escolas superiores, de Engenharia ou de Arquitetura, como, também, auxiliar os professores, nas atividades didáticas. (...)

## Análises e comentários

(...) e, também, como simples engenheiro.

Após apresentar seu currículo com altos títulos acadêmicos, o autor termina o parágrafo com “e, também, como simples engenheiro”. Houvesse omitido o “simples” e não haveria problema. Entretanto, com a inserção do adjetivo “simples”, Silva criou uma hierarquia, na qual o professor está “acima” do engenheiro.

Isso não é correto.

Dedicando-se às atividades didáticas, a partir de 1946, procurou suprir as deficiências da não existência de um livro texto (...)

O livro que estamos analisando foi publicado em 1962. Nessa época, além do livro de Flavio Suplicy de Lacerda, que estava na terceira edição, havia os livros de Telemaco van Langendonck, o de Timoshenko, o de William Nash etc. Portanto, a alegação da “não existência de um livro texto” não procede.

(...) a verdade é que procuramos menos a originalidade do que, de forma simples e didática, auxiliar àqueles que não de se iniciar nestes estudos (...)

Direcionando o livro para o estudante iniciante, o autor supõe que sua apresentação do assunto seja “simples e didática”. Contudo, em muitas passagens, o livro não é claro, sua didática deixa muito a desejar e um estudante iniciante, sem outra fonte de informação, enfrentaria dificuldades para compreender a Resistência dos Materiais.

No capítulo I:           Solicitação axial  
                                   Corte  
                                   Torção

à página 13, lemos:

**A**

### Generalidades

1. **Barra tracionada** – No que se segue é suficiente considerar os corpos reais, supostos isotropos e homogêneos, como se fôssem constituídos de pequenas partículas, ligadas entre si por esforços de tração. Supõe-se que, com a aplicação dos

esforços externos, as partículas do corpo se deslocam. E que êsses deslocamentos prossigam até que se atinja uma situação de equilíbrio entre os esforços externos aplicados e os esforços internos resistentes (que se manifestam nos diversos pontos do corpo sob a forma de tensões). Atingido o equilíbrio, diz-se que o corpo se encontra num *estado de deformação*, correspondente à *solicitação* que lhe foi imposta.

Todavia, durante a aplicação dos esforços externos, e a conseqüente deformação do corpo, êsses esforços realizam um *trabalho*, porquanto os seus pontos de aplicação se deslocam durante a deformação do corpo. Êsse *trabalho externo* é transformado, completa ou parcialmente, em *energia potencial de deformação*; nessas condições, se retirarmos o sistema de esforços que deu origem à deformação, o corpo retomará, total ou parcialmente, a forma e as dimensões iniciais. Pode-se, assim, recuperar, sob a forma de trabalho externo, aquela energia potencial interna que havia sido armazenada no corpo.

## Análises e comentários

(...) é suficiente considerar os corpos reais, supostos isótropos e homogêneos (...)

Como a proposta do autor é escrever “de forma simples e didática àqueles que hão de se iniciar nestes estudos”, aqui, necessariamente, deveria haver uma explicação sobre “corpos reais”, “corpos isótropos” e “corpos homogêneos”.

(...) corpos (...) constituídos de pequenas partículas, ligadas entre si por esforços de tração.

- “Pequenas partículas”: trata-se de um pleonasma. Bastaria dizer “partículas”;
- “esforços”: a palavra, usada constantemente pelo autor, como fez seu professor Telemaco van Langendonck, não é adequada. Não há “esforços” entre as partículas; o que há entre as partículas são interações chamadas “forças”;
- “partículas ligadas entre si por esforços de tração”: essa é uma “meia verdade. Sabemos que entre as partículas elementares há forças de atração e forças de repulsão e que é o equilíbrio entre essas forças que proporciona a estabilidade da matéria.

(...) equilíbrio entre os esforços externos aplicados e os esforços internos resistentes (que se manifestam nos diversos pontos do corpo sob a forma de tensões).

Novamente (e isso ocorrerá em todo o livro), “esforços externos” e “esforços internos”: a palavra correta seria “forças”.

“(...) esforços internos resistentes (que se manifestam nos diversos pontos do corpo sob a forma de tensões).

Aqui temos um erro grave: “forças internas” não são tensões. “Forças” e “tensões” são conceitos completamente diferentes e não podem ser confundidos.

Continuando à página 13, lemos:

Considere-se, para exemplificar, o caso de uma barra prismática, axialmente tracionada, que se representa na Fig. 1. Inicialmente, a barra, sem solicitação alguma ( $P = 0$ ), tem comprimento  $l_0$  e área  $S_0$ , da seção transversal. Aumentando, gradativamente, o valor da força axial,  $P$ , desde zero até o valor final  $P_0$ , aumenta, também gradativamente, o comprimento  $l_0$ , até atingir o valor final  $l = l_0 + \Delta l_0$ , como se indica na Fig. 1(b).

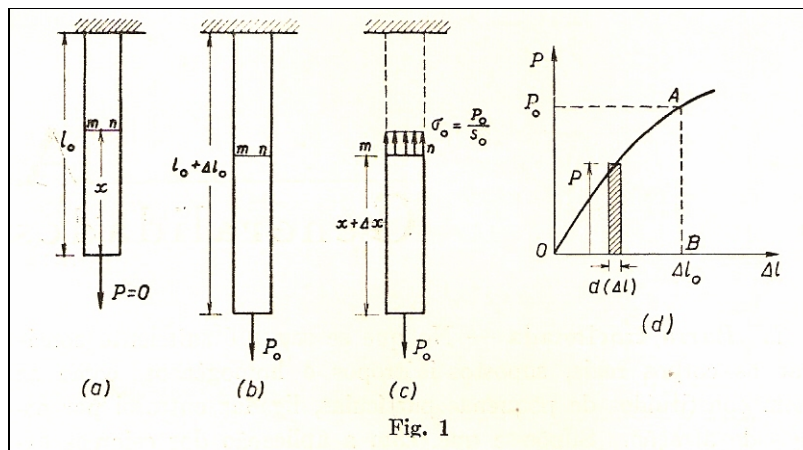


Figura 84.

Admitida a distribuição uniforme de  $P_0$ , pelos diversos pontos da seção transversal, cada um de seus pontos está solicitado com a tensão normal:

$$\sigma = \frac{P_0}{S_0}$$

O mesmo se verifica nos estágios intermediários, de solicitação, quando se tem  $\sigma_0 = P/S_0$ .

E, por ser isótropo e homogêneo, o material da barra, qualquer seção transversal estará solicitada com a mesma tensão normal,  $\sigma_0$ , como se mostra na Fig.1(c).

## Análises e comentários

Inicialmente, a barra, sem solicitação alguma ( $P = 0$ ), tem comprimento  $l_0$  e área  $S_0$ , da seção transversal. Aumentando, gradativamente, o valor da força axial,  $P$ , desde zero até o valor final  $P_0$  (...)

Ao invés de adotar o índice “0” (zero) para todos os parâmetros iniciais, o autor opta por adotar adotá-lo para a carga final. Isso só complica a exposição.

O mesmo se verifica nos estágios intermediários, de solicitação, quando se tem  $\sigma_0 = P/S_0$ .

Se, como foi dito,  $P = 0$ , a afirmação está errada:

$$\sigma_0 = \frac{P}{S_0} = \frac{0}{S_0} = 0$$

(...) tensão normal,  $\sigma_0$ , como se mostra na Fig.1(c).

O que as pequenas setas, na seção transversal, representam são forças internas, não tensões.

À página 15, lemos:

Se se considera a variação  $\Delta x$ , do comprimento inicial,  $x$ , de um trecho qualquer, da barra prismática, pode admitir-se que se tenha:

$$\Delta x = \varepsilon \cdot x$$

isto é, que  $\Delta x$  seja proporcional a  $x$  (Fig. 1). Tem-se, então:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta l_0}{l_0}$$

constante ao longo de todo o comprimento da barra. A  $\varepsilon$  dá-se o nome de deformação linear ou, simplesmente, deformação (correspondente à tensão normal,  $\sigma_0$ , que também é a mesma para tôdas as secções transversais).

A função:

$$\frac{P}{S_0} = \sigma_0 = f(\varepsilon) = f\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)$$

que em geral se determina experimentalmente, recebe o nome de *diagrama tensão-deformação convencional*.

## Análises e comentários

A  $\varepsilon$  dá-se o nome de deformação linear ou, simplesmente, deformação (...)

“ $\varepsilon$ ” é a “deformação linear específica” ou, simplesmente, “deformação específica”. Segundo a simbologia adotada pelo autor, a “deformação” é  $\Delta l$ .

(...) tensão normal,  $\sigma_0$ , que também é a mesma para tôdas as secções transversais).

Dizer que a tensão é a mesma em “todas” ás secções transversais não é correto.

A função:

$$\frac{P}{S_0} = \sigma_0 = f(\varepsilon) = f\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)$$

que em geral se determina experimentalmente, recebe o nome de *diagrama tensão-deformação convencional*.

- Conforme já observado,  $P = 0$ . Portanto, a “função” acima seria igual a 0;
- a tensão  $\sigma$  não é “determinada experimentalmente”; ela é calculada dividindo-se a carga pela área da seção;
- num ensaio de tração, os valores das cargas aplicadas ao corpo de prova são divididos pela área de seção transversal do mesmo, obtendo-se as tensões; as deformações produzidas pelas cargas são medidas e divididas pelo comprimento inicial, resultando as deformações específicas; tensões são marcadas no eixo das ordenadas e deformações específicas são marcadas no eixo das abscissas; tem-se, assim, um diagrama chamado *diagrama tensão x deformação*. Portanto, o que o autor apresenta está errado.

Continuando à página 15, lemos:

**2. Diagrama tensão-deformação** – Consideram-se, a seguir [Fig. 2], diferentes tipos de diagramas convencionais, tensão-deformação, correspondentes a diversos materiais de construção.

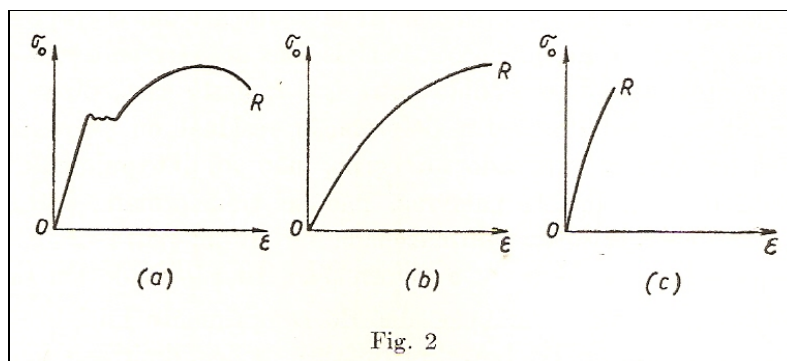


Figura 85.

## Análises e comentários

(...) a seguir [Fig. 2], diferentes tipos de diagramas convencionais (...)

O autor fala em “diagramas convencionais” sem explicar do que se trata.



À página 18, lemos:

**3. Diagramas teóricos** – Para as aplicações é, em geral, mais interessante, substituírem-se os diagramas tensão-deformação, obtidos experimentalmente, por outros diagramas, mais simples, e que representem, dentro dos limites de tensões, que se está considerando, os materiais teóricos que mais se aproximam dos reais. A êsses diagramas dá-se o nome de *diagramas teóricos*, ou *diagramas ideais*.

Inicialmente, deve observar-se que a propriedade da *elasticidade* diz respeito ao fato de não apresentarem deformações permanentes, os materiais submetidos a tensões. Em outras palavras são elásticos os materiais que retomam a forma e as dimensões iniciais, quando retirado o sistema de esforços que deu origem à deformação.

As vezes, adota-se o termo elasticidade para exprimir, além da propriedade citada, o fato de ter, o material considerado, relação linear entre  $\sigma_0$  e  $\varepsilon$ , isto é:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.1)$$

onde a constante E recebe o nome de módulo longitudinal de elasticidade ou, simplesmente, *módulo de elasticidade* do material. A fórmula 3.1 é a expressão da chamada *lei de Hooke*, segundo a qual as tensões são proporcionais às deformações.

### Análises e comentários

Para as aplicações é, em geral, mais interessante, substituírem-se os diagramas tensão-deformação, obtidos experimentalmente, por outros diagramas, mais simples, e que representem, dentro dos limites de tensões, que se está considerando, os materiais teóricos que mais se aproximam dos reais. A êsses diagramas dá-se o nome de *diagramas teóricos*, ou *diagramas ideais*.

Esse parágrafo não tem sentido. Está completamente errado.

Inicialmente, deve observar-se que a propriedade da *elasticidade* diz respeito ao fato de não apresentarem deformações permanentes, os materiais submetidos a tensões.

Aqui, como no livro todo, a redação é péssima.

(...) quando retirado o sistema de esforços que deu origem à deformação (...)

“Sistema de esforços”?

As vezes, adota-se o termo elasticidade para exprimir, além da propriedade citada, o fato de ter, o material considerado, relação linear entre  $\sigma_0$  e  $\varepsilon$ , isto é:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.1)$$

É preciso não confundir “elasticidade” e “relação linear”.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.1)$$

onde a constante  $E$  recebe o nome de módulo longitudinal de elasticidade ou, simplesmente, *módulo de elasticidade* do material. A fórmula 3.1 é a expressão da chamada *lei de Hooke*, segundo a qual as tensões são proporcionais às deformações.

A chamada “lei de Hooke” estabelece uma relação linear entre a carga aplicada a um corpo e a deformação provocada. Hooke nunca falou de tensão. Além disso, o conceito de “módulo de elasticidade” só seria criado por Thomas Young em 1807, ou seja, 129 anos após a publicação do trabalho de Hooke.

---

À página 30, lemos:

### **B Regime da lei de Hooke - Tração**

**8. Barra tracionada** – Supõe-se, agora, que se esteja no regime de aplicabilidade da lei de Hooke:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

considerando, sempre, o diagrama convencional, tensão-deformação.

Se se tratar de uma barra prismática, solicitada pela força axial  $P$ , a variação de comprimento,  $\Delta l$ , de seu comprimento inicial,  $l$ , é obtida de:

$$\sigma = \frac{P}{S} = \frac{\Delta l}{l} \times E$$

isto é:

$$\Delta l = \frac{P l}{E S}$$

onde  $S$  é a área inicial da seção transversal.

## **Análises e comentários**

Barra tracionada – Supõe-se, agora, que se esteja no regime de aplicabilidade da lei de Hooke

O que o autor deveria dizer é: “supõe-se que a barra não seja tracionada além do limite de elasticidade do material”.

---

(...) considerando, sempre, o diagrama convencional, tensão-deformação.

Não fica claro o que o autor quis dizer com essa frase.

---

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	160 x 230
número de páginas	440
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos	99
<b>Figuras</b>	
número de figuras	444
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{444}{440} = 1,009$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	106
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{106}{440} = 0,241$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	1
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	27
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	2

Autores referidos	
1	Robert Hooke
2	Poison
3	F. R. Shanley
4	J. Ratzersdorfer
5	Euler
6	Otto Mohr
7	Coulomb
8	Lamé
9	Rankine
10	Poncelet
11	Saint-Venant
12	Grashof
13	Beltrami
14	Haigh

15	Huber
16	Goodman
17	Gough
18	Woehler
19	Soderberg
20	Smith
21	Gerber
22	Clapeyron
23	Castigliano
24	Betti
25	Maxwell
26	Menabrea
27	Fontviolant

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	2
2	objetividade	2
3	clareza	2
4	precisão	2
5	didática	1
6	coerência	2
7	elegância	1
8	rigor	2
9	correção	2
10	sobriedade	2
11	adequação	1
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	1
	total	22
	média	1,69

### Observações finais

Trata-se de um livro que não acrescenta nada: livros escritos anteriormente eram melhores, mais bem escritos e mais completos. Livro ruim.

**4.13. Livro 9**  
**“Curso de Resistência dos Materiais”**  
Evaristo Valladares Costa  
1974

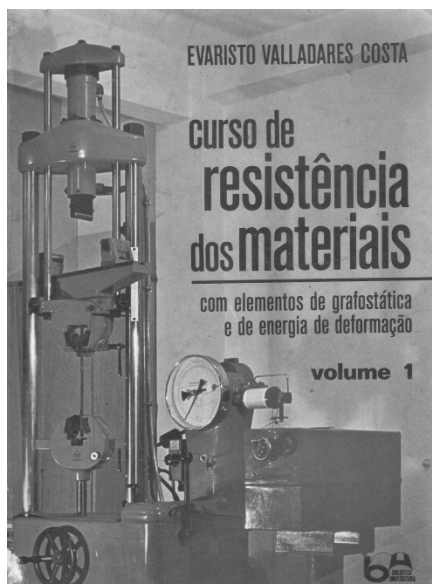


Figura 86.

A obra é composta de quatro volumes: dois de teoria e dois de exercícios. Analisaremos apenas o volume 1 de teoria.

A primeira parte do livro trata de Grafostática. O estudo da Resistência dos Materiais tem início à página 43, onde lemos:

#### Capítulo 6

#### INTRODUÇÃO ÀS CARGAS AXIAIS E TANGENCIAIS

##### 6.1. Definições gerais

A Resistência dos Materiais (Res. Mat.) é o ramo da Mecânica Aplicada que, utilizando os conhecimentos da Teoria Matemática da Elasticidade, bem como da Mecânica Racional, estabelece fórmulas onde são considerados os efeitos internos nos corpos, produzidos pela ação de forças externas, limitando seu campo de investigação aos sólidos e materiais de aplicação usual.

Dessa forma, a Resistência dos Materiais fundamenta o estudo na deformação dos corpos, não considerando o corpo rígido e, por isso, torna a Mecânica dos Corpos Rígidos mais próxima da realidade.

As deformações, embora de pequena grandeza, são de maior interesse na aplicação aos materiais usados na Engenharia.

Conquanto seja uma ciência semi-empírica, pois muitas de suas fórmulas e coeficientes foram e são obtidos graças aos ensaios de laboratório, a contribuição da Teoria Matemática da Elasticidade e da Mecânica Racional tem sido de valor inestimável ao desenvolvimento desta matéria.

Graças aos primeiros estudos de Galileu, em bases racionais, aplicadas às peças em tração e compressão utilizadas nas construções de navios italianos, seguiram-se os estudos e investigações, na França, feitas por Coulomb, Poisson, Navier, St. Venant e Cauchy e, posteriormente, por Hooke e Baushinger no campo das deformações.

Hoje, a Res. Mat. tem suas características e métodos próprios e constitui uma disciplina definida, desenvolvendo uma teoria aproximada para as peças retas e curvas, estabelecendo fórmulas simples, sendo uma das que fornecem elementos básicos à Engenharia, figurando ao lado de outras fundamentais como Mecânica dos Fluidos, Termodinâmica, etc. Desenvolve também fórmulas de aplicação para diversos casos que a Elasticidade, em seu estado atual, ainda não resolveu.

## **Análises e comentários**

### INTRODUÇÃO ÀS CARGAS AXIAIS E TANGENCIAIS

O título do capítulo é sem sentido: não tem qualquer relação com o texto que se seguirá.

#### A Resistência dos Materiais (Res. Mat.)

Não cabe ao autor de um livro-texto “ensinar” ao estudante como abreviar o nome da disciplina.

A Resistência dos Materiais (Res. Mat.) é o ramo da Mecânica Aplicada que, utilizando os conhecimentos da Teoria Matemática da Elasticidade, bem como da Mecânica Racional, estabelece fórmulas onde são considerados os efeitos internos nos corpos, produzidos pela ação de forças externas, limitando seu campo de investigação aos sólidos e materiais de aplicação usual.

Texto confuso, especialmente para os iniciantes.  
O que são “materiais de aplicação usual”?

Dessa forma, a Resistência dos Materiais fundamenta o estudo na deformação dos corpos, não considerando o corpo rígido e, por isso, torna a Mecânica dos Corpos Rígidos mais próxima da realidade.

No seu conjunto, esse parágrafo está incorreto.  
O que é “Mecânica dos Corpos Rígidos”?  
Estaria o autor criando um novo nome para a “Mecânica Racional”?  
Estaria a “Mecânica Racional” distante da realidade?

As deformações, embora de pequena grandeza, são de maior interesse na aplicação aos materiais usados na Engenharia.

A frase não tem sentido.

Graças aos primeiros estudos de Galileu, em bases racionais, aplicadas às peças em tração e compressão utilizadas nas construções de navios italianos, seguiram-se os estudos e investigações, na França, feitas por Coulomb, Poisson, Navier, St. Venant e Cauchy e, posteriormente, por Hooke e Baushinger no campo das deformações.

Esse parágrafo tem os seguintes erros:

- Galilei não se ateve unicamente a “peças em tração e compressão”;
- Coulomb (1736-1806), Navier (1785-1836), Saint-Venant (1797-1886) e Cauchy (1789-1857) não sucederam Galilei no campo da Resistência dos Materiais. Antes deles houve muitos outros. Por exemplo: Mariotte (1620-1684), Jacob Bernoulli (1654-1705), John Bernoulli (1667-1748), Daniel Bernoulli (1700-1782), Euler (1707-1783), Lagrange (1736-1813) etc.  
Portanto, Costa cria uma transição irreal entre Galilei e aqueles cientistas;
- Coulomb, Poisson, Navier, St. Venant e Cauchy não precederam Hooke. Ao contrário, Hooke (1635-1703) viveu muito antes que Coulomb, Poisson, Navier, St. Venant e Cauchy;
- “Hooke (1635-1703) e Bauschinger (1834-1893)”: é completamente descabida essa associação. Trata-se de pesquisadores que viveram em épocas diferentes, em países diferentes e desenvolveram trabalhos diferentes.

O texto de Costa é muito ruim. Em geral, as frases não fazem sentido.

À página 44, lemos:

A Res. Mat. está continuamente atualizando métodos de estudos segundo os efeitos observados nos materiais em uso na Engenharia.

As fórmulas da Res. Mat. resolvem, de um modo geral, as duas classes principais de problemas:

a) *Problemas de dimensionamento*

Conhecido o sistema de forças externas (ou esforços atuantes externos) pretende-se calcular as deformações que se produzem, para deduzir as dimensões, forma e material que deve ter o sólido para resistir em melhores condições, com toda a segurança e máxima economia.

b) *Problemas de verificação*

Conhecidas as dimensões, forma e material de um sólido, pretende-se avaliar os máximos esforços atuantes (cargas) que podem atuar, com segurança, desde que deduzidas também as deformações produzidas.

Assim sendo, a Res. Mat. tem o objetivo de estudar as forças internas desenvolvidas no campo físico e as mudanças de forma e grandeza deste, particularmente em sua relação com as forças exteriores atuantes, assim como as propriedades físicas do material de que é constituído.

(...)

Este texto tem por objetivo limitar a matéria aos tópicos mais simples, estudando os principais conceitos a fim de habilitar o estudante a “visualizar” o problema e a natureza dos elementos que entram para a sua solução.

O estudante deverá desenvolver esta habilidade de visualizar o problema, e todo o esforço desenvolvido no sentido de esquematizar, por meio de diagramas, os elementos que envolvem a solicitação do corpo, será largamente recompensado pelo domínio que terá em apreciar os conceitos fundamentais da matéria.

## Análises e comentários

A Res. Mat. está continuamente atualizando métodos de estudos segundo os efeitos observados nos materiais em uso na Engenharia.

A frase não faz sentido.

As fórmulas da Res. Mat. resolvem, de um modo geral, as duas classes principais de problemas:

O que o autor quer dizer é: na Resistência dos Materiais há duas abordagens:

1. o projeto: dada a carga dimensionar a estrutura;
2. a análise: dada a estrutura, determinar a carga.

### *a) Problemas de dimensionamento*

Conhecido o sistema de forças externas (ou esforços atuantes externos) pretende-se calcular as deformações que se produzem, para deduzir as dimensões, forma e material que deve ter o sólido para resistir em melhores condições, com toda a segurança e máxima economia.

O termo “esforços”, nesse caso, é incorreto.

Aqui, Costa faz uma grande confusão: ao afirmar “conhecido o sistema de forças externas pretende-se calcular as deformações que se produzem”, Costa está tratando de “análise estrutural”, ou seja, do item “b”: “problemas de verificação”. Portanto, não de um “problema de dimensionamento”.

A diferença é a seguinte:

- *dimensionamento*: dada uma carga, dimensionar uma estrutura, que suporte essa carga;
- *verificação*: dada uma estrutura, determinar a carga que ela pode suportar.

Assim sendo, a Res. Mat. tem o objetivo de estudar as forças internas desenvolvidas no campo físico e as mudanças de forma e grandeza deste, particularmente em sua relação com as forças exteriores atuantes, assim como as propriedades físicas do material de que é constituído.

- O que são “forças internas desenvolvidas no campo físico”?
- O que significa “mudança de forma e grandeza [do campo físico]”?
- “Particularmente em sua relação com as forças exteriores”?
- “A Res. Mat. o objetivo de estudar as propriedades físicas do material de que é constituído [o campo físico]”?

Nada disso tem sentido.



À página 46, lemos:

### 6.3. Classificação dos esforços

Método das secções:

Enunciados:

*Cargas* são as forças externas que atuam no corpo.

*Esforços* são as forças desenvolvidas internamente no corpo e que tendem à resistir às cargas.

*Deformações* são as mudanças das dimensões geométricas e da forma do corpo solicitado pelos esforços.

Os esforços desenvolvidos na peça (corpo) podem ser estudados fazendo-se o diagrama do corpo livre em equilíbrio, pelo método das secções.

A Fig. 6.1,a representa uma barra genérica onde a linha AB (lugar geométrico dos centros de gravidade G da secção transversal S) é chamada eixo longitudinal. S é sempre normal ao eixo (ou à tangente ao eixo no caso de leve curvatura) em qualquer das suas posições.

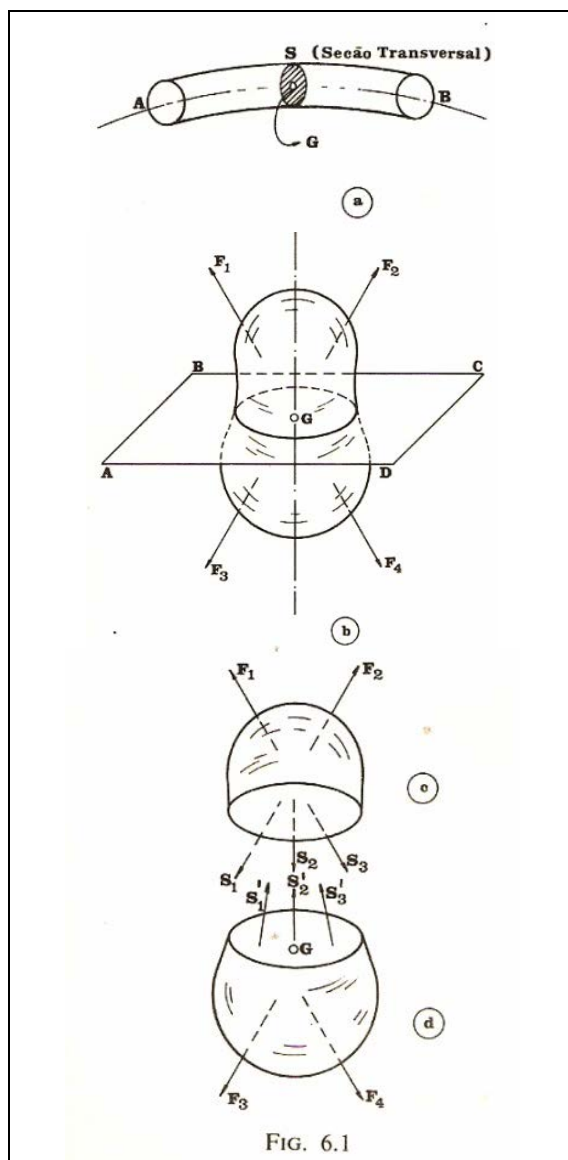


Figura 87.

É dado o corpo em equilíbrio submetido ao sistema das forças exteriores (cargas):  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  e  $F_4$  (ver Fig. 6.1,b).

Passamos um plano arbitrário ABCD, Fig. 6.1,b, que separa o corpo original em duas partes distintas.

Se o todo está em equilíbrio, qualquer das partes também deve permanecer em equilíbrio elástico. Considerando apenas a parte superior (Fig. 6.1,c) então as forças  $F_1$  e  $F_2$  externas não estarão em equilíbrio e, por isso, internamente desenvolvem-se esforços  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , etc., na secção cortada para estabelecer o equilíbrio com  $F_1$  e  $F_2$ . O mesmo se passa para o remanescente do corpo (fig. 6.1,d). Daí segue-se a conclusão fundamental: as forças externas aplicadas a uma porção do corpo, cortado por uma secção arbitrária, devem ser equilibradas pelos esforços desenvolvidos no corte, isto é, as forças externas são balanceadas pelos esforços internos.

## Análises e comentários

Aqui, a ideia simples de se seccionar um corpo para mostrar que a força aplicada externamente é transmitida pelas partículas que o constituem é transformada em algo confuso. O que Costa chama “centros de gravidade  $G$ ”, na verdade, são centroides.

À página 47, lemos:

Suponhamos agora uma análise mais ampla desse equilíbrio para o sistema aplicado na Fig. 6.2,a.

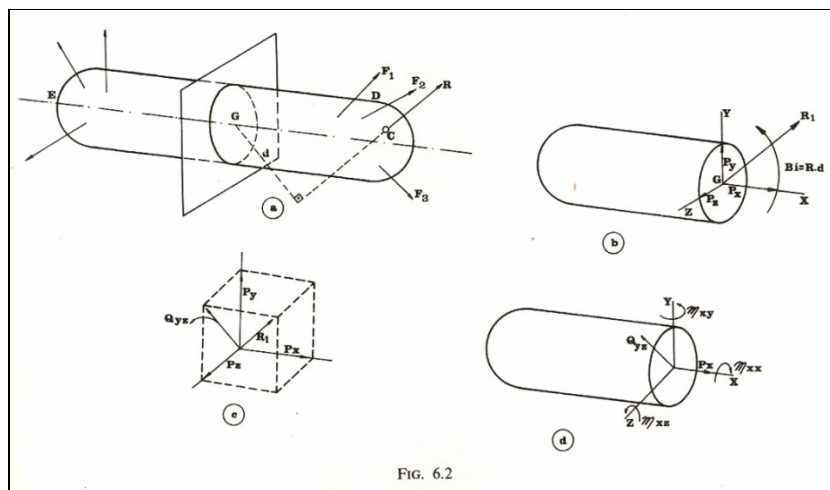


FIG. 6.2

Figura 88.

A porção D (direita) do corpo sob a ação de  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  tem sua resultante  $R$  aplicada em  $C$  cujo efeito sobre o baricentro  $G$  da seção escolhida será a ação de  $R_1$  e do binário (...)

Os *esforços sollicitantes internos*, assim desenvolvidos, podem ser classificados da seguinte forma:

a) – *Força normal* ( $N$ ) (...)

Esta força será equilibrada por esforços internos, esforços resistentes, desenvolvidos pelas moléculas do material e se manifestam sob a forma de tensões

(esforços por unidade de área). Denominam-se tensões normais, que serão de tração ou compressão segundo a força N seja de tração ou de compressão.

(...)

Os símbolos empregados para as tensões são:

t – tensões desenvolvidas em uma secção qualquer arbitrária (não transversal)

$\sigma$  (sigma) – tensões normais à secção transversal

$\tau$  (tau) – tensões de cisalhamento (também denominadas tangenciais) ao longo da secção

A equação matemática das tensões pode ser expressa por:

$$\sigma = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta N}{\Delta S}$$

onde N é a força normal à secção e S a sua área

$$\tau = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta S}$$

onde Q é a força cortante, ao longo ou paralela à secção.

No sistema decimal,  $\sigma$  e  $\tau$  são expressos em kg/cm<sup>2</sup> (quilos por centímetro quadrado)

## Análises e comentários

Suponhamos agora uma análise mais ampla desse equilíbrio para o sistema aplicado na Fig. 6.2,a.

Não é claro o que Costa quer dizer com “análise mais ampla”. Aparentemente, não satisfeito com toda a complicação já introduzida, pretende complicar ainda mais suas explicações.

A porção D (direita) do corpo sob a ação de  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  tem sua resultante R aplicada em C cujo efeito sobre o baricentro G da secção escolhida será a ação de  $R_1$  e do binário (...)

Aqui, Costa chama “baricentro G” o que anteriormente chamou “centro de gravidade G”. As duas denominações estão erradas: trata-se de ‘centroides’.

Essa nova apresentação não contribui para o entendimento, de modo claro e simples, daquilo que se pretende ensinar. Pelo contrário: o autor apenas acrescenta informações inúteis e descabidas.

(...) esforços internos, esforços resistentes, desenvolvidos pelas moléculas do material e se manifestam sob a forma de tensões (...)

Para Costa, força interna e tensão são a mesma coisa. Está errado.

t – tensões desenvolvidas em uma secção qualquer arbitrária (não transversal)

Trata-se de uma invenção de Costa.

No sistema decimal (...)

Está errado: o que Costa apresenta são unidades do Sistema Métrico.

(...)  $\sigma$  e  $\tau$  são expressos em  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (...)

Está errado: no Sistema Métrico, “kg” é unidade de massa. A unidade de força é o “kgf”.

(...)  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (quilos por centímetro quadrado).

Está errado: “quilo” é uma forma reduzida de “quilograma”, usada na linguagem coloquial e imprópria num livro-texto de Resistência dos Materiais.

À página 51, lemos:

As figuras 6.3 e 6.4 representam tipos de cargas externas estáticas axiais. Na Fig. 6.3,a, a barra reta AB está submetida à carga axial P (de tração) que produz esforço de tração sobre qualquer secção (mn) transversal, perpendicular à carga. Na Fig. 6.4,c, o esforço produzido por P será de compressão. Em seguida será nosso objetivo estabelecer a relação entre a carga e o esforço unitário (tensão) desenvolvido em qualquer ponto do corpo, segundo o plano escolhido para cada caso da carga axial.  
(...)

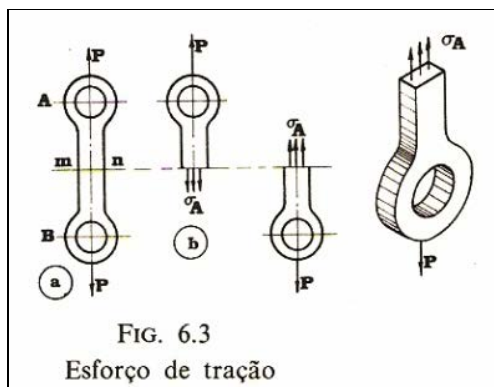


Figura 89.

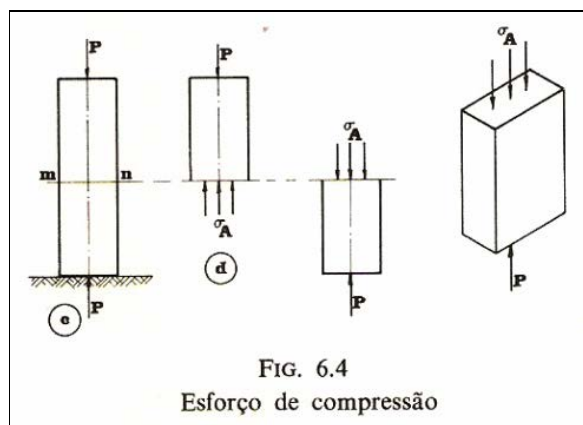


Figura 90.

Para obter a expressão algébrica da tensão máxima produzida pela carga sobre as moléculas do corpo, segundo o plano transversal, consideremos o caso da tração e analisemos-lhe as diversas etapas.

Supõe-se o corpo cortado por um plano  $mn$  (secção transversal) perpendicular ao eixo do corpo, onde está aplicada a carga  $P$ , neste caso, de tração (Fig. 6.5,a). Considera-se o corpo separado em parte superior e inferior da secção (Figs. 6.5,b,c) onde a cada parcela da carga  $P$  age, para equilíbrio, a tensão normal na parcela correspondente da área transversal de grandeza total  $S$  ( $\text{cm}^2 - \text{m}^2$ ). Por definição, a tensão desenvolvida nas moléculas (partículas), segundo a secção transversal, será dada pela relação:

$$\sigma = \frac{P}{S} \text{ ou } \frac{\text{Força}}{\text{Área}} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### Análises e comentários

As figuras 6.3 e 6.4 representam tipos de cargas externas estáticas axiais.

Errado: as figuras 6.3 e 6.4 representam “elementos estruturais” (não importa se barra, coluna, biela etc.) sujeitos a cargas axiais.

Na Fig. 6.3,a, a barra reta AB está submetida à carga axial  $P$  (de tração) que produz esforço de tração sobre qualquer secção ( $mn$ ) transversal (...)

Além do desenho, que mostra a “barra” AB sendo tracionada, ainda temos a explicação: “a carga  $P$ , de tração, produz um esforço de tração”.

(...) será nosso objetivo estabelecer a relação entre a carga e o esforço unitário (tensão) desenvolvido em qualquer ponto do corpo (...)

Errado: tensão não é “esforço unitário”. Tensão é um conceito deferente do conceito de força, expresso numericamente pela divisão de uma força por uma área.

Para obter a expressão algébrica da tensão máxima produzida pela carga sobre as moléculas do corpo, segundo o plano transversal (...)

A frase não tem sentido.

À página 52, lemos:

Geralmente considera-se essa tensão (esforço por unidade de área) distribuída uniformemente pela área  $S$ , sendo por isso considerada uma tensão média. As figuras 6.5,d e 6.5,e representam graficamente a grandeza. A Fig. 6.5,f representa a porção do corpo de comprimento elementar  $dy$  entre duas secções transversais paralelas e as tensões nele desenvolvidas.

Da mesma forma pode-se representar o cubo elementar sob a ação do esforço normal simples (considerando cargas segundo um só eixo) Fig. 6.5.g, denominado estado simples de tensão cujo diagrama simplificado pode ser representado na Fig. 6.5.h. Pela análise salienta-se que a um sistema de forças externas (P) corresponde um equilibrante elástico ( $\sigma \cdot S$ ).

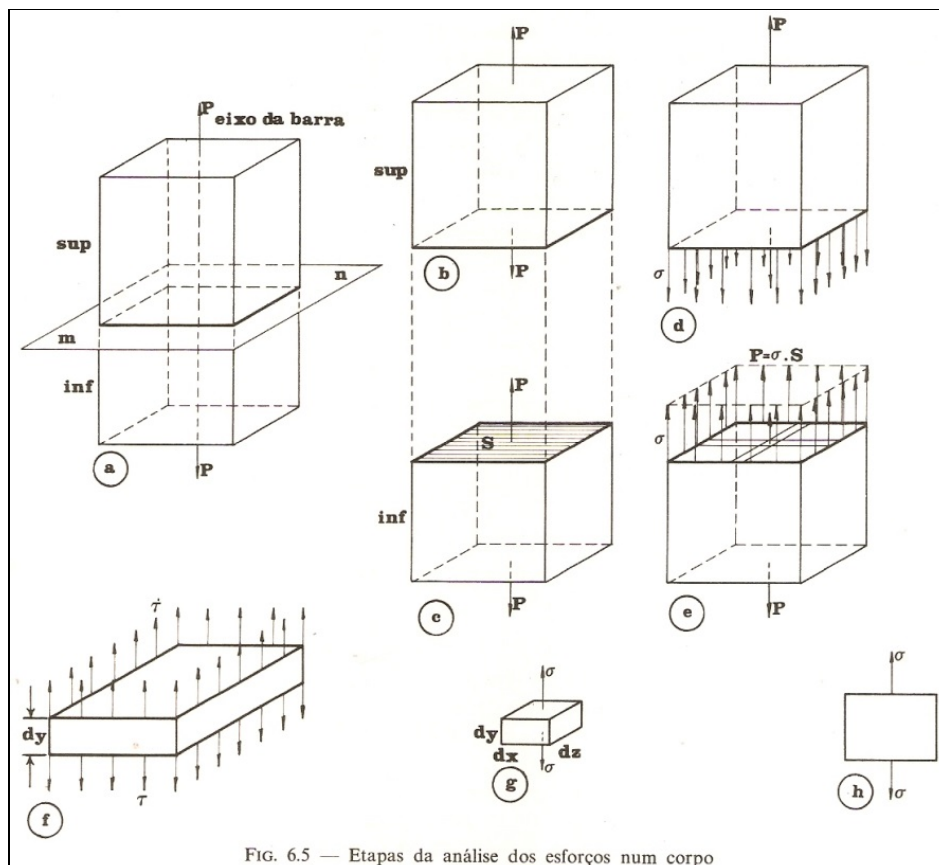


FIG. 6.5 — Etapas da análise dos esforços num corpo

Figura 91.

## Análises e comentários

Geralmente considera-se essa tensão (esforço por unidade de área) distribuída uniformemente pela área  $S$ , sendo por isso considerada uma tensão média.

Além de estar errada, a afirmação é um contrassenso: é justamente porque a distribuição não é uniforme que trabalhamos com um valor médio.

A “Figura 6.5”, acompanhada do “seu texto explicativo” é a quarta tentativa ilustrada do autor de “mostrar” ao leitor o que é tensão.

Pela análise salienta-se que a um sistema de forças externas (P) corresponde um equilibrante elástico ( $\sigma \cdot S$ ).

“Equilibrante elástico” é mais uma invenção de Costa.

Devemos observar que Costa introduz as dimensões elementares  $dx$ ,  $dy$  e  $dz$  sem qualquer justificativa e não dá a elas significado.

---

O autor deixa para tratar das deformações no capítulo 7.  
À página 61, lemos:

### DEFORMAÇÕES – LEI DE HOOKE

(...) As deformações podem ser elásticas e permanentes (ou residuais). Chamam-se elásticas aquelas deformações que desaparecem quando são retiradas as forças externas que as provocaram, reassumindo o corpo, inteiramente, a forma primitiva, uma vez cessado o efeito. As experiências mostram que há deformações elásticas, enquanto as forças externas não ultrapassam certo limite. Ultrapassando este limite (variável com o material), o corpo não restabelece mais suas dimensões e forma primitivas quando cessado o efeito. As diferenças que surgiram em suas dimensões chamam-se *deformações residuais*. Durante a aplicação das forças externas, as partículas do corpo são deslocadas continuamente até que se estabeleça o equilíbrio entre as forças externas e internas. É nesse caso que o corpo está submetido ao *estado de esforço*. Durante este desenvolvimento, as forças produziram o trabalho mecânico que fica armazenado na massa do corpo em forma de *energia potencial* interna. Diminuindo-se a intensidade das forças ou retirando-as o corpo retoma parcial ou totalmente a sua forma original e, durante esta operação reversa, a energia acumulada no corpo é devolvida em forma de trabalho mecânico.

### Análises e comentários

As deformações podem ser elásticas e permanentes (...)

Errado. O correto é “as deformações são elásticas ou permanentes”.

---

(...) uma vez cessado o efeito

Errado. O correto é “uma vez cessada a causa”.

---

As experiências mostram que há deformações elásticas, enquanto as forças externas não ultrapassam certo limite.

A frase não tem sentido.

---

(...) o corpo não restabelece mais suas dimensões e forma primitivas quando cessado o efeito.

Errado. o correto é “quando cessada a causa”.

---

(...) estado de esforço (...)

Não existe essa expressão.

Durante este desenvolvimento, as forças produziram o trabalho mecânico que fica armazenado na massa do corpo em forma de *energia potencial* interna.

A frase não tem sentido.

À página 62, lemos:

Elasticidade é o termo empregado para caracterizar a propriedade de certos corpos que, depois de serem deformados, retomam sua forma inicial, quando desaparecem as causas que motivaram a deformação. Assim na Fig. 7.1,a, sob a ação de carga  $P$ , o corpo de comprimento  $L$ , é aumentado da grandeza  $\delta$ .

À medida que  $P$  aumenta,  $\delta$  também aumenta.

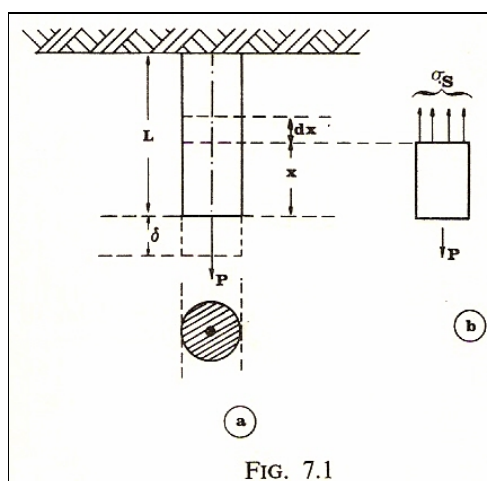


FIG. 7.1  
Figura 92.

Se não for ultrapassado o “limite de elasticidade” do material, quando se retira a carga  $P$ , o corpo volta às condições primitivas (praticamente, terá novamente o comprimento  $L$ ). Por isso, devido à elasticidade, a energia potencial interna, armazenada durante o desenvolvimento da deformação  $\delta$ , é capaz de devolver ao corpo, em forma de trabalho mecânico, o necessário para restaurar as condições primitivas.

A maior parte dos materiais de construção, como os aços, madeira, ferro fundido, alumínio, concreto, pedras, etc., são, dentro de certos limites, corpos elásticos.

Ao ser aumentada a carga estática, Fig. 7.1,a, de zero a  $P$ , a barra vai se alongando por vários valores  $dx$  até o valor total  $\delta$ , que é o “alongamento total”. Para fins de comparação, é de conveniência representar a elongação unitária, referida ao comprimento  $L$ , ou seja,  $\epsilon$  (epsilon), onde:

$$\epsilon = \frac{\delta}{L}$$



A chamada **deformação unitária**, ou simplesmente **deformação**, é uma quantidade sem dimensão porém convencionou-se, ao se referir a ela, como tendo a dimensão de milímetros por metro (mm/m) e, às vezes, é dada em porcentagem.

A grandeza  $\varepsilon$  é muito pequena, exceto para poucos materiais como a borracha. Conhecida a deformação  $\varepsilon$  de um material (dada em manuais) a deformação total é obtida, para cargas axiais, diretamente do produto  $\varepsilon \cdot L$ .

## Análises e comentários

Mais uma vez vemos num desenho a dimensão elementar  $dx$  que não será usada em momento algum. Costa não faz qualquer integração, não usa  $dx$  para nada. Portanto, não tem sentido.

Se não for ultrapassado o “limite de elasticidade” do material (...)

O autor refere-se a “limite de elasticidade” sem se preocupar em defini-lo.

(...) o corpo de comprimento  $L$ , é aumentado da grandeza  $\delta$ .

(...)desenvolvimento da deformação  $\delta$  (...)

(...) o valor total  $\delta$ , que é o “alongamento total”.

(...) a elongação unitária (...) ou seja,  $\varepsilon$  (...)

[ $\varepsilon$ ]A chamada deformação unitária (...)

[ $\varepsilon$ ] ou simplesmente deformação.

Diversas denominações para uma mesma coisa ou a mesma denominação para coisas diferentes:

$\delta$ : deformação, alongamento total;

$\varepsilon$ : elongação unitária, deformação unitária, deformação.

À página 67, lemos:

### Lei de Hooke: módulo de elasticidade

Verifica-se que o diagrama tensão- deformação para os materiais, numa certa grandeza de  $\varepsilon$ , se apresenta como uma reta ou, pelo menos, se conhece o declive da tangente no início. A idealização e generalização aplicável a todos os materiais da lei, conhecida como Lei de Proporcionalidade é devida a Hooke, cientista inglês (1676).

Esta lei pode ser simbolizada pela expressão:

$$\delta = \frac{P \cdot L}{S \cdot E} = \frac{\sigma \cdot L}{E} \quad \text{ou:} \quad \sigma = \frac{\delta \cdot E}{L} = E \cdot \varepsilon \quad \text{ou:} \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

e significa que a tensão é diretamente proporcional à deformação e a uma constante de proporcionalidade  $E$ . Essa constante  $E$  tem a denominação de **módulo elástico**, **módulo de elasticidade** ou **módulo de Young**.

## Análises e comentários

Verifica-se que o diagrama tensão- deformação para os materiais, numa certa grandeza de  $\varepsilon$ , se apresenta como uma reta ou, pelo menos, se conhece o declive da tangente no início.

A frase não tem sentido.

A idealização e generalização aplicável a todos os materiais da lei, conhecida como Lei de Proporcionalidade (...)

A frase não tem sentido e “lei de proporcionalidade” não existe.

(...) é devida a Hooke, cientista inglês (1676).

O que significa o número 1676, entre parêntesis?

Robert Hooke nasceu em 1635 e morreu em 1703. Seu trabalho, “De Potentia Restitutiva”, foi publicado em 1678.

Esta lei pode ser simbolizada pela expressão:

$$\delta = \frac{P \cdot L}{S \cdot E}$$

e significa que a tensão é diretamente proporcional à deformação e a uma constante de proporcionalidade  $E$ . Essa constante  $E$  tem a denominação de **módulo elástico**, **módulo de elasticidade** ou **módulo de Young**.

Na época em que Hooke determinou a relação linear entre carga e deformação, ainda não havia sido criado o conceito de módulo de elasticidade ( $E$ ). Isso só aconteceria em 1807.

(...) e significa que a tensão é diretamente proporcional à deformação e a uma constante de proporcionalidade  $E$  (...)

A tensão não é proporcional a uma constante de proporcionalidade.

## Resultados

O livro (volume 1 de teoria) em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	175 x 232
número de páginas	210 (foram excluídas as páginas relativas à Grafostática)
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	0
número de problemas resolvidos	0
<b>Figuras</b>	
número de figuras	431
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{431}{210} = 2,052$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	46
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{46}{210} = 0,219$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	0
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	3
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	0

### Autores referidos

1	Robert Hooke
2	Poison
3	Mohr

### Avaliação geral

		pontos
1	concisão	1
2	objetividade	1
3	clareza	1
4	precisão	1

5	didática	2
6	coerência	2
7	elegância	1
8	rigor	1
9	correção	1
10	sobriedade	1
11	adequação	1
12	correção gramatical	1
13	fundamentação	1
	total	15
	média	1,15

### Observações finais

O livro é muito mal escrito. O número de erros é inaceitável.

**4.14. Livro 10**  
**“Mecânica dos Sólidos”**  
 Timoshenko / Gere  
 1983



Figura 93.

A obra é apresentada em dois volumes. Analisaremos apenas o volume 1.

À página V, lemos:

**PREFÁCIO**

(...)

Este livro é “novo” no sentido de que é uma apresentação completamente diferente da *Mecânica dos Sólidos*, apresentando assuntos de interesse atual. Porém, em outro sentido, ele é o “velho” livro que evoluiu da bem conhecida série, apresentada em dois volumes, intitulada “Resistência dos Materiais”, escrita pelo Prof. Timoshenko. A última revisão de “Resistência dos Materiais” foi feita em 1955 e 1956, quando foi publicada uma terceira edição. A segunda foi publicada em 1940 e 1941 e a primeira, em 1930. Além disso, a primeira edição foi baseada, de modo geral, em algumas edições mais antigas publicadas na Rússia pelos idos de 1908. Uma lista das primeiras edições russas pode ser achada na bibliografia de Timoshenko, que aparece na sua autobiografia, *As I Remember* (D. Van Nostrand Co., Inc., 1968). Os Autores esperam que este livro e o volume intitulado *Advanced Mechanics of Materials* tenham contribuído para a atualização desta longa linha de livros-textos.

(...)

S. P. Timoshenko  
 J. E. Gere

## Análises e comentários

A apresentação do livro induz o leitor a pensar que foi escrito por Timoshenko e por Gere: os dois nomes aparecem na capa, no frontispício e no final do prefácio, no qual lemos: “(...) Os Autores esperam que este livro (...)”. Todavia, cremos que Timoshenko não só não participou da redação dessa obra como sequer soube da sua publicação. Os fatos que nos levam a pensar assim são os seguintes:

1. esse livro, publicado no Brasil em 1982, é uma tradução para o português da primeira edição, em inglês, publicada nos Estados Unidos em 1972;
2. a terceira e última edição do livro “Strength of Materials”, de Timoshenko, foi publicada nos Estados Unidos em 1956, portanto, 16 anos antes;
3. o último livro publicado por Timoshenko foi “As I remember”, em 1968. Nesse livro de memórias, Timoshenko conta que, depois de se aposentar, passou a se dedicar apenas à história da Resistência dos Materiais. Suas pesquisas resultaram no livro “History of Strength of Materials”, publicado em 1953;
4. Timoshenko morreu em maio de 1972 (mesmo ano de publicação desse livro), com 93 anos.

Portanto, pensamos que Gere, tendo tomado os livros de Timoshenko como base, escreveu esse livro, sem qualquer participação de Timoshenko.

Timoshenko é um nome consagrado. Provavelmente, o mais eminente professor da história da Resistência dos Materiais. Assim, apresentando-se como seu “parceiro”, como coautor de uma nova versão do reverenciado livro de Timoshenko, Gere procura nivelar-se com o mestre e colher os louros de uma glória que não é sua.

No capítulo 1, intitulado TRAÇÃO, COMPRESSÃO E CISALHAMENTO, à página 2, lemos:

### 1.2 TENSÕES E DEFORMAÇÕES

Os conceitos de tensão e deformação podem ser ilustrados, de modo elementar, considerando-se o alongamento de uma *barra prismática* (ver a Fig. 1-1a). Uma barra prismática tem seção constante em todo o comprimento e o eixo reto. Nesta ilustração, supõe-se a barra carregada nas extremidades por forças axiais,  $P$ , que produzem alongamento uniforme ou tração na barra. Fazendo um corte imaginário (seção  $mm$ ) na barra, normal a seu eixo, é possível isolar parte dela como corpo livre (Fig. 1-1b). A força  $P$  é aplicada na extremidade direita, aparecendo à esquerda as forças que traduzem a ação da parte removida sobre a que ficou. Estas forças estão distribuídas uniformemente sobre toda a seção transversal, de modo análogo à distribuição da pressão hidrostática sobre uma superfície imersa.

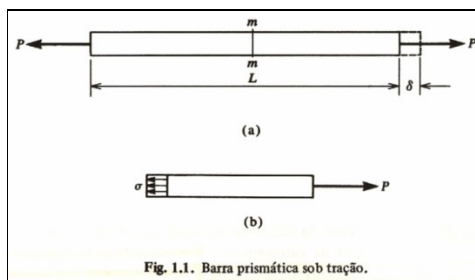


Figura 94.

## Análises e comentários

(...) é possível isolar parte dela como corpo livre (Fig. 1-1b). A força  $P$  é aplicada na extremidade direita, aparecendo à esquerda as forças que traduzem a ação da parte removida sobre a que ficou.

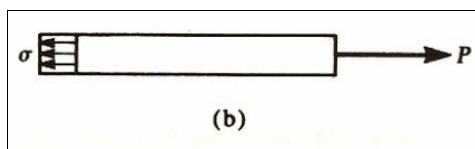


Figura 95.

O texto diz: “aparecendo à esquerda as forças”, entretanto, ao lado dos pequenos vetores que, supostamente, representam essas forças Gere introduz o símbolo  $\sigma$ , usado para tensões.

Isso confundirá o leitor e poderá levá-lo a acreditar, erradamente, que tensões são forças.

Vejamos como esse conceito é apresentado por Timoshenko:

Ao estudarmos a magnitude das forças interiores, imaginemos a barra cortada em duas partes por uma seção transversal  $mn$  e consideremos o equilíbrio da parte inferior da barra (Fig. 1,  $b$ ). Na extremidade inferior desta parte está aplicada a força de tração  $P$ . Na extremidade superior estão atuando as forças que representam a ação das partículas da parte superior da barra deformada sobre as partículas da parte inferior. (TIMOSHENKO, 1978, p. 23 e 25)

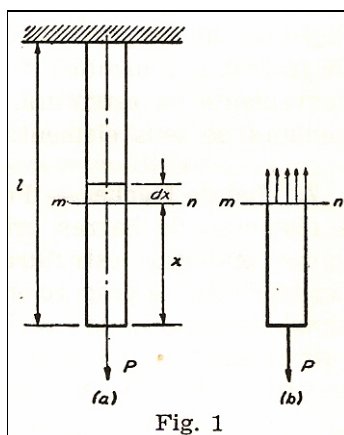


Fig. 1  
Figura 96.

Portanto, nesse ponto, ao modificar o texto original, Gere comete um erro grave.

Estas forças estão distribuídas uniformemente sobre toda a seção transversal, de modo análogo à distribuição da pressão hidrostática sobre uma superfície imersa.

Aqui houve uma distorção do texto original, que é o seguinte:

Estas forças estão distribuídas continuamente sobre a seção transversal. Um exemplo comum desta distribuição contínua de forças sobre uma superfície é a pressão hidrostática ou pressão de vapor. (TIMOSHENKO, 1978, p. 25)

Portanto, o que há é uma “distribuição contínua de forças sobre a superfície” e não uma “distribuição uniforme”, o que é completamente diferente.

Mais um erro grave.

Continuando à página 2, lemos:

A força por unidade de área é denominada *tensão*, sendo comumente designada pela letra grega  $\sigma$ . Supondo que a tensão seja uniformemente distribuída sobre toda a seção transversal (ver a Fig. 1-1b), pode-se ver facilmente que a resultante é dada pelo produto da intensidade de  $\sigma$  pela área,  $A$ , da seção transversal da barra. Além disso, pelo equilíbrio do corpo representado na Fig. 1-1b, pode-se também ver que o resultado deve ser igual em intensidade e oposto em sentido à força  $P$ . Assim,

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

é a equação para a tensão uniforme numa barra prismática. Esta equação mostra que a unidade que mede a tensão é uma força dividida por uma área, isto é, quilograma força por centímetro quadrado ( $\text{kgf} / \text{cm}^2$ ), libra por polegada quadrada ( $\text{lb} / \text{pol}^2$  ou  $\text{psi}$ ), newton por metro quadrado ( $\text{N} / \text{m}^2$  ou pascal) etc. Quando a barra está sendo alongada pela força  $P$ , como na figura, a tensão resultante é uma *tensão de tração*; se as forças tiverem o sentido oposto, comprimindo a barra, a tensão é de *compressão*.

## Análises e comentários

Supondo que a tensão seja uniformemente distribuída sobre toda a seção transversal (ver a Fig. 1-1b) (...)

Aqui Gere insiste nos erros:

1. o que a “Fig. 1- 1b” mostra são as forças internas e não tensões;
2. as forças internas não se distribuem uniformemente sobre a seção.

(...) pode-se ver facilmente que a resultante é dada pelo produto da intensidade de  $\sigma$  pela área,  $A$ , da seção transversal da barra.

- Como um estudante que está iniciando um curso de Resistência dos Materiais poderia ver “facilmente” algo que ainda não foi explicado?
- Que resultante?

Além disso, pelo equilíbrio do corpo representado na Fig. 1-1b, pode-se também ver que o resultado deve ser igual em intensidade e oposto em sentido à força  $P$ . Assim,



$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Aqui, ao usar a palavra “assim”, Gere cria uma implicação que não existe:

se supusermos que a força P se distribua pela seção em  $n$  forças  $f$ , então poderemos dizer que

$$\sum_{i=1}^n f_i = P$$

O fato de haver esse equilíbrio não implica  $\sigma = \frac{P}{A}$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

é a equação para a tensão uniforme numa barra prismática

Errado:  $\sigma$  é a *tensão média* na seção transversal de uma barra, não “tensão uniforme”.

A condição necessária para validar a equação  $\sigma = \frac{P}{A}$  é que a tensão  $\sigma$  seja uniforme sobre toda a seção transversal da barra. Esta condição estará preenchida se a força axial P agir no centroide\* da seção transversal (...)

Errado: se assim fosse, a equação não poderia ser usada, pois a tensão nunca é uniforme.

\*NT Se a massa específica do corpo for constante, o centroide confunde-se com o centro de massa. Se, além disso, a gravidade for constante, o centro de gravidade, o centro de massa e o centroide reduzem-se a um único ponto.

Essa “nota do tradutor” só serve para confundir o leitor: nesse momento, não há interesse no conceito de *centro de massa* nem no de *centro de gravidade*, pois trata-se apenas de *seções*, e seções não têm *centro de massa* nem *centro de gravidade*.

À página 3, lemos:

O alongamento total de uma barra que suporta uma força axial será designado pela letra grega  $\delta$  (ver a Fig. 1-1a). Assim, o alongamento por unidade de comprimento, ou *alongamento específico*, (ou *alongamento relativo*), denominado *deformação* ( $\epsilon$ ), é calculado pela equação:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

onde  $L$  é o comprimento total da barra. Note-se que a deformação  $\varepsilon$  é uma quantidade adimensional, podendo ser determinada pela equação [acima] caso o alongamento seja uniforme ao longo da barra. Se a barra estiver sob tração, ter-se-á uma *deformação de tração*, representando um alongamento do material; se a barra estiver sob compressão tem-se uma *deformação de compressão*, o que significa que as seções transversais adjacentes aproximar-se-ão.

## Análises e comentários

Assim, o alongamento por unidade de comprimento, ou *alongamento específico*, (ou *alongamento relativo*), denominado *deformação* ( $\varepsilon$ ),

Gere chama  $\varepsilon$  de alongamento por unidade de comprimento, alongamento específico, alongamento relativo e deformação.

Certamente, isso é bastante confuso.

Ainda à página 3, lemos:

### O TESTE DE TRAÇÃO

A relação entre as tensões e as deformações, para um determinado material, é encontrada por meio de um *teste de tração*.

Um corpo-de-prova, em geral uma barreta de seção circular, é colocado na máquina de testar e sujeito à tração. A força atuante e as deformações resultantes são medidas à proporção que a carga aumenta. Obtêm-se as tensões dividindo as forças pela área da seção transversal da barra, e a deformação específica dividindo o alongamento pelo comprimento ao longo do qual ocorre a deformação. Deste modo obtém-se um diagrama tensão-deformação completo para o material em estudo.

A forma típica do diagrama tensão-deformação para o aço estrutural aparece na Fig. 1.2a, onde as deformações axiais estão representadas no eixo horizontal, sendo as tensões correspondentes dadas pelas ordenadas dos pontos da curva OABCDE.

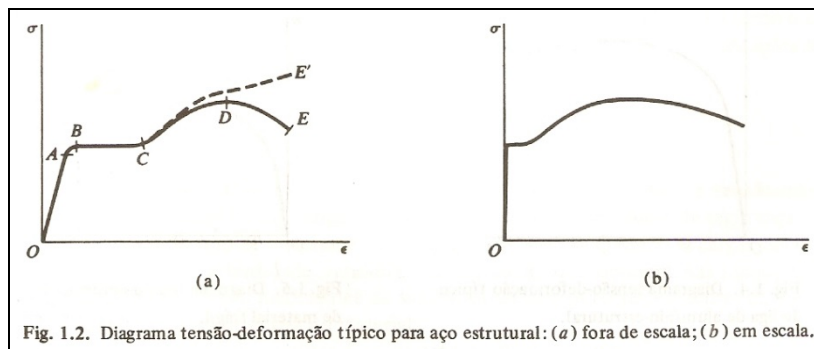


Fig. 1.2. Diagrama tensão-deformação típico para aço estrutural: (a) fora de escala; (b) em escala.

## Análises e comentários

### O TESTE DE TRAÇÃO

É incorreto usar a palavra “teste”, nesse caso. A palavra correta é “ensaio”.

---

(...) máquina de testar (...)

O correto é “máquina de ensaio de tração”.

---

A força atuante e as deformações resultantes são medidas à proporção que a carga aumenta.

- Nessa frase, as palavras “força” e “carga” são usadas para se referir à mesma coisa. É como se dissesse:  
“A força atuante é medida à proporção que a força aumenta”. O que não tem sentido.
  - Num ensaio de tração, o corpo de prova se deforma (se alonga) à medida que a carga aumenta. Essa deformação é medida. A deformação medida é dividida pelo comprimento inicial, resultando dessa divisão a ‘deformação linear específica’. Entretanto, para Gere, “deformação” é o que nós chamamos “deformação linear específica”, então, a afirmação “as deformações resultantes são medidas” está errada.
- 

Até aqui, foram usados para designar a “deformação linear específica”,  $\epsilon$ , as seguintes denominações:

- alongamento por unidade de comprimento;
- alongamento específico;
- alongamento relativo;
- deformação;
- deformação de tração;
- deformação de compressão;
- deformação específica;
- deformação axial.

Acreditamos que essa diversidade de denominação dificulte a aprendizagem.

---

(...) comprimento ao longo do qual ocorre a deformação.

Que comprimento é esse?

---

À página 6, lemos:

#### 1.4 ELASTICIDADE LINEAR E LEI DE HOOKE

(...)

A relação linear entre a tensão e a deformação, no caso de uma barra em tração, pode ser expressa pela equação

$$\sigma = E \varepsilon$$

onde  $E$  é uma constante de proporcionalidade conhecida como *módulo de elasticidade* do material. (...) O módulo de elasticidade é conhecido também como *módulo de Young*, por referência ao cientista inglês Thomas Young (1773-1829), que estudou o comportamento elástico das barras. A equação [acima] é conhecida como *Lei de Hooke*, pelos trabalhos de outro cientista inglês, Robert Hooke (1635-1703), que foi o primeiro a estabelecer experimentalmente a relação linear existente entre tensões e deformações.

Quando uma barra é carregada por tração simples (ver a Fig. 1-1a), a tensão axial é  $\sigma = P / A$  e a deformação específica (alongamento relativo) é  $\varepsilon = \delta / L$ . Combinando estes resultados com a Lei de Hooke, temos a seguinte expressão para o alongamento da barra.

$$\delta = \frac{P L}{E A}$$

Esta equação mostra que o alongamento de uma barra linearmente elástica é (...)

### Análises e comentários

A primeira referência ao *módulo de elasticidade* foi feita por Thomas Young, em 1807, por isso é também conhecido como módulo de Young. Entretanto, a definição mais aceita de módulo de elasticidade é a de Navier, publicada em 1826. Quando Hooke publicou seus estudos sobre elasticidade (*De Potentia Restitutiva*), em 1678, além de não ter tratado de tensões nem de deformações específicas, a ideia de módulo de elasticidade não existia. Aquela que ficou conhecida como “lei de Hooke”, e que foi o primeiro passo para o nascimento da “Teoria Matemática da Elasticidade”, foi a expressão matemática que define a relação linear entre a carga aplicada a um corpo e a sua deformação linear:  $\sigma = E \varepsilon$ . Embora parecidas, essa expressão e  $\sigma = E \varepsilon$  são conceitualmente diferentes.

Portanto, chamar  $\sigma = E \varepsilon$  “lei de Hooke” é um erro.

Robert Hooke (1635-1703), que foi o primeiro a estabelecer experimentalmente a relação linear existente entre tensões e deformações (...)

Essa é uma inverdade: Hooke não estudou tensões nem deformações específicas.

(...) a tensão axial é  $\sigma = P / A$  (...)

Não existe “tensão axial”. Trata-se de “tensão normal”.

Combinando estes resultados com a Lei de Hooke, temos a seguinte expressão para o alongamento da barra.

$$\delta = \frac{P L}{E A}$$

O autor deveria mostrar o seguinte:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma = E\varepsilon \\ \sigma = \frac{P}{A} \\ \varepsilon = \frac{\delta}{L} \end{array} \right\} \frac{P}{A} = E \frac{\delta}{L} \Rightarrow \delta = \frac{P L}{E A}$$

## Resultados

O livro (apenas o volume 1) em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	180 x 250
número de páginas do volume 1	256
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	416
número de problemas resolvidos	48
<b>Figuras</b>	
número de figuras	522
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{522}{256} = 2,039$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	51
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{51}{256} = 0,199$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	53
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	80
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	59

### Autores referidos

1	Timoshenko, S. P.
---	-------------------

2	Todhunter, I.
3	Pearson, K.
4	Love, A. E. H.
5	Jacob Bernoulli
6	Victor Poncelet
7	Thomas Young
8	Robert Hooke
9	Siméon Denis Poisson
10	Goodier, J. N.
11	Oravas, G. A.
12	McLean, L.
13	Louis Marie Henri Navier
14	Young, D. H.
15	Goldsmith, W.
16	Piobert, G.
17	Morin, A. J.
18	Didion, I.
19	Lüders, W.
20	Fell, E. W.
21	Turner, T. H.
22	Jevons, J. D.
23	Mohr, O. C.
24	Cauchy, A. L.
25	Rankine, W. J. M.
26	Saint-Venant, B.
27	Hetényi, M.
28	Dally, J. W.
29	Riley, W. F.
30	Coulomb, C. A.
31	Bredt, R.
32	Flügge, W.
33	Gere, J. M.
34	Fazekas, G. A.
35	Jourawski, D. J.
36	Culmann, K.
37	Ranov, T.
38	Wolko, H. S.
39	Maki, A. C.
40	Kuenzi, E. W.
41	Plantema, F. J.
42	Bresse, J. A. C.
43	Bernoulli, D.
44	Bernoulli, J.
45	L'Hopital, G. F. A.
46	Struik, D. J.
47	Newman, T. R.
48	Cajori, F.
49	Greene, C. E.
50	Hildebrand, F. B.
51	Salama, A. E.
52	Moody, M. L.
53	Sawyer, D. A.
54	Cowper, G. R.
55	Lagrange, J. L.
56	Plana, G. A. A.
57	Born, M.
58	Euler, L.
59	Castigliano, C. A. P.

60	Southwell, R. V.
61	Frisch-Fay, R.
62	Eisley, J. G.
63	Reddick, H. W.
64	Miller, F. H.
65	Jahnke, E.
66	Emde, F.
67	Belyakov, V. M.
68	Kravtsova, P. I.
69	Rapport, M. G.
70	Fettis, H. E.
71	Caslin, J. C.
72	Rojahn, c.
73	Bisshopp, K. E.
74	Drucker, D. C.
75	Barten, H. J.
76	Rohde, F. V.
77	Kirchhoff, G. R.
78	Clapeyron, B. P. E.
79	Bertot, H.
80	Zaslavsky, A.

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	2
2	objetividade	2
3	clareza	2
4	precisão	2
5	didática	2
6	coerência	2
7	elegância	2
8	rigor	2
9	correção	2
10	sobriedade	2
11	adequação	2
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	3
	total	27
	média	2,07

### Observações finais

O livro é uma “adaptação” do livro de Timoshenko. Não apresenta nenhuma “melhora”, em relação ao original. Pelo contrário.

O livro que analisamos é uma tradução que, como costuma acontecer, traz diversas distorções.

**4.15. Livro 11**  
**“Resistência dos Materiais”**  
 Beer / Johnston  
 1995

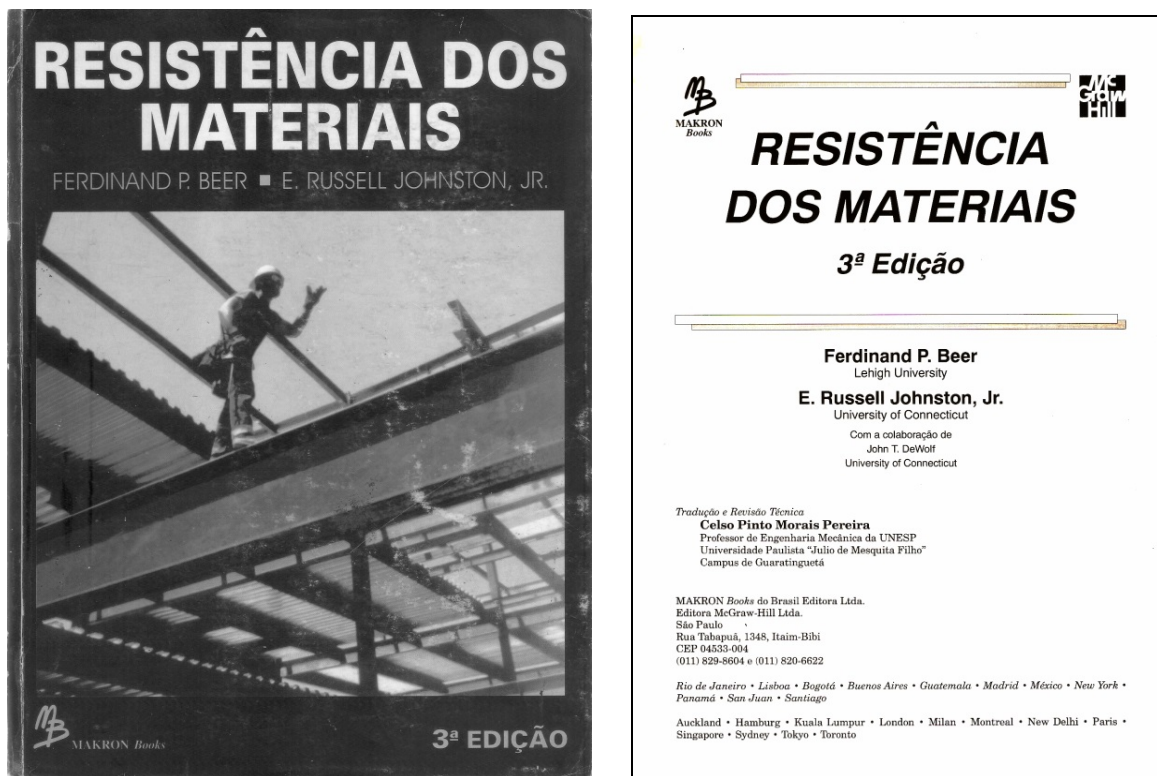


Figura 98.

À página 1, lemos:

## Capítulo 1

### INTRODUÇÃO – CONCEITO DE TENSÃO

#### 1.1 INTRODUÇÃO

(...)

Após uma pequena introdução (Sec. 1.2), enfatizando a diferença entre *forças* e *tensões* (...)

À página 2, na seção 1.2, “FORÇAS E TENSÕES”, para chegar ao conceito de tensão, os autores propõem a análise da estrutura mostrada na Fig. 1.1, passando pelas figuras seguintes:



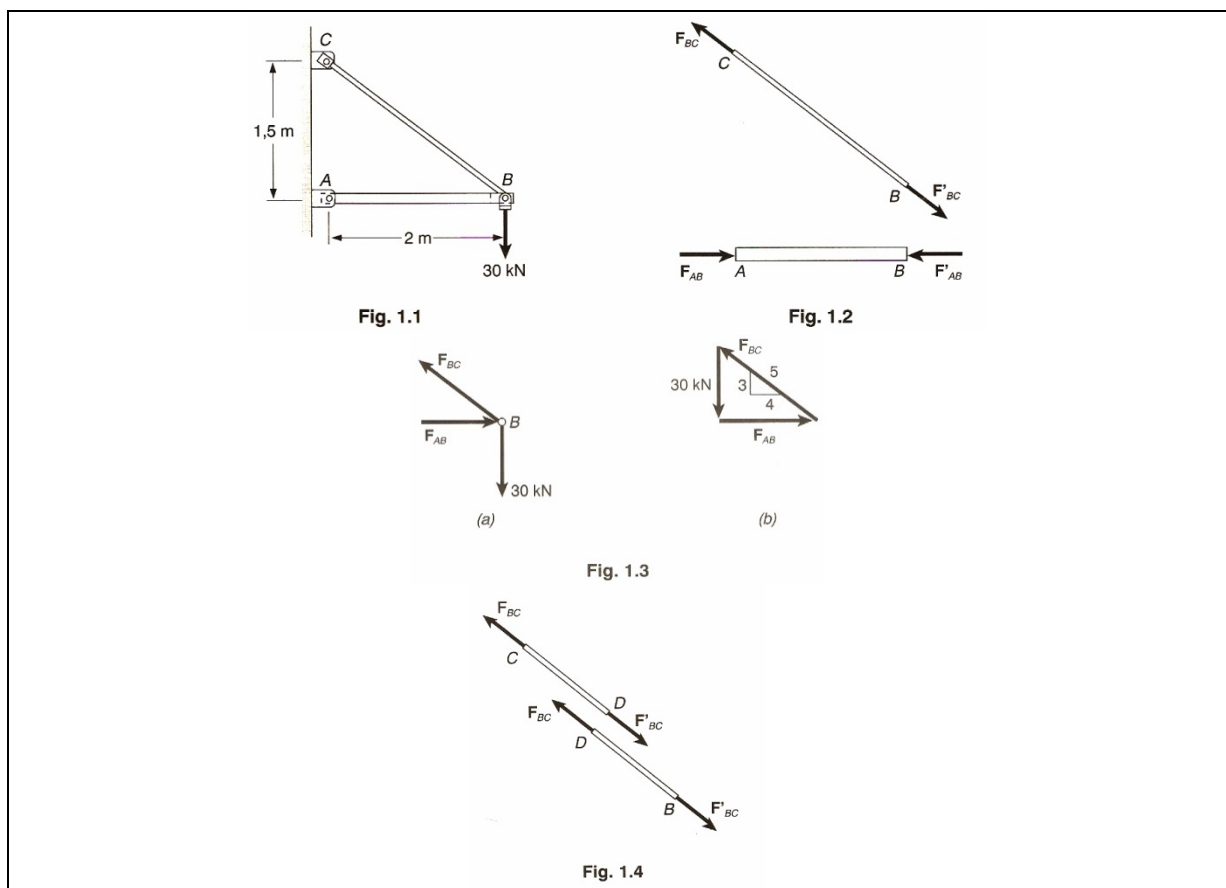
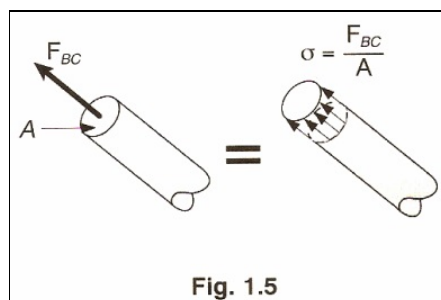


Figura 99.

(...)

Os resultados obtidos representam o primeiro passo na análise da estrutura, mas não nos levam à conclusão de que a carga pode ser suportada com segurança. O fato de a barra BC, por exemplo, suportar a força interna que lhe é aplicada, ou se quebrar sob a ação dessa força, não depende só do valor encontrado para o esforço interno, mas também da área da seção transversal da barra e do material com que ela foi construída. Na verdade a força interna  $F_{BC}$  realmente representa a resultante de forças elementares que se encontram distribuídas em toda a área da seção transversal da barra BC (Fig. 1.5).

Fig. 1.5  
Figura 100.

A intensidade dessas forças distribuídas é igual à força por unidade de área  $F_{BC}/A$ , na seção transversal. O fato de a barra BC se quebrar ou não sob a ação da força  $F_{BC}$  depende, então, da capacidade do material resistir à intensidade das forças distribuídas. Em suma, a ruptura da barra depende da força  $F_{BC}$ , da área da seção transversal e das características do material que a constitui.

Essa foi a tradução do seguinte texto, do livro original<sup>26</sup>:

While the results obtained represent a first and necessary step in the analysis of the structure, they do not tell us whether the given load may be safely supported. Whether rod BC, for example, will break or not under this loading depends not only upon the value found for the internal force  $F_{BC}$ , but also upon the cross-sectional area of the rod and the material of which the rod is made. Indeed, the internal force  $F_{BC}$  actually represents the resultant of elementary forces distributed over the entire area  $A$  of the cross section (Fig 1.5) and the intensity of these distributed forces is equal to the force per unit area,  $F_{BC}/A$ , in the section. Whether or not the rod will break under the given loading clearly depends upon the ability of the material to withstand the corresponding value  $F_{BC}/A$  of the intensity of the distributed internal forces. It thus depends upon the force  $F_{BC}$ , the cross-sectional area  $A$ , and the material of the rod.<sup>27</sup> (BEER – JOHNSTON, 1992, p. 2 e 3)

### Análises e comentários

A frase

“Whether rod BC, for example, will break or not under this loading depends not only upon the value found for the internal force  $F_{BC}$ ”

é traduzida da seguinte forma:

“O fato de a barra BC, por exemplo, suportar a força interna que lhe é aplicada, ou se quebrar sob a ação dessa força”.

Quando, no original, se diz “given load” e, a seguir, “this loading”, os autores estão se referindo à carga externa aplicada à estrutura e não à “força interna”, como aparece na tradução.

“Break” é traduzido como “quebrar”.

O termo “quebrar” não é usado em engenharia, no Brasil. O termo correto é “romper” ou, eventualmente, “fraturar”, mas nunca “quebrar”.

Na verdade a força interna  $F_{BC}$  realmente representa a resultante de forças elementares que se encontram distribuídas em toda a área da seção transversal da barra BC (Fig. 1.5).

<sup>26</sup> BEER, F. P. e JOHNSTON, E. R. Mechanics of Materials. 2<sup>nd</sup>. ed. New York: McGraw-Hill, Inc. 1992

<sup>27</sup> Embora os resultados obtidos representem um primeiro, e necessário, passo na análise da estrutura, eles não nos dizem se a carga pode ser suportada com segurança. Se a barra BC, por exemplo, se romperá, ou não, sob essa carga não depende apenas do valor encontrado para a força interna  $F_{BC}$ , mas, também, da área da seção transversal da barra e do material de que a barra é feita. De fato, a força interna  $F_{BC}$  realmente representa a resultante das forças elementares distribuídas por toda a área  $A$  da seção transversal (Fig. 1.5) e a intensidade dessas forças distribuídas é igual à força por unidade de área,  $F_{BC}/A$ , na seção. Se a barra se romperá ou não sob a carga, claramente depende da capacidade do material suportar o correspondente valor  $F_{BC}/A$  da intensidade das forças distribuídas internamente. Isso, portanto, depende da força  $F_{BC}$ , da área da seção transversal,  $A$ , e do material da barra.

Aqui, o leitor é remetido à Fig. 1.5 que deveria ilustrar as “forças elementares” distribuídas por toda a área da seção transversal. Entretanto, na Fig. 1.5 vemos que ao lado das setas está escrito  $\sigma = \frac{F_{BC}}{A}$ . Conclui-se que, para os autores, “forças elementares” e tensão são a mesma coisa, o que não é verdade.

A intensidade dessas forças distribuídas é igual à força por unidade de área  $F_{BC}/A$ , na seção transversal.

Aqui temos a confirmação de que os autores confundem forças com tensões.

À página 4, lemos:

A força por unidade de área ou a intensidade das forças distribuídas numa certa seção transversal é chamada tensão atuante, nessa seção e é indicada pela letra grega  $\sigma$  (sigma). A tensão em uma barra de seção transversal  $A$ , sujeita a uma força axial  $P$  (Fig. 1.6), é então obtida dividindo-se o módulo  $P$  da força pela área  $A$ :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

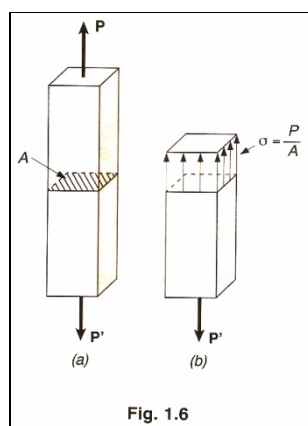


Fig. 1.6  
Figura 101.

O texto original diz o seguinte:

The force per unit area, or intensity of forces distributed over a given section, is called the *stress* on that section and is denoted by the Greek letter  $\sigma$  (sigma). The stress in a member of cross-sectional area  $A$  subjected to an axial load  $P$  (Fig. 1.6) is therefore obtained by dividing the magnitude  $P$  of the load by the area  $A$ <sup>28</sup>  
(BEER – JOHNSTON, 1992, p. 3)

## Análises e comentários

<sup>28</sup> A força por unidade de área, ou a intensidade das forças distribuídas numa dada seção, é chamada tensão naquela seção e é denotada pela letra grega  $\sigma$  (sigma). A tensão em um membro de área transversal  $A$  sujeito a uma carga axial  $P$  (Fig. 1.6) é, portanto, obtida pela divisão da magnitude  $P$  da carga pela área  $A$ .

“A força por unidade de área” não é a mesma coisa que “a intensidade das forças distribuídas numa certa seção transversal”, como o texto faz crer.

Temos aqui mais um erro de tradução que pode ser considerado grave: “dividing the magnitude P” é traduzido como “dividindo-se o módulo P”.

O correto seria “dividindo-se a intensidade da força P”, ou “dividindo-se a intensidade P”.

No capítulo 2, “TENSÃO E DEFORMAÇÃO – CARREGAMENTO AXIAL”, à página 65, lemos:

## 2.2 DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA NORMAL SOB CARREGAMENTO AXIAL

Vamos considerar uma barra BC, de comprimento L e seção transversal de área A, que é suspensa do ponto B (Fig. 2.1a). Se aplicarmos uma carga P na extremidade C, a barra se alonga (Fig. 2.1b). Marcando-se os valores da intensidade da força P e os correspondentes valores de deformação  $\delta$  (letra grega delta), nós certamente obteremos um diagrama carga-deformação (Fig. 2.2). Todavia, este diagrama contém informações úteis para o estudo da barra considerada, mas não pode ser usado diretamente para prever deformações de outras barras de mesmo material e que tenham outras dimensões.

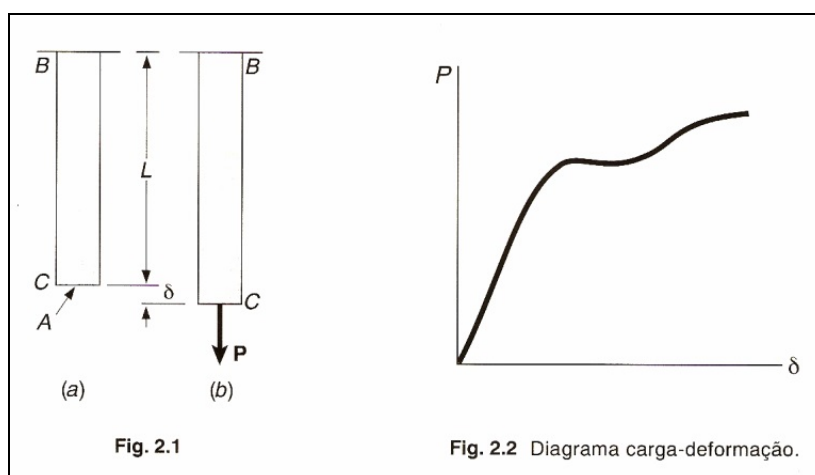


Figura 102.

Notamos que, se uma deformação é causada na barra BC pela carga P, uma carga  $2P$  é necessária para causar a mesma deformação na barra  $B'C'$ , de mesmo comprimento L e com seção transversal de área igual a  $2A$  (Fig. 2.3). Note que, em ambos os casos, o valor da tensão é a mesma:  $\sigma = P / A$ . Por outro lado, a carga P aplicada a uma barra  $B''C''$ , de mesma área da seção transversal A, mas de comprimento  $2L$ , provoca uma deformação de  $2\delta$  nesta barra (Fig. 2.4), isto é, o dobro da deformação produzida em BC. Em ambos os casos, a razão entre a deformação e o comprimento da barra é a mesma, igual a  $\delta / L$ . Esta observação nos

leva à introdução do conceito de deformação específica. Nós definimos a deformação específica normal de uma barra sob carga axial como a deformação por unidade de comprimento desta barra. Expressamos a deformação específica normal por  $\varepsilon$  (letra grega epsilon), assim

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

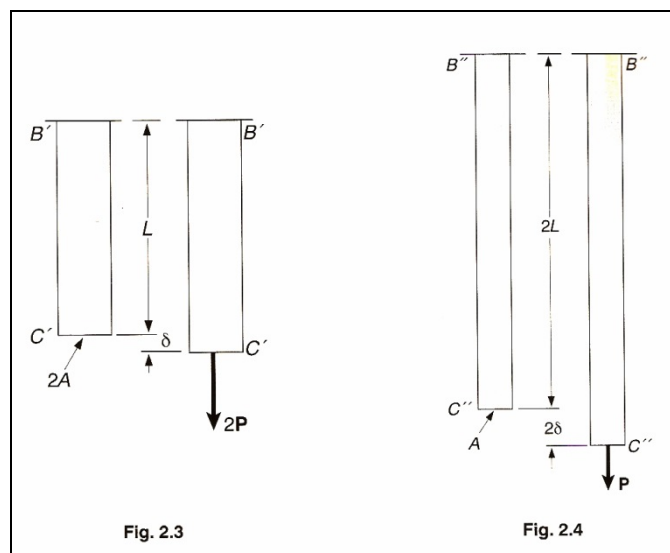


Figura 103.

### Análises e comentários

Neste parágrafo há dois pequenos erros sem muita importância, mas que mostram problemas encontrados em todo o livro:

(...) o valor da tensão é a mesma (...)

O correto seria “o valor da tensão é o mesmo”.

(...) barra B''C'', de mesma área da seção transversal A (...)

O correto seria “barra A'' B''”, cuja seção transversal tem a mesma área A”

Há também um exemplo do excesso de explicações verificado em todo o texto:

(...) provoca uma deformação de  $2\delta$  nesta barra (Fig. 2.4), isto é, o dobro da deformação produzida em BC.

Os autores acham necessário explicar que  $2\delta$  é o dobro de  $\delta$ .

À página 76, lemos:

## 2.5 LEI DE HOOKE; MÓDULO DE ELASTICIDADE

As estruturas correntes são projetadas de modo a sofrerem apenas pequenas deformações, que não ultrapassem os valores do diagrama tensão-deformação correspondentes ao trecho reto do diagrama. Na parte inicial do diagrama, a tensão  $\sigma$  é diretamente proporcional à deformação específica  $\varepsilon$  e podemos escrever

$$\sigma = E \varepsilon$$

Essa relação é conhecida como *Lei de Hooke*, e se deve ao matemático inglês Robert Hooke (1635-1703). O coeficiente  $E$  é chamado *módulo de elasticidade* do material, ou *módulo de Young* (cientista inglês, 1773-1829).

### Análises e comentários

Aqui fazemos a mesma observação já feita para outros livros : essa não é uma equação devida a Hooke. A “lei de Hooke” estabelece uma relação entre força e deformação. Hooke não fala em tensão nem em deformação específica. Além disso, o módulo de elasticidade ( $E$ ) só seria definido por Thomas Young muito tempo depois.

À página 81, lemos:

## 2.8 DEFORMAÇÕES DE BARRAS SUJEITAS A CARGAS AXIAIS

Tomemos uma barra homogênea BC de comprimento  $L$  e seção transversal uniforme de área  $A$  sujeita à força axial centrada  $P$  (Fig. 2.20). Se a tensão atuante  $\sigma = P / A$  não exceder o limite de proporcionalidade do material, podemos aplicar a Lei de Hooke e escrever:

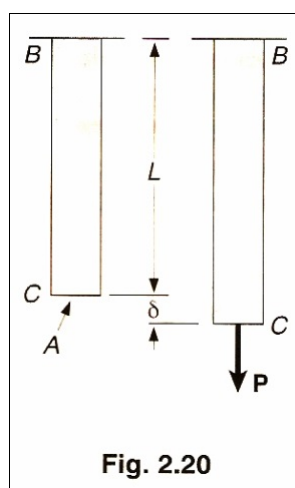


Figura 104.

$$\sigma = E \varepsilon$$

segue-se então que

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{AE}$$

Na Sec. 2.2 foi definida a deformação específica normal  $\varepsilon = \delta / L$ , portanto

$$\delta = \varepsilon L$$

e, fazendo a substituição temos:

$$\delta = \frac{P L}{S E}$$

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	210 x 275
número de páginas	1255
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	1655
número de problemas resolvidos	171
<b>Figuras</b>	
número de figuras	3015
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{3015}{1255} = 2,402$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	112
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{112}{1255} = 0,089$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	101
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	19
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	9

Autores referidos	
1	Castigliano, A.
2	Mohr, O.
3	Poisson, S. D.
4	Coulomb, C. A.
5	Hooke, R.
6	Macaulay, W. H.
7	Maxwell, J. C.
8	Saint-Venant, A. B.
9	Tresca, H. E.
10	Von Mises, R.
11	Young, T.
12	Euler, L.
13	Beer, F. P.
14	Johnston, E. R.
15	Timoshenko, S. P.
16	Goodier, J. N.
17	Jacobsen, L. S.
18	Frocht, M. M.
19	Bauschinger, j.

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	1
2	objetividade	2
3	clareza	3
4	precisão	2
5	didática	3
6	coerência	3
7	elegância	2
8	rigor	2
9	correção	2
10	sobriedade	1
11	adequação	2
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	1
	total	26
	média	2,0

### Observações finais

O livro se estende em demasia em algumas explicações e tem problemas de tradução.



**4.16. Livro 12**  
**“Resistência dos Materiais”**  
 R. C. Hibbeler  
 2004

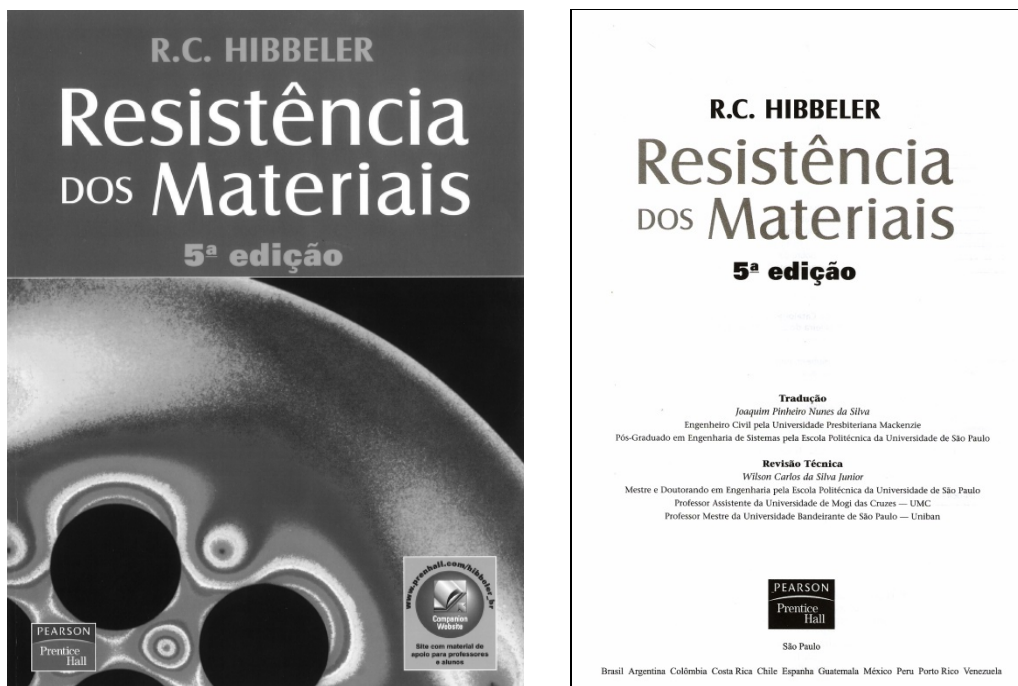


Figura 105.

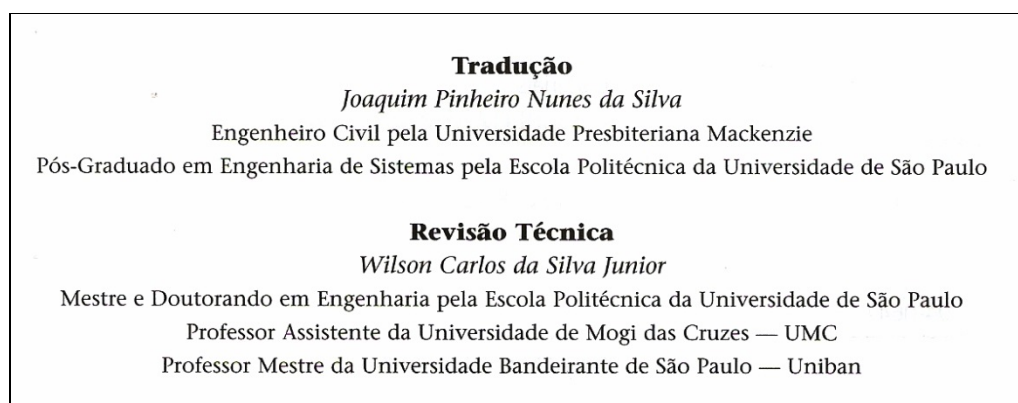


Figura 106.

À página IX, lemos:

**PREFÁCIO**

Este livro tem por objetivo oferecer ao aluno uma apresentação clara e completa tanto da teoria como da aplicação dos princípios fundamentais da resistência dos materiais. A compreensão do assunto baseia-se na explanação do comportamento

físico dos materiais sob carga e na modelagem desse comportamento para desenvolver a teoria. A ênfase é dada à importância de satisfazer as condições de equilíbrio, compatibilidade da deformação e comportamento do material.

## Análises e comentários

O texto não tem nexos.

---

Mais adiante, ainda no “Prefácio”, à página X, lemos:

### Características Especiais

**Verificação da Precisão.** Nesta edição houve verificação e revisão rigorosas das páginas. Além da revisão do autor de todas as figuras e páginas, Karin Nohra, da University of South Florida, e Scott Hendricks, do Virginia Polytechnic Institute, reverificaram as provas das páginas duas vezes e juntos revisaram integralmente o Manual de Soluções.

Finalizando o “Prefácio”, à página XI, lemos:

### Agradecimentos

Ao longo dos anos, este texto foi desenvolvido com as sugestões e comentários de muitos dos meus colegas professores. Seu encorajamento e vontade de fornecer crítica construtiva foram muito apreciados e espero que aceitem este reconhecimento anônimo.

Agradeço aos revisores: Patrick Kwon da Michigan State University, Cliff Lissenden da Penn State University, Dahsin Liu da Michigan State University, Ting-Wen Wu da University of Kentucky, Javad Hashemi da Texas Tech University e Assimina Pelegri da Rutgers – State University of New Jersey. Um agradecimento especial a Karin Nohra da University of South Florida e Scott Hendricks do Virginia Polytechnic Institute, que verificaram, rigorosamente tanto o texto como o Manual de Soluções. Quero também agradecer a todos os meus alunos que usaram a edição anterior e fizeram comentários para melhorar seu conteúdo. (...)

## Análises e comentários

Observamos que Hibbeler se preocupa sobremaneira em convencer o leitor de que seu livro foi rigorosamente revisado por pessoas ligadas a universidades, o que, supostamente, daria credibilidade ao livro. Contudo, o livro apresenta incontáveis erros.

---

À página 1, lemos:

## 1 TENSÃO

### 1.1 INTRODUÇÃO

A **resistência dos materiais** é um ramo da mecânica que estuda as relações entre cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das *forças internas* que atuam dentro do corpo. Esse assunto abrange também o cálculo da *deformação* do corpo e o estudo da sua estabilidade, quando ele está submetido a forças externas.

### Análises e comentários

Esse pequeno parágrafo merece várias observações:

(...) **resistência dos materiais** é um ramo da mecânica (...)

Deveria ser com letras iniciais maiúsculas: “Resistência dos Materiais é um ramo da Mecânica”.

A **resistência dos materiais** é um ramo da mecânica que estuda as relações entre cargas externas aplicadas a um corpo deformável e a intensidade das *forças internas* que atuam dentro do corpo.

Essa definição de Resistência dos Materiais está incorreta. Resistência dos Materiais não é isso.

(...) *forças internas* que atuam dentro do corpo.

Há aqui um pleonasma que reflete bem a qualidade do texto.

Esse assunto abrange também o cálculo da *deformação* do corpo (...)

Qual assunto? A Resistência dos Materiais?

“Abrange o cálculo da deformação do corpo”?

1. a Resistência dos Materiais não “abrange” o cálculo das deformações: o cálculo das deformações é um dos aspectos essenciais da Resistência dos Materiais;
2. não se trata do cálculo da deformação “do corpo”: na Resistência dos Materiais são calculadas as deformações sofridas pelas estruturas (ou pelos elementos estruturais) quando sujeitas a cargas.

(...) e o estudo da sua estabilidade, quando ele está submetido a forças externas.

“Estabilidade” é uma disciplina específica, normalmente denominada “Estabilidade das Construções”.

Na seção 1.2, “EQUILÍBRIO DE UM CORPO DEFORMÁVEL”, à página 4, Hibbeler faz uma revisão de Estática e apresenta o chamado “método das seções”, fazendo uso das ilustrações mostradas na “Figura 1.2”:

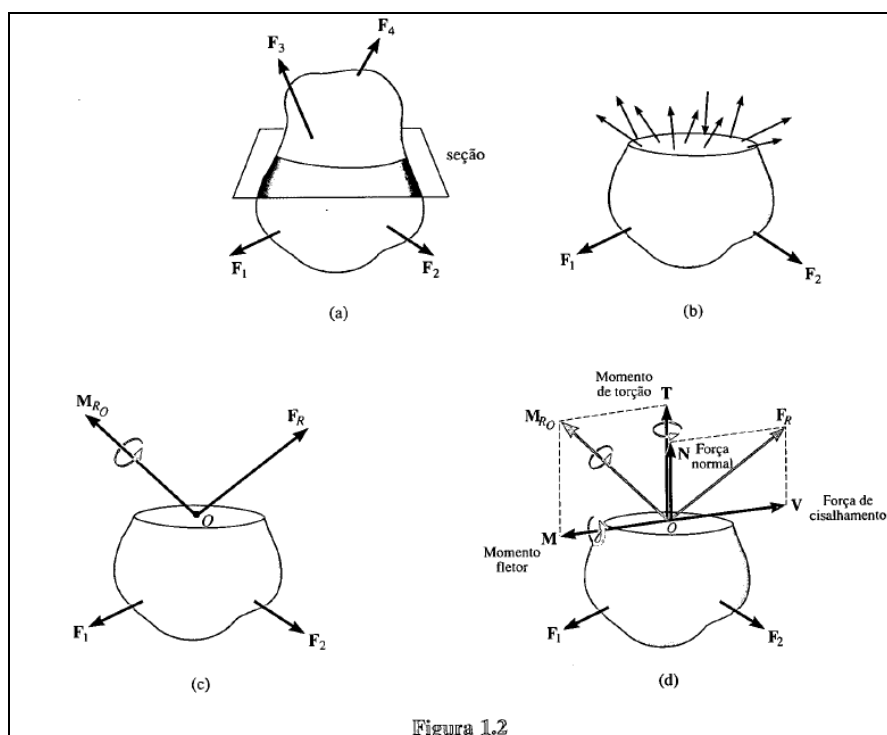


Figura 1.2  
Figura 107.

### Análises e comentários

Há aqui um excesso de informações desnecessárias para a introdução do conceito de tensão.

Do ponto de vista da didática, a seção 1.2 é muito ruim.

À página 15, lemos:

### 1.3 TENSÃO

Vimos na Seção 1.2 que a força e o momento que atuam em determinado ponto na área da seção de um corpo (Figura 1.9) representam os efeitos resultantes da *distribuição da força* que atua na área seccionada (Figura 1.10b). Determinar a

*distribuição* das cargas internas é de primordial importância na resistência dos materiais. Para resolver esse problema é necessário estabelecer o conceito de tensão.

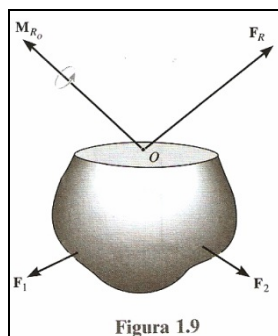


Figura 1.9

Figura 108.

## Análises e comentários

O texto não faz sentido.

Continuando à página 15, lemos:

Considere que a seção da área seja subdividida em áreas pequenas, tal como  $\Delta A$  mostrada em sombreado escuro na Figura 1.10a. Quando se reduz  $\Delta A$  a tamanhos cada vez menores, devem-se supor duas hipóteses em relação às propriedades do material. Devemos considerar que o material é homogêneo, isto é, possui *continuidade* ou distribuição uniforme de matéria, sem vazios, em vez de ser composto por um número finito de átomos ou moléculas distintos. Além disso, o material deve ser coeso, o que significa que todas as suas partes estão muito bem unidas, em vez de ter trincas, separações ou outras falhas. Uma força típica finita  $\Delta \mathbf{F}$ , mas muito pequena, atuando sobre sua área associada  $\Delta A$  é mostrada na Figura 1.10a. Essa força, como todas as demais, tem direção única, mas para as discussões que se seguem a substituiremos por seus três componentes, a saber  $\Delta F_x$ ,  $\Delta F_y$  e  $\Delta F_z$ , assumindo como tangentes e normal à área, respectivamente. Da mesma forma que a área  $\Delta A$  tende a zero, a força  $\Delta \mathbf{F}$  e seus componentes também tendem a zero; entretanto a relação (divisão) entre a força e a área, em geral, tende para um limite finito. Essa relação é chamada *tensão* e, como observado, descreve a intensidade da força interna sobre um plano específico (área) que passa por determinado ponto.

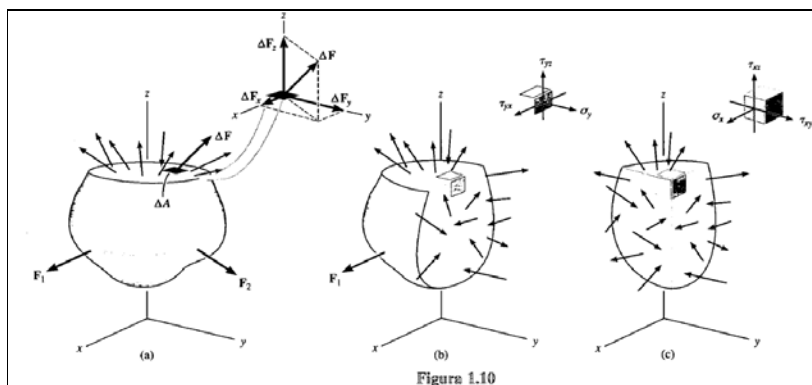


Figura 1.10

Figura 109.

## Análises e comentários

(...) que a seção da área seja subdividida (...)

Deveria ser: “que a área da seção seja subdividida”.

---

(...) devem-se supor duas hipóteses (...)

Não se “supõe hipóteses”. O correto seria “deve-se supor (...)” ou “por hipótese (...)”.

---

Devemos considerar que o material é  $\dots$ , isto é, possui *continuidade* ou distribuição uniforme de matéria, sem vazios, em vez de ser composto por um número finito de átomos ou moléculas distintos. Além disso, o material deve ser coeso, o que significa que todas as suas partes estão muito bem unidas (...)

Aqui há uma contradição: inicialmente, supõe-se que o material não tenha partes e, em seguida, que as suas partes estejam bem unidas.

---

(...) em vez de ter trincas, separações ou outras falhas.

Observação sem nexos.

---

Uma força típica finita  $\Delta F$ , mas muito pequena (...)

O que seria uma “força típica”?

Dizer que a força é “finita” é dizer o óbvio. Em Mecânica não tem significado o conceito de “força infinita”.

“Finita, mas muito pequena”: não tem sentido.

---

Essa relação é chamada *tensão* e, como observado, descreve a intensidade da força interna sobre um plano específico (área) que passa por determinado ponto.

“Plano específico (área)”: escrito dessa forma, está errado.

---

O texto é confuso, impreciso, errático e caótico.

---

À página 16, lemos:

**Tensão Normal.** A *intensidade* da força, ou força por unidade de área, que atua no sentido perpendicular a  $\Delta A$ , é definida como **tensão normal**  $\sigma$  (sigma). Visto que  $\Delta F_z$  é normal à área, então:

$$\sigma_z = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_z}{\Delta A}$$

Se a força normal ou tensão ‘empurra’ o elemento de área  $\Delta A$  como mostrado na Figura 1.10<sup>a</sup>, é denominada *tensão de tração*, ao passo que se ‘puxa’  $\Delta A$  é chamada *tensão de compressão*.

## Análises e comentários

A *intensidade* da força, ou força por unidade de área (...)

“Intensidade da força” e “força por unidade de área” são coisas completamente diferentes. Portanto, a frase está errada.

---

(...) força (...) que atua no sentido perpendicular (...)

Errado. Não é “sentido”. O correto é “direção”.

---

(...)  $\Delta F_z$  é normal à área (...)

Errado. A força não é “normal à área”. A força é normal à superfície ou perpendicular ao plano tangente à superfície, no ponto de tangência.

---

Se a força normal ou tensão (...)

Errado. “Força” e “tensão” são conceitos completamente diferentes.

---

Se a (...) tensão ‘empurra’ o elemento de área  $\Delta A$  como mostrado na Figura 1.10<sup>a</sup>, é denominada *tensão de tração* (...)

Primeiramente, o termo “empurra” não deveria ser usado. Entretanto, o mais grave é que se trata de tensão de compressão.

---

(...) ao passo que se ‘puxa’  $\Delta A$  é chamada *tensão de compressão*.

Novamente, o termo “puxa” não deveria ser usado e, no caso, a tensão é de tração.

---

À página 17, lemos:

### 1.4 TENSÃO NORMAL MÉDIA EM UMA BARRA COM CARGA AXIAL

Frequentemente os elementos estruturais ou mecânicos são compridos e finos. Além disso, são submetidos a cargas axiais geralmente aplicadas nas extremidades.

Elementos de treliça, pendurais e parafusos são exemplos típicos. Nesta seção vamos determinar a distribuição média de tensão que atua na seção transversal de uma barra com carga axial, tal como a barra mostrada na Figura 1.13<sup>a</sup>. Esta seção define a  $\sigma$  da barra e, caso todas as seções transversais sejam iguais, a barra será denominada  $\sigma$ . Se desprezarmos o peso da barra e a seccionarmos como indicado, então, para o equilíbrio do segmento inferior (Figura 1.13b), a resultante da força interna que atua na seção transversal deverá ser igual em intensidade, oposta em direção e colinear à força externa que atua na extremidade inferior da barra.

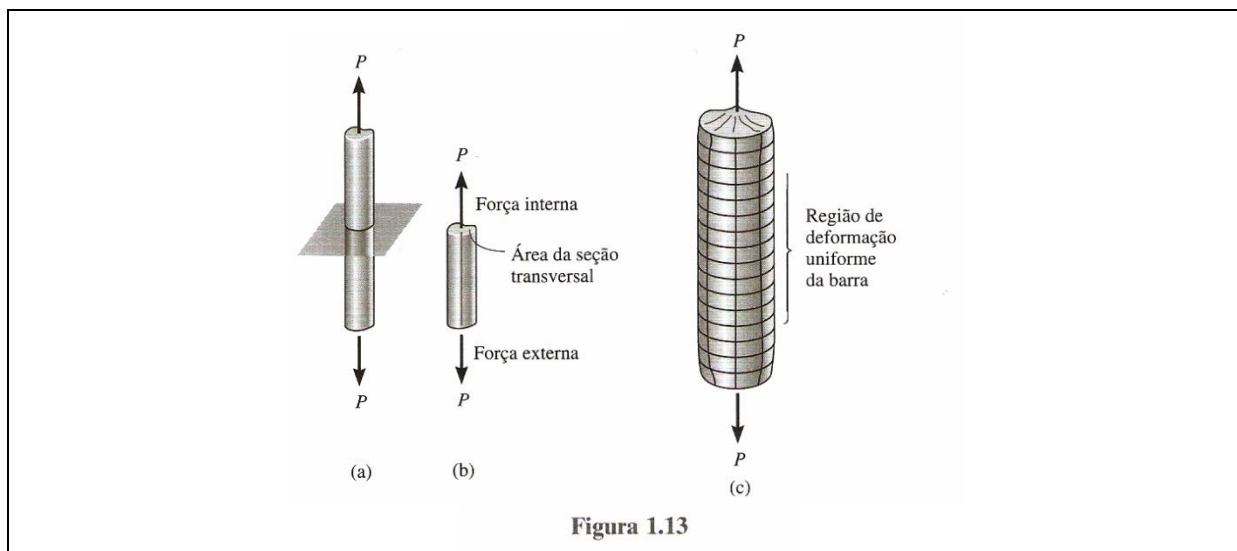


Figura 110.

## Análises e comentários

Frequentemente os elementos estruturais ou mecânicos são compridos e finos.

Essa é uma frase sem sentido:

- o termo “frequentemente”, nesse caso, não significa coisa alguma;
- “elementos estruturais ou mecânicos”: o que se quer dizer? Qual a diferença?
- “os elementos estruturais ou mecânicos são compridos e finos”: essa não é uma terminologia adequada para um curso de engenharia;
- A rigor, dizer que um elemento é comprido e fino não tem sentido.

Além disso, são submetidos a cargas axiais geralmente aplicadas nas extremidades.

A afirmação é absurda.

Elementos de treliça, pendurais (...)

O que são “elementos de treliça”?  
 Treliças são constituídas de diversos elementos.



## O que são “pendurais”?

Nesta seção vamos determinar a distribuição média de tensão que atua na seção transversal de uma barra com carga axial (...)

Está errado. O que o autor quer dizer é que a tensão média será determinada.

Nesta seção vamos determinar a distribuição média de tensão que atua na seção transversal de uma barra com carga axial, tal como a barra mostrada na Figura 1.13<sup>a</sup>. Esta seção define a \_\_\_\_\_ da barra (...)

Temos aqui a palavra “seção” usada quatro vezes para, finalmente, expressar uma noção errada: a “seção” não define a “área da seção transversal”. O que deveria ter sido dito é: a seção transversal tem uma determinada área.

(...) a resultante da força interna que atua na seção transversal deverá ser igual em intensidade, oposta em direção e colinear à força externa (...)

- “a resultante da força”: se se trata de uma força, não tem sentido falar em “resultante”;
- “oposta em direção”: absurdo. O sentido é que é oposto.

À página 17, lemos:

**Hipóteses.** Antes de determinarmos a distribuição média de tensão que atua na área da seção transversal da barra, é necessário estabelecer duas hipóteses simplificadoras referentes à descrição do material e à aplicação específica da carga.

1. É necessário que a barra permaneça reta tanto antes como depois de a carga ser aplicada, e, além disso, a seção transversal deve permanecer plana durante a deformação, isto é, durante o empo em que a barra muda seu volume e sua forma. Se essas duas hipóteses ocorrerem, então as linhas horizontais e verticais da grade inscrita na barra *deformam-se uniformemente* quando a barra está submetida à carga (Figura 1.13c). Não consideraremos as regiões da barra próximas às suas extremidades, onde a aplicação de forças externas pode provocar *distorções localizadas*. Em vez disso, focalizaremos apenas a distribuição de tensão no interior da seção média da barra.

2. A fim de que a barra possa sofrer *deformação uniforme*, é necessário que **P** seja aplicada ao longo do *eixo centróide* da seção transversal e o material seja homogêneo e isotrópico. Um \_\_\_\_\_ possui as mesmas propriedades físicas e mecânicas em todo o seu volume, e um \_\_\_\_\_ possui essas mesmas propriedades em todas as direções. Muitos materiais da engenharia podem ser aproximados como sendo homogêneos e isotrópicos. O aço, por exemplo, contém milhares de cristais orientados aleatoriamente em cada milímetro cúbico de seu volume, mas, como a maioria dos problemas que envolvem esse material tem um tamanho físico muito maior do que um simples cristal, a hipótese referente à composição de seu material é bastante realista. Ressalte-se, porém, que o aço pode tornar-se anisotrópico por laminação a frio, isto é, se for laminado ou forjado em temperaturas subcríticas. Os \_\_\_\_\_ possuem propriedades diferentes em direções diferentes, mas, apesar disso, se a anisotropia for orientada ao longo do eixo da barra, então a barra também se deformará uniformemente quando

submetida a uma carga axial. Por exemplo, a madeira de construção, devido aos seus grãos ou fibras, é um material de engenharia homogêneo e anisotrópico e, portanto, é adequado para a análise seguinte.

## Análises e comentários

Didaticamente, o texto é absurdo: são dadas inúmeras informações que, nesse momento, não só são irrelevantes como indesejáveis: só servem para complicar algo simples.

É necessário que a barra permaneça reta tanto antes como depois de a carga ser aplicada (...)

A Resistência dos Materiais só estuda estruturas sob a ação de cargas. Se a barra não permanecer reta antes de a carga ser aplicada, essa é uma questão que não estará no campo da Resistência dos Materiais.

(...) aplicada ao longo do *eixo centróide* da seção transversal (...)

Não existe “eixo centroide”. O que existe é um eixo que passa pelo centroide das seções transversais.

(...) como a maioria dos problemas que envolvem esse material tem um tamanho físico muito maior do que um simples cristal (...)

“Problemas” não têm “um tamanho físico muito maior do que um simples cristal”.

(...) a madeira de construção, devido aos seus grãos ou fibras (...)

Madeiras não têm “grãos”. Madeiras têm estruturas moleculares. O termo “grão” é usado no caso de materiais que têm estrutura cristalina, como os metais.

3. A fim de que a barra possa sofrer *deformação uniforme*, é necessário que (...) o material seja homogêneo e isotrópico.

(...) a madeira de construção, devido aos seus grãos ou fibras, é um material de engenharia homogêneo e anisotrópico e, portanto, é adequado para a análise seguinte.

Obviamente, há uma contradição: “é necessário que o material seja isotrópico, portanto, sendo a madeira anisotrópica, é adequada”.

À página 18, lemos:

**Distribuição da Tensão Normal Média.** Visto que a barra está submetida a uma deformação uniforme constante, como observado, então a deformação é o resultado de uma tensão normal *constante*  $\sigma$  (Figura 1.13d). O resultado é que cada área  $\Delta A$  da seção transversal está sujeita a uma força  $\Delta F = \sigma \Delta A$ , e o *somatório* das forças que atuam sobre toda a área da seção transversal deve ser equivalente à força interna resultante  $P$  na seção. Se  $\Delta A \rightarrow dA$  e, portanto,  $\Delta F \rightarrow dF$ , então, admitindo que  $\sigma$  seja *constante*, temos:

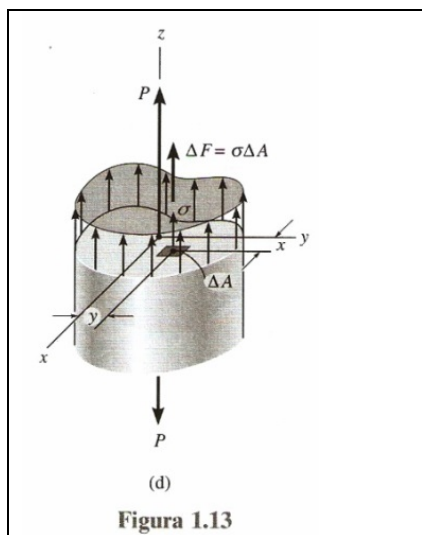


Figura 1.13

Figura 1.11.

$$\int dF = \int_A \sigma dA$$

$$P = \sigma A$$

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Onde:

- $\sigma$  = tensão normal média em qualquer ponto da área da seção transversal
- $P$  = resultante da força normal interna, aplicada no centróide da área da seção transversal.  $P$  é determinada pelo método das seções e pelas equações de equilíbrio
- $A$  = área da seção transversal da barra

## Análises e comentários

(...) tensão normal *constante*  $\sigma$  (...)

Aqui Hibbeler introduz mais um termo desnecessário e incorreto:  $\sigma$  é uma tensão média, não “tensão constante”.

---

Tendo em conta o fato de que o livro é dirigido a estudantes que estão iniciando o estudo da Resistência dos Materiais, a “Figura 1.13(d)” é confusa e tem excesso de informações.

---

$\sigma$  = tensão normal média em qualquer ponto da área da seção transversal

$\sigma$  é um valor médio justamente porque a tensão não é a mesma em todos os pontos da seção, portanto a frase é ilógica.

$P$  = resultante da força normal interna, aplicada no centróide da área da seção transversal.  $P$  é determinada pelo método das seções e pelas equações de equilíbrio

$P$  é apenas a força aplicada à barra.

Hibbeler continua sua explanação e, a partir da página 20, apresenta quatro exemplos de aplicação. Selecionamos o segundo exemplo e o reproduzimos integralmente:

**EXEMPLO 1.7**

A luminária de 80 kg é suportada por duas hastes  $AB$  e  $BC$  como mostra a Figura 1.17a. Se  $AB$  tem diâmetro de 10 mm, e  $BC$  tem diâmetro de 8 mm, determinar a tensão normal média em cada haste.

**Figura 1.17**

**SOLUÇÃO**

**Carga Interna.** Devemos determinar primeiro a força axial em cada haste. O diagrama de corpo livre da luminária é mostrado na Figura 1.17b. Aplicando as equações de equilíbrio das forças, obtemos:

$$\begin{aligned} \pm \sum F_x = 0; & \quad F_{BC}\left(\frac{4}{5}\right) - F_{BA} \cos 60^\circ = 0 \\ +\uparrow \sum F_y = 0; & \quad F_{BC}\left(\frac{3}{5}\right) + F_{BA} \sin 60^\circ - 784,8 \text{ N} = 0 \\ & \quad F_{BC} = 395,2 \text{ N}, \quad F_{BA} = 632,4 \text{ N} \end{aligned}$$

Pela terceira lei de Newton referente à ação, essas forças, iguais mas de reação oposta, submetem a haste à tração em todo seu comprimento.

**Tensão Normal Média.** Aplicando a Equação 1.6, temos:

$$\sigma_{BC} = \frac{F_{BC}}{A_{BC}} = \frac{395,2 \text{ N}}{\pi(0,04 \text{ m})^2} = 7,86 \text{ MPa} \quad \text{Resposta}$$

$$\sigma_{BA} = \frac{F_{BA}}{A_{BA}} = \frac{632,4 \text{ N}}{\pi(0,005 \text{ m})^2} = 8,05 \text{ MPa} \quad \text{Resposta}$$

A distribuição da tensão normal média que atua na seção transversal da haste  $AB$  é mostrada na Figura 1.17c; em um ponto qualquer dessa seção transversal, um elemento de material é tensionado como mostrado na Figura 1.17d.

Figura 112. Exemplo de Hibbeler.

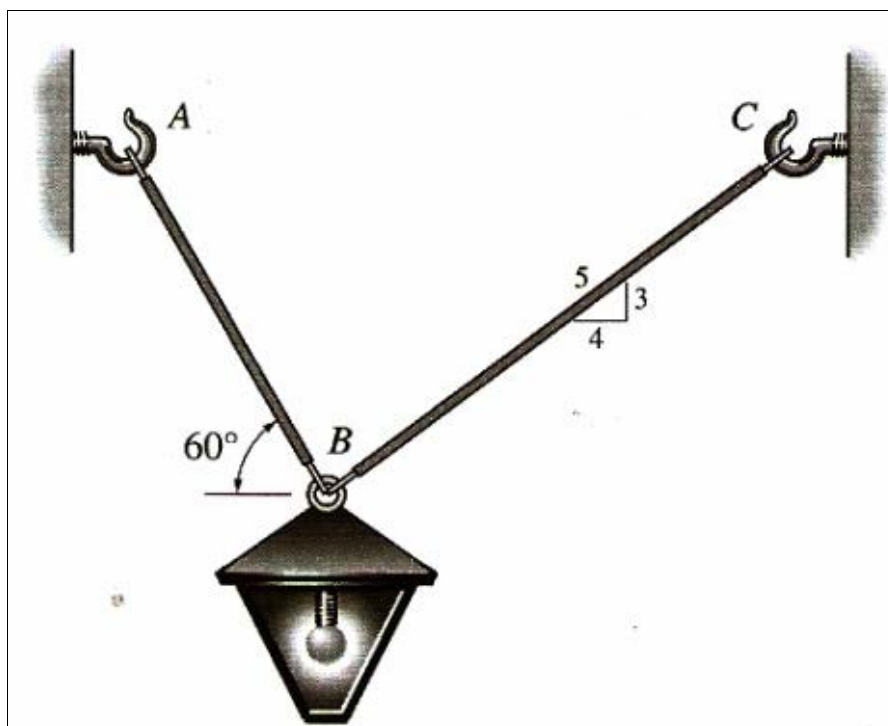


Figura 113. Detalhe do exemplo.

### Análises e comentários

Para estudar o caso de uma carga suspensa, Hibbeler usa como exemplo uma “luminária”, o que não é apropriado para um curso de engenharia;

“A luminária de 80 kg é suportada por duas hastes”: o uso de “hastes”, nesse caso, não tem cabimento. Além disso, são mostrados “ganchos” do tipo usado para suportar redes. Assim, se se quisesse reproduzir uma condição próxima da realidade, e com alguma coerência, a “luminária” deveria ser suportada por cabos;

O desenho mostra que, nas extremidades (onde são “fixadas” aos ganchos e à luminária), os diâmetros das hastes são menores. Portanto, essas são as regiões críticas. Assim, do ponto de vista da análise estrutural e do ensino da Resistência dos Materiais, o cálculo das tensões nos trechos das hastes em que os diâmetros são maiores é um grande erro.

Pela terceira lei de Newton referente à ação, essas forças, iguais mas de reação oposta, submetem a haste à tração em todo seu comprimento.

É incorreto dizer “terceira lei de Newton referente à ação”: a “terceira lei de Newton” trata do “princípio da ação e reação”;

Pela terceira lei de Newton referente à ação, essas forças, iguais mas de reação oposta (...)

A frase não tem nexos.

(...) submetem a haste à tração em todo seu comprimento.

As hastes ficam sujeitas à tração, simplesmente.

A distribuição da tensão normal média que atua na seção transversal da haste AB  
(...)

A frase não tem sentido:  $\sigma$  é apenas um valor médio calculado dividindo-se a força que atua na seção pela área da seção.

A distribuição da tensão normal média que atua na seção transversal da haste AB é mostrada na Figura 1.17c;

Figuras como a 1.17c não contribuem para a compreensão do conceito de tensão. Pelo contrário: criam à falsa impressão de que tensão e força são similares quando, na verdade, são conceitos diferentes. No caso, o leitor é levado a pensar que uma força de 632,4N é equilibrada por uma tensão de 8,05MPa, o que, conceitualmente, está errado.

(...) um elemento de material é tensionado como mostrado na Figura 1.17d.

Está errado. A tensão num elemento não é conhecida.  
8,05MPa é o valor da tensão média na seção.

À página 51, lemos:

## 2 DEFORMAÇÃO

### 2.1 DEFORMAÇÃO

Quando uma força é aplicada a um corpo, tende a mudar a forma e o tamanho dele. Tais mudanças são denominadas  $\epsilon$  e podem ser perfeitamente visíveis ou praticamente imperceptíveis sem o uso de equipamento para fazer medições precisas. Por exemplo, uma tira de borracha sofre deformação muito grande quando esticada. Por outro lado, ocorrem apenas pequenas deformações de membros estruturais quando um edifício é ocupado por pessoas movimentando-se. O corpo também pode sofrer deformação quando sua temperatura muda. Um exemplo típico é a expansão ou a contração de um telhado provocadas pelas condições atmosféricas.

De maneira geral, a deformação do corpo não é uniforme em todo o seu volume e, assim, a mudança na geometria de qualquer segmento de reta do corpo pode variar ao longo do comprimento. Por exemplo, uma parte da reta pode alongar-se, enquanto outra pode contrair-se. Entretanto, à medida que se consideram segmentos de reta cada vez menores eles permanecem retos após a deformação e, assim, para estudar mudanças de deformação de maneira mais uniforme, consideraremos as retas como muito pequenas e localizadas na vizinhança de um ponto. Desse modo, imagina-se que qualquer segmento de reta localizado em um ponto do corpo muda com valor diferente do segmento localizado em algum outro ponto. Além disso, essas mudanças também dependem da orientação do segmento de reta no ponto. Por

exemplo, um segmento de reta pode alongar-se quando orientado em uma direção e contrair-se quando orientado em outra.

## Análises e comentários

Quando uma força é aplicada a um corpo, tende a mudar a forma e o tamanho dele.

A premissa número um da Resistência dos Materiais é que todos os corpos são deformáveis. Portanto, quando uma força é aplicada num corpo ele é deformado e não “tende” a se deformar.

Tais mudanças são denominadas  e podem ser perfeitamente visíveis ou praticamente imperceptíveis sem o uso de equipamento para fazer medições precisas.

Há situações em que as deformações são visíveis a olho nu, há outras em que as deformações só podem ser detectadas através da utilização de instrumentos.

Por exemplo, uma tira de borracha sofre deformação muito grande quando esticada.

O exemplo, da maneira como é apresentado, não é válido.

O termo “esticar” não é apropriado neste contexto.

A deformação uma “tira de borracha” depende:

- do material de que é feita a “borracha”;
- das dimensões da “tira”;
- da carga aplicada.

O que significa “muito grande” ?

(...) ocorrem apenas pequenas deformações de membros estruturais quando um edifício é ocupado por pessoas movimentando-se.

O exemplo é esdrúxulo.

Um exemplo típico é a expansão ou a contração de um telhado provocadas pelas condições atmosféricas.

Este, certamente, não é um “exemplo típico”. É, isto sim, mais um exemplo esdrúxulo.

De maneira geral, a deformação do corpo não é uniforme em todo o seu volume e, assim, a mudança na geometria de qualquer segmento de reta do corpo pode variar ao longo do comprimento. Por exemplo, uma parte da reta pode alongar-se, enquanto outra pode contrair-se. Entretanto, à medida que se consideram segmentos de reta cada vez menores eles permanecem retos após a deformação e, assim, para estudar mudanças de deformação de maneira mais uniforme, consideraremos as retas

como muito pequenas e localizadas na vizinhança de um ponto. Desse modo, imagina-se que qualquer segmento de reta localizado em um ponto do corpo muda com valor diferente do segmento localizado em algum outro ponto. Além disso, essas mudanças também dependem da orientação do segmento de reta no ponto. Por exemplo, um segmento de reta pode alongar-se quando orientado em uma direção e contrair-se quando orientado em outra.

O texto é absurdo.

Continuando à página 51, lemos:

## 2.2 CONCEITO DE DEFORMAÇÃO

A fim de descrever a deformação por meio de mudanças no comprimento dos segmentos de reta e mudanças dos ângulos entre eles, desenvolveremos seu conceito. As medições de deformações são feitas, na prática, por meio de experimentos e, uma vez obtidos seus valores, é possível relacioná-los às cargas aplicadas ou às tensões que atuam no interior do corpo, como mostraremos na próxima seção.

**Deformação Normal.** O alongamento ou a contração de um segmento de reta por unidade de comprimento é denominada *deformação normal média*. Para desenvolver uma definição formal de deformação normal, consideremos a reta  $AB$ , contida no interior do corpo sem deformação mostrado na Figura 2.1a. A reta localiza-se ao longo do eixo  $n$  e tem comprimento original de  $\Delta s$ . Após a deformação, os pontos  $A$  e  $B$  são deslocados para as posições  $A'$  e  $B'$ , e a reta torna-se uma curva, tendo comprimento de  $\Delta s'$  (Figura 2.1b). A mudança de comprimento da reta é, portanto,  $\Delta s' - \Delta s$ . Se definirmos a *deformação normal média* usando o símbolo  $\epsilon_{\text{méd}}$  (epsilon), então:

$$\epsilon_{\text{méd}} = \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s}$$

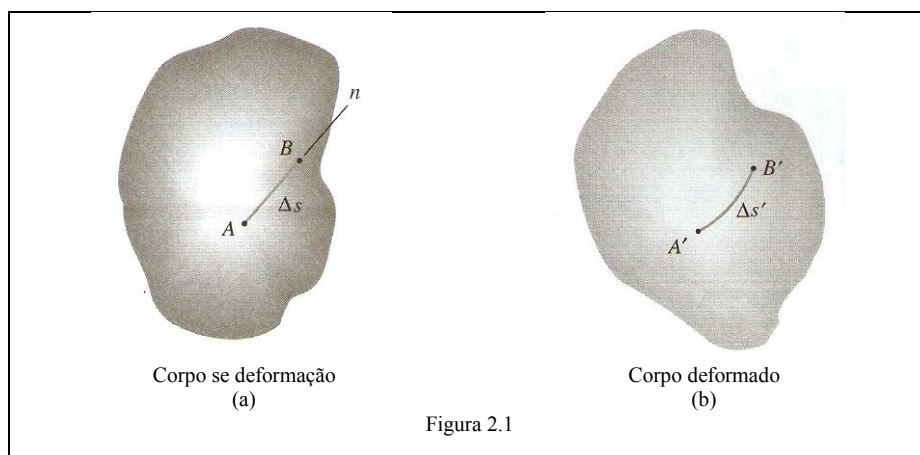


Figura 2.1

Figura 114.

Como  $B$  é escolhido cada vez mais próximo do ponto  $A$ , o comprimento da reta torna-se cada vez menor, de modo que  $\Delta s \rightarrow 0$ . Além disso, isso faz com que  $B'$  aproxime-se de  $A'$ , tal que  $\Delta s' \rightarrow 0$ . Como consequência, no limite, a deformação normal no ponto  $A$  e na direção  $n$  é:



$$\varepsilon = \lim_{B \rightarrow A \text{ eixo } n} \frac{\Delta s' - \Delta s}{\Delta s}$$

## Análises e comentários

A fim de descrever a deformação por meio de mudanças no comprimento dos segmentos de reta e mudanças dos ângulos entre eles, desenvolveremos seu conceito.

A frase não tem sentido.

As medições de deformações são feitas, na prática, por meio de experimentos (...)

O termo “experimento” está mal empregado e não tem sentido: deformações são, simplesmente, medidas.

### Deformação Normal

A rigor, “deformação normal” seria aquela que está de acordo com o que foi estabelecido no projeto: deformação admissível. Entretanto, nesse caso, Hibbeler refere-se à deformação que ocorre na direção normal à seção transversal de uma barra.

A denominação “deformação normal” está incorreta.

O alongamento ou a contração de um segmento de reta por unidade de comprimento é denominada

Está incorreto. Os nomes usuais são:

alongamento por unidade de comprimento alongamento relativo	Timoshenko
deformação específica normal	Beer & Johnston
deformação específica	Lacerda
alongamento por unidade de comprimento	Oliveira
alongamento específico	Paula Souza
deformação por unidade de comprimento	Popov

Para desenvolver uma definição formal de deformação normal (...)

O correto seria “para definirmos deformação específica”.

(..) consideremos a reta  $AB$ , contida no interior do corpo (...)

Uma reta não pode ser “contida no interior de um corpo”.

---

A reta localiza-se ao longo do eixo  $n$  (...)

Aparentemente, o que Hibbeler quer dizer é que a reta tem a direção do eixo  $n$ .  
Mais uma vez, a frase não tem sentido.

---

A reta (...) tem comprimento original de  $\Delta s$ .

Errado.

---

Após a deformação, os pontos  $A$  e  $B$  são deslocados para as posições  $A'$  e  $B'$ , e a reta torna-se uma curva (...)

Se um segmento de reta se transformou num segmento de arco, isso significa que houve uma deformação angular e, nesse caso, a condição imposta inicialmente, que a carga aplicada ao corpo fosse axial e centrada, teria sido abandonada. Portanto, nada disso tem sentido.

---

À página 62, lemos:

### 3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

#### 3.1 TESTE DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO

A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar a carga sem deformação excessiva ou ruptura. Essa propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por *experimento*. Um dos testes mais importantes a realizar nesse sentido é o *teste de tração*. Embora muitas propriedades mecânicas importantes de um material possam ser determinadas por meio desse teste, ele é usado principalmente para determinar a relação entre a tensão normal média e a deformação normal média em muitos materiais da engenharia, tais como metais, cerâmicas, polímeros e materiais compostos.

Para realizar o teste de tração ou compressão é feito um corpo-de-prova do material, com formato e tamanho ‘padronizados’. Antes do teste, são feitas duas marcas de punção ao longo do comprimento do corpo-de-prova, distantes de ambas as extremidades, porque a distribuição de tensão nas extremidades é complexa devido à fixação nos acoplamentos em que a carga é aplicada. Medem-se, então, a área da seção transversal inicial do corpo-de-prova  $A_0$  e o

$L_0$  entre as marcas de punção.(...)

## Análises e comentários

### TESTE

A palavra “teste”, neste contexto, é absolutamente errada. A palavra correta é “ensaio”.

---

### TESTE DE TRAÇÃO E COMPRESSÃO

O ensaio de tração e o ensaio de compressão são completamente diferentes e não podem ser apresentados simultaneamente.

---

A resistência de um material depende de sua capacidade de suportar a carga sem deformação excessiva ou ruptura.

Essa afirmação é absurda. Ao dizer isso num livro-texto de Resistência dos Materiais o autor revela sua incompetência e sua irresponsabilidade.

---

Essa propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por *experimento*.

Errado.

A resistência de um material à ruptura por tração é determinada em condições laboratoriais, num ensaio de tração, realizado segundo normas e padrões internacionais.

---

Um dos testes mais importantes a realizar nesse sentido é o

Errado.

Hibbeler mistura o ensaio de tração e o de compressão, como se fossem semelhantes. São ensaios totalmente diferentes. O ensaio de compressão raramente é realizado, com exceção do caso de materiais que resistem bem à compressão e mal à tração, caso do concreto.

---

Embora muitas propriedades mecânicas importantes de um material possam ser determinadas por meio desse teste, ele é usado principalmente para determinar a relação entre a tensão normal média e a deformação normal média em muitos materiais da engenharia, tais como metais, cerâmicas, polímeros e materiais compostos.

Errado.

Hibbeler trata de materiais completamente diferentes como se fossem iguais.

Os ensaios para a determinação das características mecânicas de cada um dos materiais citados são específicos e diferentes entre si.

Especificamente no caso do aço, o ensaio mais comum é o de tração, que tem a finalidade de determinar as características mecânicas do material, tais como: limite de elasticidade, limite de escoamento, limite de resistência (ou tensão de ruptura) etc. Dizer que os ensaios determinam “tensão normal média” e “deformação normal média”, além de absurdo é irresponsável.

Para realizar o teste de tração ou compressão é feito um corpo-de-prova do material, com formato e tamanho ‘padronizados’.

Absurdo. Ensaio de tração não tem nada a ver com ensaio de compressão.

Antes do teste, são feitas duas marcas de punção ao longo do comprimento do corpo-de-prova (...)

Absurdo.

Uma dos cuidados obrigatórios para a realização de um ensaio é com o acabamento superficial do corpo de prova que não pode ter riscos, marcas ou imperfeições. Uma marca feita com punção, conforme diz Hibbeler, inutilizaria o corpo de prova.

(..) porque a distribuição de tensão nas extremidades é complexa devido à fixação nos acoplamentos em que a carga é aplicada.

Nas proximidades da região em que a carga é aplicada ocorre uma “concentração de tensões”.

À página 63, lemos:

### 3.2 DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO

(...) a  $\epsilon$  é encontrada diretamente pela leitura do extensômetro, ou dividindo-se a variação no comprimento de referência,  $\delta$ , pelo comprimento de referência inicial  $L_0$ . Suponhamos que a deformação seja constante em toda a região entre os pontos de calibragem. Assim,

$$\epsilon = \frac{\delta}{L_0}$$

À página 70, lemos:

### 3.4 LEI DE HOOKE

(...) os diagramas tensão-deformação para a maioria dos materiais da engenharia apresentam *relação linear* entre tensão e deformação na região de elasticidade.

Consequentemente, um aumento na tensão provoca um aumento proporcional na deformação. Esse fato, descoberto por Robert Hooke, em 1676, com auxílio de molas, é conhecido como *lei de Hooke*. Matematicamente, tal lei é expressa por:

$$\sigma = E \varepsilon$$

Nela,  $E$  representa a constante de proporcionalidade, chamada ou , nome derivado de Thomas Young que publicou uma explicação da lei em 1807.

## Análises e comentários

Esse fato, descoberto por Robert Hooke, em 1676, com auxílio de molas, é conhecido como *lei de Hooke* (...)

- Hooke determinou a relação entre carga e deformação;
- Hooke não falou em tensão nem em deformação específica;
- Hooke publicou seu trabalho em 1678;
- Hooke trabalhou com diversos materiais e com corpos de diversas formas, inclusive com molas;
- A “lei de Hooke” é expressa pela equação  $F = k \times \delta$ ;
- O “módulo de elasticidade”,  $E$ , foi introduzido por Thomas Young em 1807.
- Thomas Young não “publicou uma explicação da lei” de Hooke.

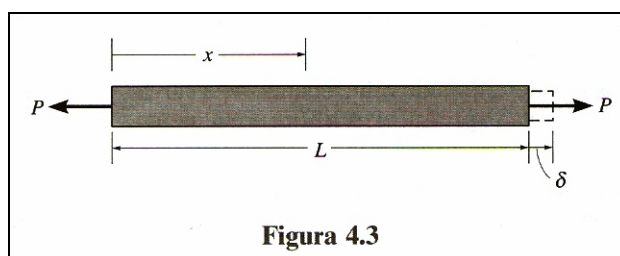
Hibbeler deixa para apresentar a equação para o cálculo da deformação de uma barra sujeita a uma carga axial no capítulo 4: “CARGA AXIAL”.

À página 92, lemos:

### 4.2 DEFORMAÇÃO ELÁSTICA DE UM ELEMENTO COM CARREGAMENTO AXIAL

Usando a lei de Hooke e as definições de tensão e deformação, desenvolveremos uma equação para determinar a deformação elástica de um elemento submetido a cargas axiais. (...)

**Carga Constante e Área da Seção Transversal.** Em muitos casos, a barra tem área da seção transversal constante  $A$ ; o material será homogêneo, logo  $E$  é constante. Além disso, se uma força externa constante for aplicada em cada extremidade (Figura 4.3), então a força interna  $P$  ao longo de todo o comprimento da barra também será constante. (...)



**Figura 4.3**

Figura 115.

$$\delta = \frac{P L}{A E}$$

## Análises e comentários

O estudo da deformação de uma barra submetida a uma carga axial deveria ter sido feito no início do livro. Deixar para fazê-lo no quarto capítulo é ilógico e descabido, tanto mais que foi dedicado o capítulo 2 ao estudo das deformações de barras sujeitas a cargas axiais.

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	205 x 275
número de páginas	674
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	1572
número de problemas resolvidos	214
<b>Figuras</b>	
número de figuras	2788
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{2788}{674} = 4,136$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	89
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{89}{674} = 0,132$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	25
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	10
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	0

Autores referidos	
1	R. Hooke
2	T. Young
3	S. D. Poisson
4	O. Mohr
5	H. Tresca
6	M. Huber
7	R. Mises
8	H. Kencky
9	L. Euler
10	A. Castigliano

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	1
2	objetividade	1
3	clareza	2
4	precisão	1
5	didática	2
6	coerência	1
7	elegância	1
8	rigor	1
9	correção	1
10	sobriedade	1
11	adequação	1
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	1
	total	16
	média	1,23

### Observações finais

De todos os livros analisados, Hibbeler, certamente, é o pior. O livro não tem consistência e o número de erros é incalculável. Trata-se de um livro que pode prejudicar a formação de um estudante.

**4.17. Livro 13**  
**“Mecânica dos Materiais”**  
 James M. Gere e Barry J. Goodno  
 2010

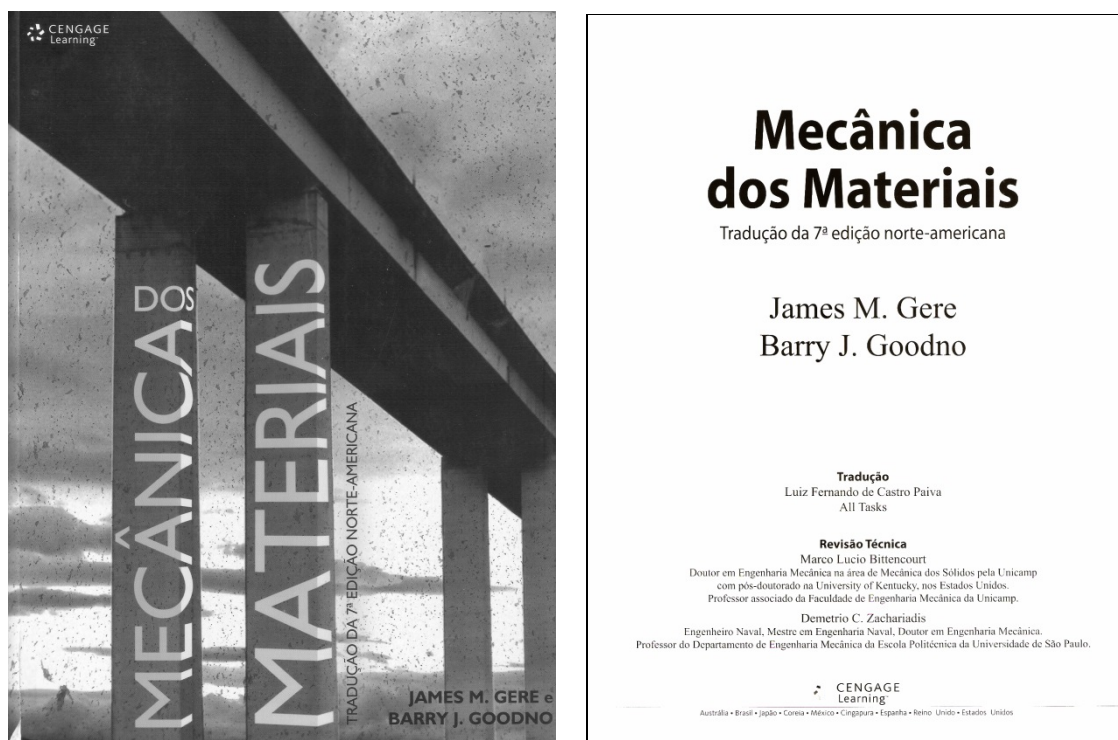


Figura 116. Capa e frontispício.



Figura 117. Detalhe do frontispício.



## 1 Tração, Compressão e Cisalhamento

À página 2, lemos:

### 1.1 INTRODUÇÃO À MECÂNICA DOS MATERIAIS

A **mecânica dos materiais** é um ramo da mecânica aplicada que lida com o comportamento de corpos sólidos sujeitos a diversos tipos de carregamento. Outros nomes para esse campo de estudo são resistência dos materiais e mecânica de corpos deformáveis. (...)

O principal objetivo da mecânica dos materiais é determinar as tensões, deformações e deslocamentos em estruturas e seus componentes devido à ação de cargas sobre eles. Se pudermos determinar essas quantidades para todos os valores das cargas, até aquelas que causam falha, teremos uma noção completa do comportamento mecânico dessas estruturas.

Um entendimento do comportamento mecânico é essencial para o projeto seguro de todos os tipos de estruturas, como aviões e antenas, prédios e pontes, máquinas e motores ou navios e espaçonaves. Por isso, a mecânica dos materiais é uma disciplina básica em vários campos da engenharia. A estática e a dinâmica são também essenciais, mas esses assuntos lidam, principalmente, com as forças e movimentos associados com partículas e corpos rígidos. Na mecânica dos materiais vamos um passo além, ao examinar tensões e deformações dentro de corpos reais, isto é, corpos de dimensões finitas que deformam sob cargas. Para determinar as tensões e as deformações, usamos as propriedades físicas dos materiais, bem como várias leis teóricas e conceitos técnicos.

As análises teóricas e os resultados experimentais têm igual importância na mecânica dos materiais. Usamos a teoria para deduzir fórmulas e equações prevendo o comportamento mecânico, mas essas expressões não podem ser utilizadas em projetos práticos, a menos que as propriedades físicas dos materiais sejam conhecidas. Tais propriedades estão disponíveis somente após experimentos cuidadosamente conduzidos em laboratório. Além disso nem todos os problemas práticos são contornáveis apenas com a análise teórica e, em tais casos, testes físicos são necessários.

### Análises e comentários

A **mecânica dos materiais** é um ramo da mecânica aplicada (...)

O correto seria grafar com maiúsculas: Mecânica dos Materiais e Mecânica Aplicada.

A **mecânica dos materiais** é um ramo da mecânica aplicada que lida com o comportamento de corpos sólidos sujeitos a diversos tipos de carregamento.

Como explicação de o que é a Mecânica dos Materiais, essa é muito vaga.

O principal objetivo da mecânica dos materiais é determinar as tensões, deformações e deslocamentos em estruturas e seus componentes devido à ação de cargas sobre eles.

Em Mecânica dos Materiais são calculadas tensões e deformações de estruturas sob a ação de cargas. Deslocamentos são consequências de deformações.

Se pudermos determinar essas quantidades para todos os valores das cargas, até aquelas que causam falha, teremos uma noção completa do comportamento mecânico dessas estruturas.

“Até aquelas que causam falhas”? Mas essas são as que mais importam, tanto no projeto como na análise de estruturas.

---

A estática e a dinâmica são também essenciais, mas esses assuntos lidam, principalmente, com as forças e movimentos associados com partículas e corpos rígidos.

A Mecânica dos Materiais deve estar integrada à Mecânica Geral. Não é adequado, nesse momento, a fragmentação da Mecânica Geral em disciplinas estanques: Estática, Dinâmica etc.

A mudança introduzida pela Mecânica dos Materiais é: os corpos são tratados como realmente são, isto é, deformáveis.

---

Na mecânica dos materiais vamos um passo além, ao examinar tensões e deformações dentro de corpos reais (...)

Na Mecânica dos Materiais são estudadas as tensões e as deformações produzidas nos corpos quando sobre eles são aplicadas cargas.

---

(...) dentro de corpos reais, isto é, corpos de dimensões finitas que deformam sob cargas.

Não há corpos de “dimensões infinitas”, portanto dizer que corpos reais têm “dimensões finitas” é um despropósito.

---

(...) nem todos os problemas práticos são contornáveis apenas com a análise teórica e, em tais casos, testes físicos são necessários.

Não são “testes físicos”: são “ensaios”, realizados em laboratórios ou em campo.

---

À página 3, lemos:

## 1.2 TENSÃO E DEFORMAÇÃO NORMAIS

Os conceitos fundamentais na mecânica dos materiais são **tensão e deformação**. Esses conceitos podem ser ilustrados em suas formas mais elementares considerando uma barra prismática sujeita a forças axiais. Uma **barra prismática** é um membro estrutural reto, com a mesma seção transversal ao longo de seu comprimento, e uma **força axial** é uma carga direcionada ao longo do eixo do membro, resultando em tração ou compressão na barra. São mostrados exemplos na Figura 1.1, em que a barra do reboque é um membro prismático em tração e o suporte de trem de pouso é um membro em compressão. Outros exemplos são os membros de uma treliça de

ponte, barras de conexão de um motor de automóvel, raios de rodas de bicicleta, colunas em prédios e suportes de asa em pequenos aviões.

Para fins de discussão, vamos considerar a barra da Figura 1.1 e isolar um segmento dela como um corpo livre (Figura 1.2a). Quando traçamos esse diagrama de corpo livre, desconsideramos o peso da barra e assumimos que as únicas forças atuantes são as forças axiais  $P$  nas extremidades. A seguir, consideramos duas vistas da barra: a primeira mostrando a mesma barra *antes* de as cargas serem aplicadas (Figura 1.2b) e a segunda mostrando-a *após* a aplicação das cargas (Figura 1.2c). Observe que o comprimento original da barra é denotado pela letra  $L$  e o aumento no comprimento devido às cargas é denotado pela letra grega  $\delta$  (delta).



Figura 118.

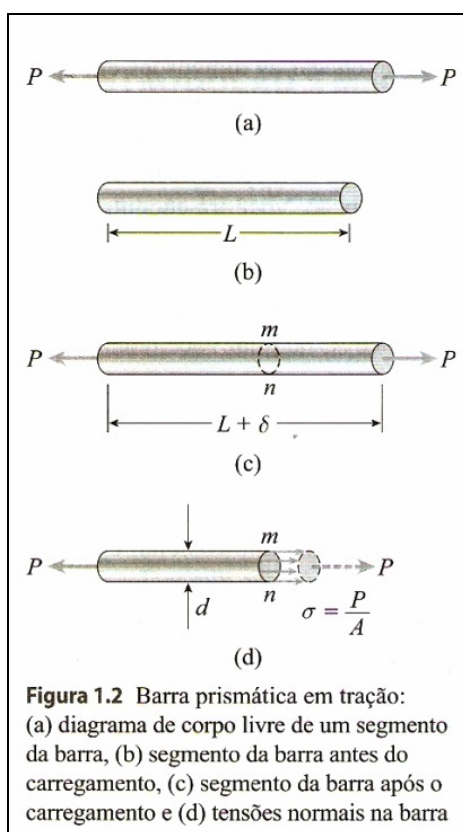


Figura 119.

## Análises e comentários

Os conceitos fundamentais na mecânica dos materiais são **tensão e deformação**.

Os conceitos fundamentais são tensão e “deformação específica”. “Deformação” não é um conceito é um fenômeno observável e mensurável diretamente.

(...) uma **força axial** é uma carga direcionada ao longo do eixo do membro (...)

“Direcionada ao longo do eixo”: isso não tem sentido.

Força axial é aquela que tem a direção de um eixo.

São mostrados exemplos na Figura 1.1, em que a barra do reboque é um membro prismático em tração (...)

No livro “Mecânica dos Sólidos”, Timoshenko & Gere, de 1983, para mostrar um “membro prismático em tração” foi usada a 117:

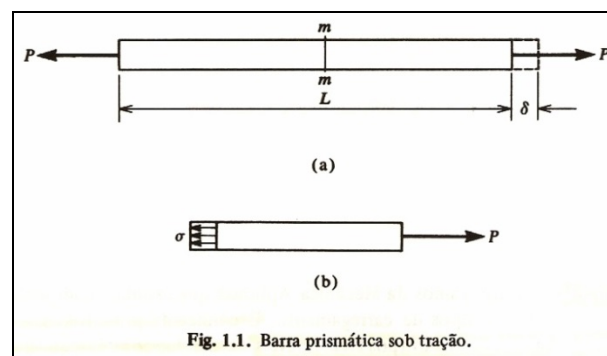


Figura 120. (TIMOSHENKO e GERE, 1983, p. 2)

Vinte e oito anos depois, na edição de 2010, que estamos analisando, para explicar a mesma ideia, Gere e Goodno acrescentaram um avião, um carro-reboque e mais quatro vistas da barra.

(...) o suporte de trem de pouso é um membro em compressão.

O “membro em compressão”, que supostamente a mostra, não é visível.

Outros exemplos [de membros sujeitos à tração ou à compressão] são os membros de uma treliça de ponte, barras de conexão de um motor de automóvel, raios de rodas de bicicleta, colunas em prédios e suportes de asa em pequenos aviões.

Os autores, aparentemente temerosos de que o leitor ainda não tenha entendido o que é um “membro sujeito à tração” ou um “membro sujeito à compressão”, apresentam uma série de exemplos esdrúxulos.

Para fins de discussão, vamos considerar a barra da Figura 1.1 e isolar um segmento dela como um corpo livre (Figura 1.2a). Quando traçamos esse diagrama de corpo livre, desconsideramos o peso da barra e assumimos que as únicas forças atuantes são as forças axiais  $P$  nas extremidades. A seguir, consideramos duas vistas da barra: a primeira mostrando a mesma barra *antes* de as cargas serem aplicadas (Figura 1.2b) e a segunda mostrando-a *após* a aplicação das cargas (Figura 1.2c). Observe que o comprimento original da barra é denotado pela letra  $L$  e o aumento no comprimento devido às cargas é denotado pela letra grega  $\delta$  (delta).

É condição fundamental para a formação de um engenheiro o desenvolvimento de sua capacidade de abstração e seu raciocínio lógico. A exposição detalhadíssima, acompanhada de desenhos também detalhados, num nível primário, contraria essa premissa.

---

À página 4, lemos

As ações internas na barra são expostas se fizermos um corte imaginário através da barra na seção  $mn$  (Figura 1.2c). Como essa seção é tomada perpendicularmente ao eixo longitudinal da barra, é chamada de **seção transversal**.

Agora isolamos a porção da barra à esquerda da seção transversal  $mn$  como um corpo livre (Figura 1.2d). Na extremidade direita desse corpo livre (seção  $mn$ ), mostramos a ação da porção removida da barra (isto é, a parte à direita da seção  $mn$ ) sobre a parte remanescente. Essa ação consiste em *tensões* distribuídas de forma contínua agindo sobre toda a seção transversal e a força axial  $P$  atuando na seção transversal é a *resultante* dessas tensões.

A **tensão** é dada em unidades de força por unidades de área e é referida pela letra grega  $\sigma$  (sigma). Genericamente, as tensões  $\sigma$  que atuam em uma superfície plana podem ser uniformes por toda a área ou podem variar em intensidade de um ponto para outro. Admitamos que tensões que atuam sobre a seção transversal  $mn$  (Figura 1.2d) estão *uniformemente distribuídas* sobre a área. Então a resultante dessas tensões deve ser igual à magnitude da tensão multiplicada pela área da seção transversal  $A$  da barra, ou seja,  $P = \sigma A$ . Dessa forma, obtemos a seguinte expressão para a magnitude das tensões:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

### Análises e comentários

Essa ação consiste em *tensões* distribuídas de forma contínua agindo sobre toda a seção transversal (...)

Comparemos esse texto com o de Timoshenko:

[nessa seção] (...) estão atuando as forças que representam a ação das partículas da parte [direita] sobre as partículas da parte [esquerda]. Estas forças estão distribuídas continuamente sobre a seção transversal.

(TIMOSHENKO, 1978, p. 25)

Temos, portanto, a distorção e a deturpação de um conceito central e fundamental da Mecânica dos Materiais (ou Resistência dos Materiais).

---

Admitamos que tensões que atuam sobre a seção transversal  $mn$  (Figura 1.2d) estão *uniformemente distribuídas* sobre a área. Então a resultante dessas tensões deve ser igual à magnitude da tensão multiplicada pela área da seção transversal  $A$  da barra, ou seja,  $P = \sigma A$ . Dessa forma, obtemos a seguinte expressão para a magnitude das tensões:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Aqui temos uma inversão da lógica do conceito de tensão. Segundo os autores, não é a força  $P$  que, dividida pela área da seção, dá origem a uma tensão; é a tensão que multiplicada pela área dá origem à força  $P$ .

Embora numericamente não haja diferença, conceitualmente está errado.

Ainda na página 4, lemos:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Essa equação fornece a intensidade de tensão uniforme em uma barra prismática, carregada axialmente e de seção transversal arbitrária.

Quando a barra é esticada pelas forças  $P$ , temos **tensões de tração**; se as forças têm seus sentidos invertidos, fazendo com que a barra seja comprimida, obtemos **tensões de compressão**. Visto que as tensões agem em uma direção perpendicular à superfície de corte, são chamadas de **tensões normais**. Dessa forma, tensões normais podem ser de tração ou de compressão.

(...) a tensão tem unidades de newtons por metro quadrado ( $\text{N/m}^2$ ), isto é, pascals (Pa). Entretanto, o pascal é uma unidade tão pequena de tensão que é necessário trabalhar com múltiplos grandes, geralmente o megapascal (MPa).

## Análises e comentários

Essa equação fornece a intensidade de tensão uniforme em uma barra prismática, carregada axialmente e de seção transversal arbitrária.

O correto seria:

com essa equação se calcula o valor da tensão média na seção transversal, de área  $A$ , de uma barra sujeita à ação de uma carga axial  $P$ .

Quando a barra é esticada pelas forças  $P$  (...)

O verbo “esticar” não é apropriado.

Visto que as tensões agem em uma direção perpendicular à superfície de corte, são chamadas de **tensões normais**.

Como a força que age na seção é perpendicular a ela, a tensão gerada pela força na seção é chamada tensão normal.

(...) a tensão tem unidades de newtons por metro quadrado ( $\text{N/m}^2$ ), isto é, pascals (Pa).

No SI, a unidade da tensão é o pascal (Pa), resultante da divisão da unidade de força, o newton (N), pela unidade de área, o metro quadrado ( $\text{m}^2$ ).

Entretanto, o pascal é uma unidade tão pequena de tensão que é necessário trabalhar com múltiplos grandes, geralmente o megapascal (MPa).

Absurdo: não há “unidades pequenas”, ou “unidades grandes”, nem “múltiplos pequenos”, ou “múltiplos grandes”. Os números é que são “pequenos” ou “grandes”. Por exemplo: para não escrever 250 000 000 Pa, escrevemos 250 MPa.

À página 5, lemos:

### Deformação Normal

(...) uma barra reta mudará de comprimento quando carregada axialmente, tornando-se mais comprida quando em tração e mais curta quando em compressão. Por exemplo, considere novamente a barra prismática da Figura 1.2. O alongamento  $\delta$  dessa barra (Figura 1.2c) é o resultado cumulativo do estiramento de todos os elementos do material através do volume da barra. Vamos considerar que o material é o mesmo em qualquer ponto da barra. Logo, se considerarmos metade da barra (comprimento  $L/2$ ), ela terá um alongamento igual a  $\delta/2$  e, se considerarmos um quarto da barra, ela terá um alongamento igual a  $\delta/4$ .

Em geral, o alongamento de um segmento é igual ao seu comprimento dividido pelo comprimento total  $L$  e multiplicado pelo alongamento total  $\delta$ . Por isso, uma unidade de comprimento da barra terá um alongamento igual a  $1/L$  vezes  $\delta$ . Essa quantia é chamada de *alongamento por unidade de comprimento*, ou **deformação**, e é denotada pela letra grega  $\varepsilon$  (épsilon). vemos que a deformação é dada pela equação

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Se a barra está em tração, a deformação é chamada **deformação de tração**, representando um alongamento ou estiramento do material. Se a barra está em compressão, a deformação é denominada **deformação de compressão** e a barra encurta. (...) A deformação  $\varepsilon$  é chamada **deformação normal** porque está associada com tensões normais.

(...) Os exemplos seguintes ilustram o cálculo de tensões e deformações em barras prismáticas.

## Análises e comentários

(...) estiramento (...)

A palavra é inadequada e não deveria ser usada nesse texto.

---

Vamos considerar que o material é o mesmo em qualquer ponto da barra.

A frase não tem sentido.

O que deveria ser dito é: o material é homogêneo e isotrópico.

---

Em geral, o alongamento de um segmento é (...)

Não é “em geral”.

Deveria ser, simplesmente, “o alongamento de um segmento é (...)”.

---

Em geral, o alongamento de um segmento é igual ao seu comprimento dividido pelo comprimento total  $L$  e multiplicado pelo alongamento total  $\delta$ . Por isso, uma unidade de comprimento da barra terá um alongamento igual a  $1/L$  vezes  $\delta$ .

Explicação confusa de um conceito simples.

---

Essa quantia é chamada (...)

Não é “quantia”, é “quantidade”.

---

(...) é chamada de *alongamento por unidade de comprimento*, ou **deformação** (...)

O nome correto de e é “deformação linear específica” ou simplesmente “deformação específica”.

---

Se a barra está em tração, a deformação é chamada **deformação de tração**, representando um alongamento ou estiramento do material. Se a barra está em compressão, a deformação é denominada **deformação de compressão** e a barra encurta. (...) A deformação  $\epsilon$  é chamada **deformação normal** porque está associada com tensões normais.

Esteja a barra tracionada ou comprimida, a “deformação específica” continua sendo “deformação específica”. Não é necessário, nem conveniente, introduzir novas designações.

Além disso, as explicações dadas aqui são elementares e incompatíveis com o que se espera de um curso universitário.

---

Reproduzimos a seguir os exemplos 1.1, da página 8, e o 1.2, da página 9:



## Exemplo 1.1

Um poste curto, construído de um tubo circular vazado, de alumínio, suporta uma carga de compressão de 240 kN (Figura 1.5). Os diâmetros interno e externo do tubo são  $d_1 = 90$  mm e  $d_2 = 130$  mm, respectivamente, e seu comprimento é 1 m. O encurtamento do poste devido à carga é medido como 0,55 mm.

Determine a tensão e a deformação de compressão do poste (desconsidere o peso do poste e assumo que o poste não envergue sob a aplicação da carga).

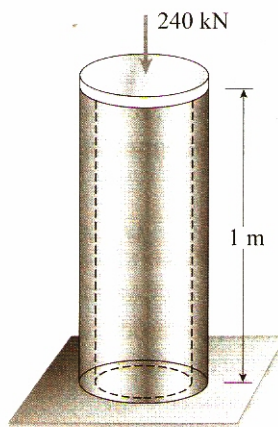


Figura 1.5 Exemplo 1.1. Poste vazado de alumínio em compressão

Figura 121.

### Análises e comentários

O texto do exemplo é muito ruim:

1. o termo “poste” é desnecessário e inadequado;
2. se é um “tubo”, obviamente é “vazado”;
3. nesse exemplo, a informação de que o tubo é de alumínio é desnecessária;
4. desnecessário dizer que a carga é de compressão, pois o desenho mostra isso;
5. o comprimento do tubo também é mostrado no desenho;
6. o que se pede é: que sejam calculadas a tensão e a deformação específica;

(...) assumo que o poste não envergue (...)

Tratando-se da formação de engenheiros e de um curso de Resistência dos Materiais, o verbo “envergar” é absolutamente impróprio. Os autores referem-se a um tipo específico de deformação denominado “flambagem”.

Um texto mais adequado seria o seguinte:

“O tubo mostrado na figura tem  $d_{\text{int}} = 90$  mm e  $d_{\text{ext}} = 130$  mm. Supondo que a placa sobre o tubo seja rígida e desprezando o peso do tubo, calcule a tensão na seção transversal e a deformação específica.”

## Exemplo 1.2

Uma haste circular de aço de comprimento  $L$  e diâmetro  $d$  é pendurada em um poço e segura um balde de minério de peso  $W$  na sua extremidade inferior (Figura 1.6).

(a) Obtenha uma fórmula para a tensão máxima  $\sigma_{\max}$  na haste, levando em conta o peso próprio da haste.

(b) Calcule a tensão máxima se  $L = 40$  m,  $d = 8$  mm e  $W = 1,5$  kN.

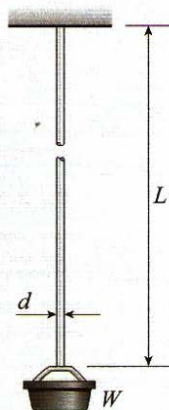


Figura 1.6 Exemplo 1.2. Haste de aço suportando um peso  $W$

Figura 122.

### Análises e comentários

Dizer que uma haste de 40 metros de comprimento é “pendurada em um poço” e “segura um balde de minério”, num livro de Mecânica dos Materiais, é totalmente impróprio e não contribui para formar engenheiros.

À página 10, lemos:

#### 1.3 PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS MATERIAIS

O projeto de máquinas e estruturas, de forma que elas funcionem corretamente, exige que entendamos o **comportamento mecânico** dos materiais que estão sendo usados. Comumente, a única maneira de determinar como os materiais se comportam quando submetidos a cargas é executar experimentos em laboratórios. O procedimento usual é colocar pequenos corpos de prova do material em máquinas de teste, aplicar as cargas e então medir as deformações resultantes (como mudanças no comprimento e no diâmetro). A maioria dos laboratórios de teste de materiais é equipada com máquinas de carregar corpos de prova em uma variedade de formas, incluindo os carregamentos estáticos e dinâmicos em tração e compressão.

Uma **máquina de teste de tração** típica é mostrada na Figura 1.7. O corpo de prova é colocado entre as duas garras grandes da máquina de teste e então carregado em tração. Sistemas de medida armazenam as deformações, e o controle automático e os sistemas de processamento de dados (à esquerda na foto) tabelam e registram graficamente os resultados.

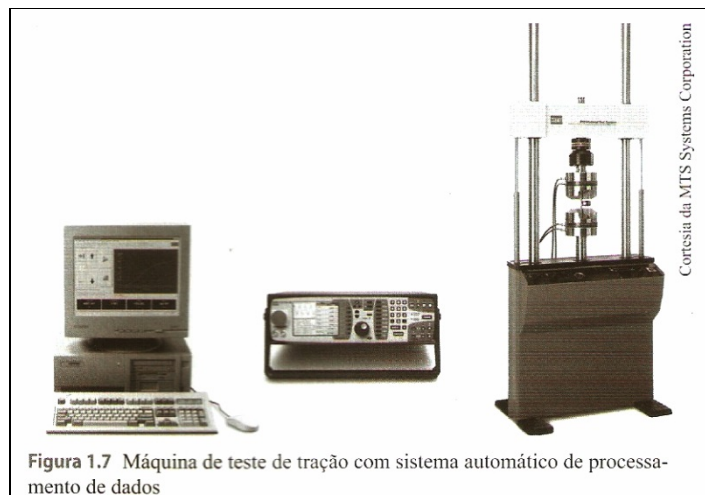


Figura 1.7 Máquina de teste de tração com sistema automático de processamento de dados

Figura 123.

Uma visão mais detalhada do **corpo de prova de teste de tração** é ilustrada na Figura 1.8. As extremidades do corpo de prova circular são aumentadas onde elas se encaixam nas garras, de forma que a falha não ocorra próximo às garras. Uma falha nas extremidades não produziria a informação desejada sobre o material porque a distribuição de tensão próxima às garras não é uniforme (...). Em um corpo de prova projetado corretamente, a falha ocorrerá na porção prismática do corpo de prova onde a distribuição de tensão é uniforme e a barra é submetida apenas à tração pura. Essa situação é mostrada na Figura 1.8, na qual o corpo de prova de aço fraturou sob carga. O instrumento à esquerda, preso por dois braços ao corpo de prova, é um **extensômetro**, que mede o alongamento durante o carregamento.

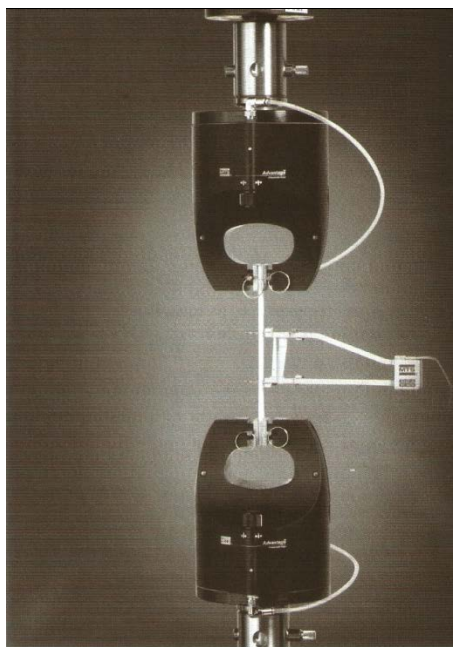


Figura 1.8 Corpo de prova típico de teste de tração com extensômetro preso; o corpo de prova fraturou em tração

Figura 124.

O corpo de prova de tensão-padrão da ASTM (...) Quando o corpo de prova é puxado, a carga axial é medida e registrada automaticamente pela leitura de um mostrador. O alongamento sobre o comprimento-padrão é medido simultaneamente

por medidores mecânicos do tipo mostrado na Figura 1.8 ou medidores de deformação por resistência elétrica.

## Análises e comentários

O projeto de máquinas e estruturas, de forma que elas funcionem corretamente (...)

Do modo como está escrita, a frase não tem sentido.

---

O projeto de máquinas e estruturas, de forma que elas funcionem corretamente, exige que entendamos o **comportamento mecânico** dos materiais que estão sendo usados.

Na fase de projeto, os materiais não “estão sendo usados”; no projeto são selecionados os materiais que “serão” usados.

---

Comumente, a única maneira de determinar como os materiais se comportam (...)

Parece-nos contraditório: “comumente” e “a única maneira”.

---

(...) experimentos em laboratórios (...)

A determinação das características mecânicas dos materiais é feita através de “ensaios”, não de “experimentos”.

---

O procedimento usual é colocar (...)

A linguagem é imprópria:

1. não tem sentido falar em “procedimento usual”;
  2. o corpo de prova não é “colocado”.
- 

(...) pequenos corpos de prova do material em máquinas de teste (...)

1. “Pequenos”, nesse contexto, não tem sentido;
  2. Não são “máquinas de teste”: são “máquinas de ensaio”.
- 

A maioria dos laboratórios de teste de materiais é equipada com máquinas de carregar corpos de prova em uma variedade de formas (...)

Texto absurdo. Sem sentido.

---

Uma **máquina de teste de tração** típica é mostrada na Figura 1.7.

Incorreto: é “máquina de ensaio de tração”.

---

O corpo de prova é colocado entre as duas garras grandes da máquina de teste (...)

O corpo de prova não é “colocado entre as duas garras grandes da máquina de teste”.  
O corpo de prova é fixado nas garras da máquina de ensaio de tração.

---

Sistemas de medida armazenam as deformações, e o controle automático e os sistemas de processamento de dados (à esquerda na foto) tabelam e registram graficamente os resultados.

“Sistemas de medida armazenam as deformações”?

“O controle automático”?

“Os sistemas de processamento de dados”?

“Tabelam os resultados”?

---

As extremidades do corpo de prova circular são aumentadas onde elas se encaixam nas garras (...)

“Aumentadas”?

O corpo de prova não se “encaixa” nas garras.

---

Uma falha nas extremidades não produziria a informação desejada sobre o material (...)

Do modo como foi escrita, a frase é absurda.

É obvio que se houver uma falha o ensaio estará perdido.

O que os autores querem dizer é: a ruptura não deve ocorrer nas proximidades das extremidades.

---

Em um corpo de prova projetado corretamente, a falha ocorrerá na porção prismática do corpo de prova onde a distribuição de tensão é uniforme e a barra é submetida apenas à tração pura.

A frase é absurda:

1. um corpo de prova não é “projetado”; um corpo de prova é feito de acordo com uma norma específica;
  2. num ensaio não deve ocorrer “falha”; caso ocorra uma “falha”, o ensaio estará perdido e deverá ser refeito;
  3. o que é, nesse caso, “porção prismática”?
  4. que “barra”?
  5. o que é “tração pura”?
-

Essa situação é mostrada na Figura 1.8, na qual o corpo de prova de aço fraturou sob carga.

A “Figura 1.8” não mostra um corpo de prova “fraturado”.

O instrumento à esquerda, preso por dois braços ao corpo de prova, é um **extensômetro**, que mede o alongamento durante o carregamento.

1. O “instrumento” mostrado na “Figura 1.8” está à direita do corpo de prova.
2. O “instrumento” [o extensômetro] não está “preso por dois braços ao corpo de prova”: os dois braços são partes integrantes do extensômetro.

O corpo de prova de tensão-padrão da ASTM (...)

Errado. Não é “corpo de prova de tensão-padrão”.

O correto é: corpo de prova, para ensaio de tração, feito segundo o padrão, ou a norma, ASTM.

Quando o corpo de prova é puxado, a carga axial é medida e registrada automaticamente pela leitura de um mostrador.

Absurdo.

1. O corpo de prova não é “puxado”, é “tracionado”;
2. se a carga é “medida e registrada automaticamente” isso não ocorre pela “leitura de um mostrador”.

O alongamento sobre o comprimento-padrão é medido simultaneamente por medidores mecânicos do tipo mostrado na Figura 1.8 ou medidores de deformação por resistência elétrica.

Absurdo.

1. “Alongamento sobre o comprimento padrão”: isso não tem nexos;
2. “medido por medidores”: redundância sem sentido;
3. “medido simultaneamente por medidores mecânicos ou por medidores de resistência elétrica”: os “medidores” elétrico e mecânico são usados “simultaneamente”?
4. os “medidores”, na verdade, são “extensômetros”;
5. o extensômetro mostrado na “Figura 1.8” é elétrico.

À página 11, lemos:

#### **Diagrama de Tensão-Deformação**

Os resultados dos testes geralmente dependem das dimensões do corpo de prova sendo testado. Uma vez que é improvável que projetemos estruturas com partes do

mesmo tamanho que os corpos de prova, é preciso expressar os resultados dos testes de forma que possam ser aplicados a membros de qualquer tamanho. Um modo simples de atingir esse objetivo é converter os resultados dos testes em tensões e deformações.

A tensão axial  $\sigma$  em um corpo de prova é calculada dividindo a carga axial  $P$  pela área de seção transversal  $A$ . Quando a área inicial do corpo de prova é usada nos cálculos, a tensão é chamada de **tensão nominal** (outros nomes são *tensão convencional* e *tensão de engenharia*). Um valor mais exato da tensão axial, chamado **tensão verdadeira**, pode ser calculado usando a área real da barra na seção transversal onde a falha ocorre. Uma vez que a área real em um teste de tração é sempre menor que a área inicial (como ilustrado na Figura 1.8), a tensão verdadeira é maior que a tensão nominal.

A deformação axial média  $\epsilon$  no corpo de prova é encontrada dividindo-se o alongamento médio  $\delta$  entre as marcas de medida pelo comprimento-padrão  $L$  (veja Figura 1.8). Se o comprimento inicial for usado no cálculo (por exemplo, 50 mm), então a **deformação nominal** é obtida. Como a distância entre as marcas de medida aumenta enquanto a carga de tração é aplicada, podemos calcular a **deformação verdadeira** (ou *deformação natural*) em qualquer valor da carga usando a distância real entre as marcas de medida. Em tração, a deformação verdadeira é sempre menor que a deformação nominal. Entretanto, para a maioria das aplicações de engenharia, a tensão nominal e a deformação nominal são adequadas, como é explicado posteriormente nesta seção.

Após executar um teste de tração ou compressão e determinar a tensão e a deformação em várias magnitudes da carga, podemos criar um diagrama de tensão *versus* deformação. Tal **diagrama de tensão-deformação** é uma característica do material em particular sendo testado e contém informação importante sobre propriedades mecânicas e o tipo de comportamento.

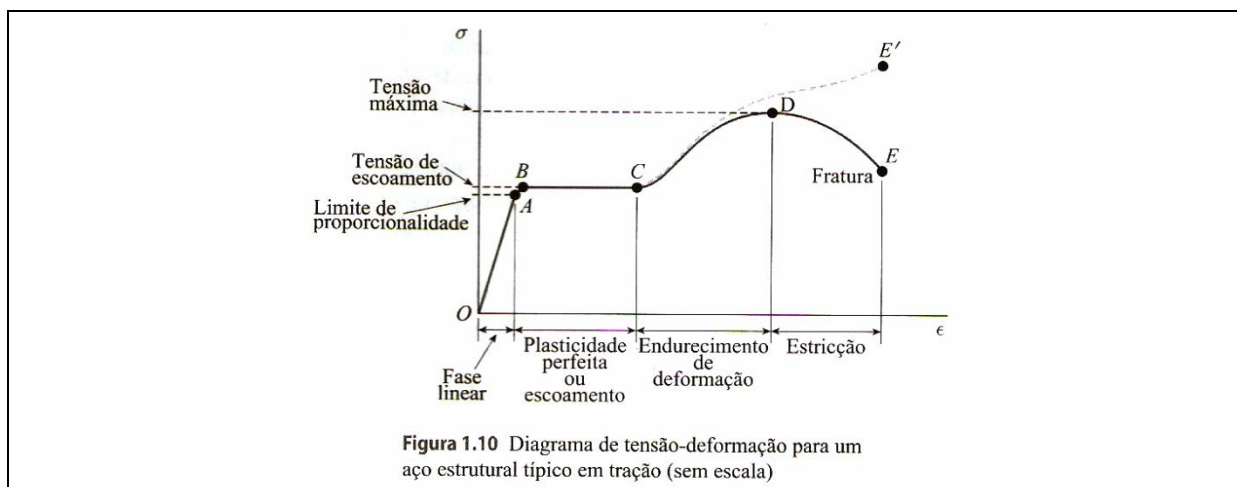


Figura 125.

## Análises e comentários

Os resultados dos testes geralmente dependem das dimensões do corpo de prova sendo testado.

Errado. Os resultados dos ensaios de tração dependem, fundamentalmente, dos materiais dos corpos de prova.

Uma vez que é improvável que projetemos estruturas com partes do mesmo tamanho que os corpos de prova (...)

Observação desnecessária e sem sentido.

---

A tensão axial  $\sigma$  (...)

Não é “tensão axial”, é “tensão normal”.

---

Um valor mais exato da tensão axial, chamado **tensão verdadeira**, pode ser calculado usando a área real da barra na seção transversal onde a falha ocorre.

Aqui, a explicação está muito ruim, além dos erros apontados anteriormente.

---

Uma vez que a área real em um teste de tração é sempre menor que a área inicial (como ilustrado na Figura 1.8) (...)

Isso não é “ilustrado na Figura 1.8”.

---

A deformação axial média  $\varepsilon$  (...)

Surge aqui mais um nome para  $\varepsilon$ : “deformação axial média”.

---

A deformação axial média  $\varepsilon$  no corpo de prova é encontrada dividindo-se o alongamento médio  $\delta$  entre as marcas de medida pelo comprimento-padrão  $L$  (veja Figura 1.8).

Aqui, além de uma explicação confusa, novamente é mencionada a “Figura 1.8” que não mostra nada do que está sendo tratado.

---

Se o comprimento inicial for usado no cálculo (por exemplo, 50 mm), então a **deformação nominal** é obtida.

A frase não tem sentido.

---

Como a distância entre as marcas de medida aumenta enquanto a carga de tração é aplicada, podemos calcular a **deformação verdadeira** (ou *deformação natural*) em qualquer valor da carga usando a distância real entre as marcas de medida.

O texto não é claro.

---



À página 20, lemos:

#### 1.5 ELASTICIDADE LINEAR, LEI DE HOOKE E COEFICIENTE DE POISSON

Muitos materiais estruturais, incluindo a maioria dos metais, madeiras, plásticos e cerâmicas comportam-se elástica e linearmente quando inicialmente carregados. Consequentemente, suas curvas de tensão-deformação começam com uma reta passando através da origem. Um exemplo é a curva de tensão-deformação para aço estrutural (Figura 1.10), onde a região da origem  $O$  ao limite de proporcionalidade (ponto  $A$ ) é linear e elástica. (...)

Quando um material comporta-se elasticamente e também exibe uma relação linear entre tensão e deformação, é chamado de **elástico linear**. Esse tipo de comportamento é extremamente importante em engenharia por uma razão óbvia – ao projetar estruturas e máquinas que funcionem nessa região, evitamos deformações permanentes devido ao escoamento.

### Análises e comentários

Muitos materiais estruturais, incluindo a maioria dos metais, madeiras, plásticos e cerâmicas comportam-se elástica e linearmente quando inicialmente carregados.

A frase não tem sentido. O que significa “inicialmente carregados”?

---

Esse tipo de comportamento é extremamente importante em engenharia por uma razão óbvia – ao projetar estruturas e máquinas que funcionem nessa região, evitamos deformações permanentes devido ao escoamento.

A justificativa não procede. Há inúmeros materiais que não apresentam relações lineares entre tensões e deformações específicas e cujas tensões de escoamento não são atingidas.

---

Continuando à página 20, lemos:

#### Lei de Hooke

A relação linear entre tensão e deformação para uma barra em tração ou compressão simples é expressa pela equação

$$\sigma = E \varepsilon$$

em que  $\sigma$  é a tensão axial,  $\varepsilon$  é a deformação axial e  $E$  é uma constante de proporcionalidade conhecida como **módulo de elasticidade** do material. O módulo de elasticidade é a inclinação do diagrama tensão-deformação na região elástica linear (...)

A equação  $\sigma = E \varepsilon$  é usualmente chamada lei de Hooke, em homenagem ao famoso cientista inglês Robert Hooke (1635-1703). Hooke foi o primeiro a

investigar cientificamente as propriedades elásticas dos materiais e testou diversos materiais, como metal, madeira, pedra, osso e nervo. Ele mediu o estiramento de longos cabos suportando pesos e observou que os alongamentos “sempre seguem as mesmas proporções uns em relação aos outros que os pesos que causaram seguem”. Dessa forma Hooke estabeleceu a relação linear entre as cargas aplicadas e os alongamentos resultantes.

(...)

O módulo de elasticidade é geralmente denominado módulo de Young devido a outro cientista inglês, Thomas Young (1773-1829). Em conexão com uma investigação de tração e compressão de barras prismáticas, Young introduziu a ideia de um “módulo de elasticidade”. Entretanto, seu módulo não era o mesmo que usamos hoje em dia, porque envolvia propriedades da barra, bem como do material.

## Análises e comentários

Além de diversas incorreções, o texto é sofrível.

---

No capítulo 2, “Membros Carregados Axialmente”, à página 72, lemos:

### 2.1 INTRODUÇÃO

Componentes estruturais submetidos apenas a tensão ou compressão são chamados **membros carregados axialmente**. Barras sólidas com eixos longitudinais retos são o tipo mais comum, embora cabos e molas espirais também suportem cargas axiais. Como exemplos, podemos citar barras de treliça, hastes de conexão de motores, aros de rodas de bicicleta, colunas em prédios e suportes em armações de motores de avião. (...)

## Análises e comentários

O título do capítulo 2, “Membros carregados axialmente”, não faz sentido, visto que no capítulo 1 só se tratou de “membros carregados axialmente”.

---

Componentes estruturais submetidos apenas a tensão ou compressão (...)

Errado.

O que os autores querem dizer é: “componentes estruturais submetidos apenas à tração ou à compressão”.

---

Componentes estruturais submetidos apenas a tensão ou compressão são chamados **membros carregados axialmente**.

Errado.

“Membros carregados axialmente” são aqueles submetidos a cargas axiais.

“Membros carregados axialmente ficam sujeitos a tensões normais e a tensões tangenciais.

Barras sólidas com eixos longitudinais retos são o tipo mais comum (...)

Na Mecânica, são desconhecidas barras que não sejam “sólidas”. Portanto, a frase não tem sentido.

Barras sólidas com eixos longitudinais retos são o tipo mais comum, embora cabos e molas espirais também suportem cargas axiais.

A frase não tem nexo: não faz sentido comparar barras, cabos e molas. Trata-se de elementos totalmente diferentes.

Como exemplos, podemos citar barras de treliça, hastes de conexão de motores, aros de rodas de bicicleta, colunas em prédios e suportes em armações de motores de avião. (...)

Exemplos esdrúxulos.

À página 73, lemos:

## 2.2 VARIAÇÕES NOS COMPRIMENTOS DE MEMBROS CARREGADOS AXIALMENTE

Ao se determinarem as variações nos comprimentos de membros carregados axialmente, é conveniente começar pela **mola espiral** (Figura 2.1). Essas molas são usadas em vários tipos de máquinas e dispositivos – por exemplo, existem dúzias delas em qualquer veículo.

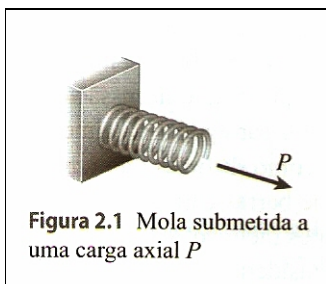


Figura 2.1 Mola submetida a uma carga axial  $P$

Figura 126.

## Análises e comentários

Ao se determinarem as variações nos comprimentos de membros carregados axialmente, é conveniente começar pela **mola espiral**

Está errado.

1. a mola mostrada na figura não é uma mola “espiral”, é uma mola “helicoidal”;
2. uma mola helicoidal é um elemento de máquina com características muito particulares e sem relação com a deformação de barras: embora a carga aplicada seja axial, a mola se deforma por torção. Portanto, o exemplo não só é inconveniente como não pode ser usado aqui.

Essas molas são usadas em vários tipos de máquinas e dispositivos (...)

Isso é o mesmo que dizer nada.

(...) por exemplo, existem dúzias delas em qualquer veículo.

“Dúzias”: esse não é um número muito preciso e não é adequado num livro de Mecânica.

Continuando à página 72, lemos:

Quando uma carga é aplicada ao longo do eixo de uma mola, como mostrado na Figura 2.1, a mola é alongada ou encurtada dependendo do sentido da aplicação da carga. Se a carga age para fora da mola, ela sofre alongamento e dizemos que está carregada em *tração*. Se a carga age para dentro da mola, dizemos que ela está em *compressão*. Porém, não se deve dizer que as espiras individuais da mola estão submetidas a tensões de compressão ou tração; em vez disso, as espiras agem basicamente em cisalhamento direto e torção. Entretanto, o alongamento ou encurtamento total de uma mola é análogo ao comportamento de uma barra em tração ou compressão, e por isso a mesma terminologia é usada.

## Análises e comentários

Quando uma carga é aplicada ao longo do eixo de uma mola, como mostrado na Figura 2.1, a mola é alongada ou encurtada dependendo do sentido da aplicação da carga. Se a carga age para fora da mola, ela sofre alongamento e dizemos que está carregada em *tração*. Se a carga age para dentro da mola, dizemos que ela está em *compressão*.

Aparentemente, os autores têm sérias desconfiâncias em relação à capacidade intelectual de seus leitores.

Porém, não se deve dizer que as espiras individuais da mola estão submetidas a tensões de compressão ou tração; em vez disso, as espiras agem basicamente em cisalhamento direto e torção.

Portanto, molas não deveriam ser usadas se se pretende tratar de barras: são elementos diferentes.

Continuando à página 72, lemos:

### Molas

O alongamento de uma mola aparece na Figura 2.2, cuja parte superior mostra a mola em **comprimento natural**  $L$  (também chamado de *comprimento não tensionado*, *comprimento relaxado* ou *comprimento livre*) e a parte inferior mostra os efeitos de se aplicar uma carga de tração. Sob a ação da força  $P$ , o comprimento da mola aumenta em um valor  $\delta$  e seu comprimento final é  $L + \delta$ . (...)

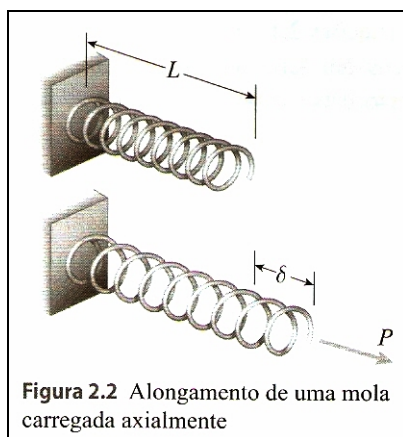


Figura 2.2 Alongamento de uma mola carregada axialmente

Figura 127.

### Barras Prismáticas

As barras carregadas axialmente sofrem alongamento sob cargas de tração e encurtamento sob cargas de compressão, exatamente como as molas. Para analisar esse comportamento, consideremos a barra prismática mostrada na Figura 2.3.

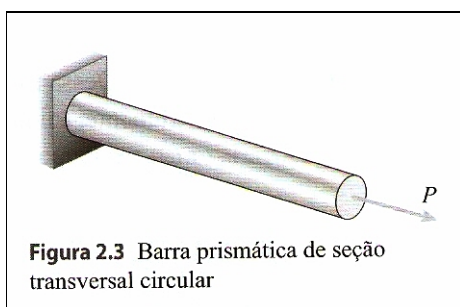


Figura 2.3 Barra prismática de seção transversal circular

Figura 128.

Uma **barra prismática** é um membro estrutural com um eixo longitudinal retilíneo e uma seção transversal constante ao longo de seu comprimento. Embora usemos geralmente barras circulares em nossas ilustrações, devemos ter em mente que membros estruturais podem apresentar uma variedade de formas de seção transversal, como aquelas mostradas na Figura 2.4.

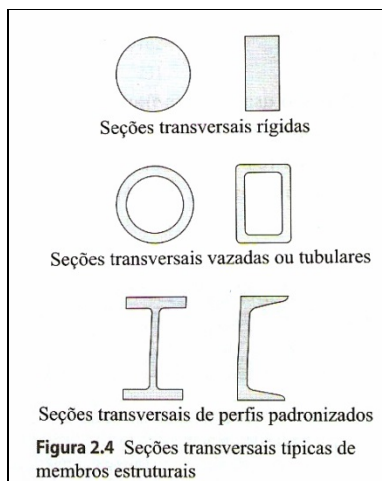


Figura 129.

O alongamento  $\delta$  de uma barra prismática submetida a uma carga de tração  $P$  é mostrada na Figura 2.5.

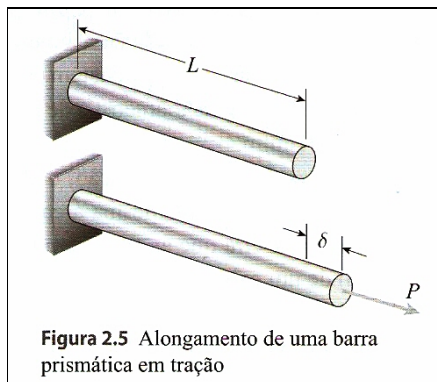


Figura 130.

Se a carga age através do centroide da seção transversal da extremidade, a tensão normal uniforme nas seções transversais longe das extremidades é dada pela fórmula  $\sigma = P / A$ , em que  $A$  é a área da seção transversal. Além disso, se a barra é feita de um material homogêneo, a deformação axial é  $\epsilon = \delta / L$ , em que  $\delta$  é o alongamento e  $L$  é o comprimento da barra.

Vamos também assumir que o material é elástico linear, o que significa que ele segue a lei de Hooke. A tensão e a deformação longitudinal estão relacionadas pela equação  $\sigma = E \epsilon$ , em que  $E$  é o módulo de elasticidade. Combinando essas relações básicas, obtemos a seguinte equação para o alongamento da barra:

$$\delta = \frac{P L}{E A}$$

## Resultados

O livro em números	
<b>Dimensões e número de páginas</b>	
dimensões (mm)	210 x 280
número de páginas	860
<b>Problemas</b>	
número de problemas propostos	1043
número de problemas resolvidos	122
<b>Figuras</b>	
número de figuras	2206
média de figuras por página	$\frac{\text{número de figuras}}{\text{número total de páginas}} = \frac{2206}{860} = 2,565$
<b>Utilização do Cálculo Diferencial e Integral</b>	
número de páginas em que o Cálculo é usado	81
relação entre o número de páginas em que o Cálculo é usado e o número de páginas do livro	$\frac{\text{páginas em que o cálculo diferencial e integral é usado}}{\text{número total de páginas do livro}} = \frac{81}{860} = 0,094$
<b>Notas de rodapé</b>	
número de notas de rodapé	41
<b>Autores referidos</b>	
número de autores referidos	59
<b>Referências bibliográficas</b>	
número de referências bibliográficas	57

Autores referidos	
1	S. P. Timoshenko
2	I. Todhunter
3	K. Pearson
4	A. E. H. Love
5	Jacob Bernoulli
6	J. V. Poncelet
7	R. Hooke
8	T. Young
9	S. D. Poisson
10	J. N. Goodier
11	L. Euler

12	G. A. Oravas
13	L. McLean
14	L. M. H. Navier
15	G. Piobert
16	A. J. Morin
17	I. Didion
18	W. Luders
19	B. P. E. Clapeyron
20	R. Budynas
21	W. C. Young
22	A. J. C. B. Saint-Venant
23	A. Zaslavsky
24	W. A. Ramberg
25	W. R. Osgood
26	C. A. Coulomb
27	A. J. C. B. Duleau
28	R. Bredt
29	G. A. Fazekas
30	G. Galilei
31	E. Mariotte
32	D. J. Jourawski
33	A. C. Maki
34	E. W. Kuenzi
35	A. L. Cauchy
36	W. J. M. Rankine
37	O. C. Mohr
38	J. V. Williot
39	J. C. Mawwell
40	K. Culmann
41	D. Bernoulli
42	G. F. A. L'Hôpital
43	C. A. P. Castigliano
44	E. S. Andrews
45	W. H. Macaulay
46	R. F. A. Clebsch
47	A. Föppl
48	W. D. Pilkey
49	J. A. van den Broek
50	J. B. Keller
51	D. H. Young
52	A. H. E. Lamarle
53	A. Considère
54	F. Engesser
55	F. Jasinski
56	T. von Kármán
57	F. R. Shanley
58	N. J. Hoff
59	B. G. Johnston

Avaliação geral		
		pontos
1	concisão	1
2	objetividade	1
3	clareza	2



4	precisão	1
5	didática	2
6	coerência	1
7	elegância	1
8	rigor	1
9	correção	1
10	sobriedade	1
11	adequação	2
12	correção gramatical	2
13	fundamentação	3
	total	19
	média	1,46

### Observações finais

O livro é sofrível. O número de erros e incorreções é inaceitável. Não recomendável.

## **5. TABELAS**

## 5.1. Tabela com dados numéricos dos livros analisados

	1 - Paul Ferrand: 1887	2 - J. Eulálio da Silva Oliveira: 1905	3 - A. F. Paula Souza: 1914	4 - A. B. Belford Roxo: 1923	5 - Flavio Suplicy de Lacerda: 1936	6 - Stephen P. Timoshenko: 1945	7 - Telemaco van Langendonck: 1956	8 - Jayme Ferreira da Silva Jr.: 1962	9 - Evaristo Valadares Costa: 1974	10 - S. Timoshenko e J. Gere: 1983	11 - F. Beer e E. Johnston: 1996	12 - Russell C. Hibbeler: 2004	13 - J. Gere e B. Goodno: 2010
nº de páginas = N	218	283	149	557	650	394		440	210	256	1255	674	860
nº de problemas propostos	0	0	1	0	0	218		0		416	1655	1572	1043
nº de problemas propostos / N	0	0	0,007	0,000	0,000	0,553		0,000	0,000	1,625	1,319	2,332	1,213
nº de problemas resolvidos	2	11	21	67	104	154		99		48	171	214	122
nº de problemas resolvidos / N	0,009	0,039	0,141	0,120	0,160	0,391		0,225	0,000	0,188	0,136	0,318	0,142
nº de figuras	112	151	88	115	224	516		444	431	522	3015	2788	2206
figuras / N	0,514	0,534	0,591	0,206	0,345	1,310		1,009	2,052	2,039	2,402	4,136	2,565
nº de páginas em que o Cálculo é usado	69	101	37	61	260	89		106	46	51	112	89	81
nº de páginas em que o Cálculo é usado / N	0,317	0,357	0,248	0,110	0,400	0,226		0,241	0,219	0,199	0,089	0,132	0,094
nº de notas de rodapé	15	6	1	1	115	96		1	0	53	101	25	41
nº de notas de rodapé / N	0,069	0,021	0,007	0,002	0,177	0,244		0,002	0,000	0,207	0,080	0,037	0,048
nº de autores referidos	23	40	21	17	134	74		27	3	80	19	10	59
nº de autores referidos / N	0,106	0,141	0,141	0,031	0,206	0,188		0,061	0,014	0,313	0,015	0,015	0,069
número de referências bibliográficas	5	3	4	0	86	71		2	0	59	9	0	57
número de referências bibliográficas / N	0,023	0,011	0,027	0,000	0,132	0,180		0,005	0,000	0,230	0,007	0,000	0,066

## 5.2. Tabela de avaliações dos livros

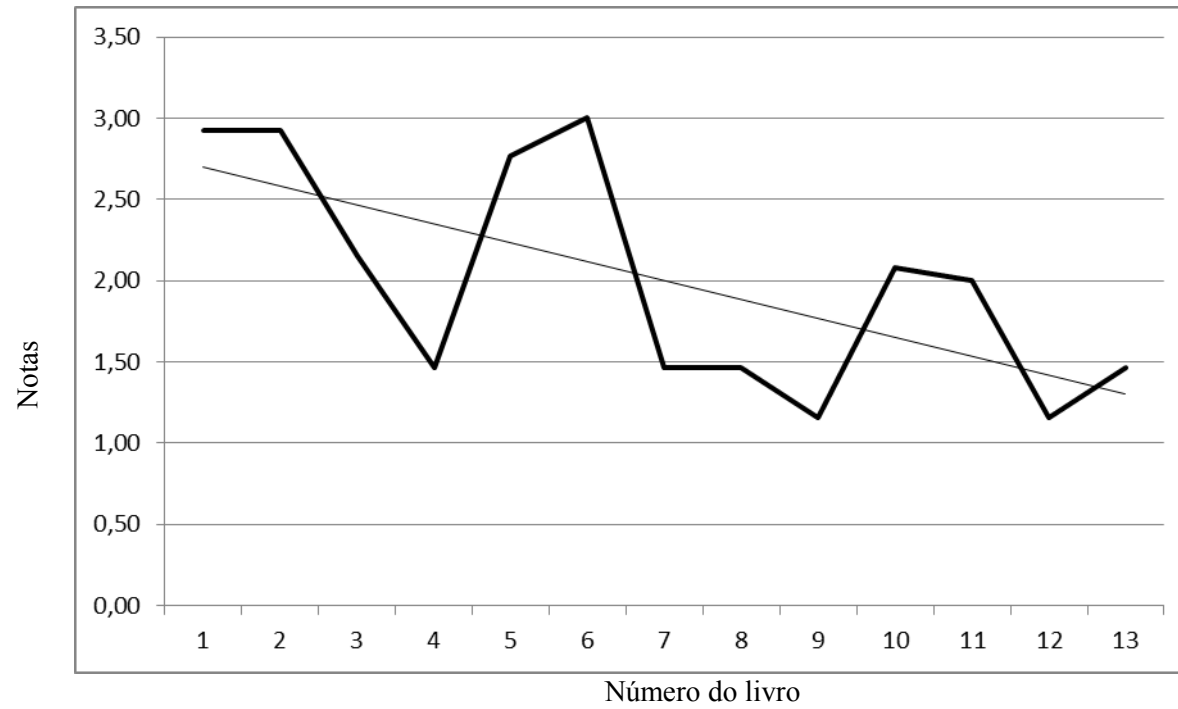
	1 - Paul Ferrand: 1887	2 - José Eulálio da Silva Oliveira: 1905	3 - Antônio Francisco de Paula Souza: 1914	4 - Augusto de Brito Belford Roxo: 1923	5 - Flavio Suplicy de Lacerda: 1936	6 - Stephen P. Timoshenko: 1945	7 - Telemaco van Langendonck: 1956	8 - Jayme Ferreira da Silva Junior: 1962	9 - Evaristo Valadares Costa: 1974	10 - S. Timoshenko e J. Gere: 1983	11 - F. Beer e E. Johnston: 1996	12 - Russell C. Hibbeler: 2004	13 - J. Gere e B. Goodno: 2010
concisão	3	3	2	1	2	3	1	2	1	2	1	1	1
objetividade	3	3	2	1	2	3	1	2	1	2	2	1	1
clareza	3	3	2	1	3	3	1	1	1	2	3	1	2
precisão	3	3	2	1	3	3	1	1	1	2	2	1	1
didática	3	2	2	2	2	3	1	1	2	2	3	2	2
coerência	3	3	3	2	3	3	2	2	1	2	3	1	1
elegância	3	3	2	2	3	3	2	1	1	2	2	1	1
rigor	3	3	2	1	3	3	2	2	1	2	2	1	1
correção	3	3	2	2	3	3	2	2	1	2	2	1	1
sobriedade	3	3	3	1	3	3	1	2	1	2	1	1	1
adequação	3	3	2	2	3	3	1	1	1	2	2	1	2
correção gramatical	2	3	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
fundamentação	3	3	2	1	3	3	2	1	1	3	1	1	3
total	38	38	28	19	36	39	19	19	15	27	26	15	19
média	2,92	2,92	2,15	1,46	2,77	3,00	1,46	1,46	1,15	2,08	2,00	1,15	1,46

### 5.3. Tabela de classificação dos livros de acordo com a avaliação

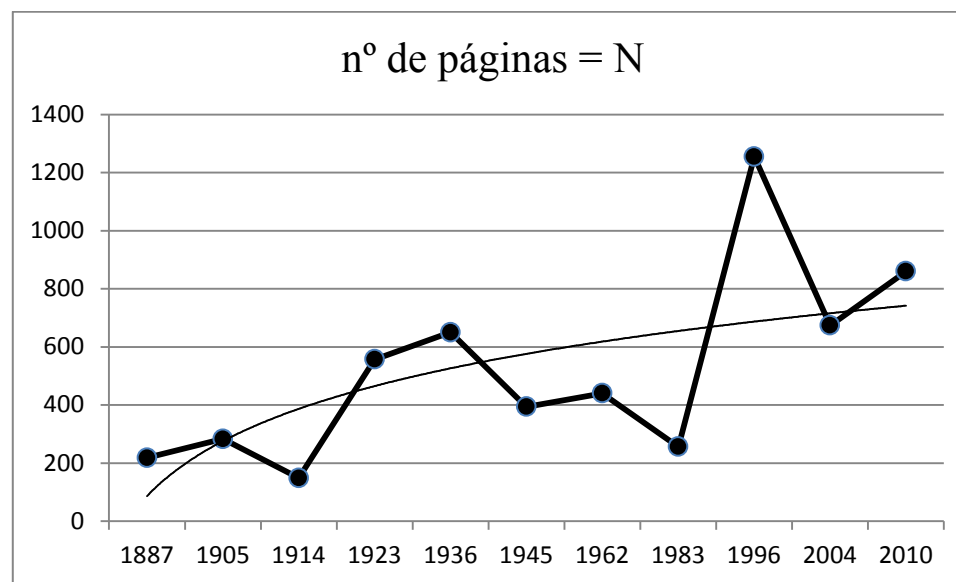
Classificação	livro	avaliação
Bom	Stephen P. Timoshenko: 1945	3,00
	Paul Ferrand: 1887	2,92
	José Eulálio da Silva Oliveira: 1905	2,92
	Flavio Suplicy de Lacerda: 1936	2,77
Razoável	Antônio Francisco de Paula Souza: 1914	2,15
	- S. Timoshenko e J. Gere: 1983	2,08
	F. Beer e E. Johnston: 1996	2,00
Ruim	Augusto de Brito Belford Roxo: 1923	1,46
	Telemaco van Langendonck: 1956	1,46
	Jayme Ferreira da Silva Júnior: 1962	1,46
	J. Gere e B. Goodno: 2010	1,46
	Evaristo Valadares Costa: 1974	1,15
	Russell C. Hibbeler: 2004	1,15

## **6. GRÁFICOS**

## 6.1. Gráfico de avaliação dos livros

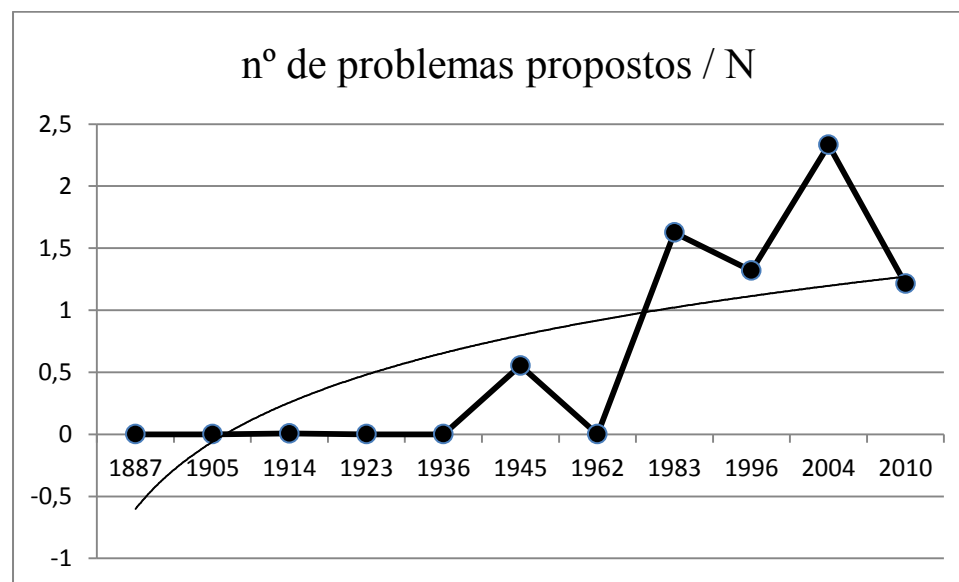
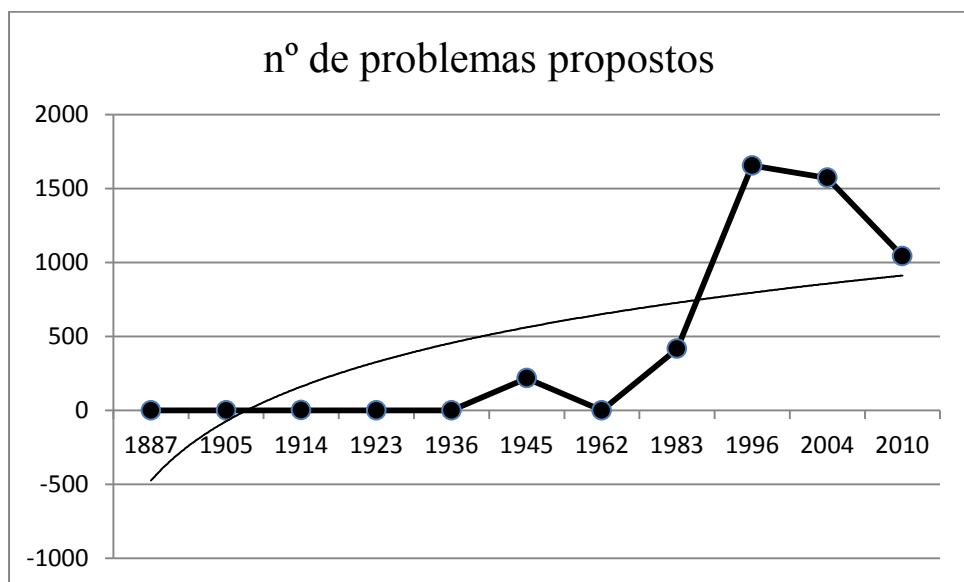


## 6.2. Evolução do número de páginas dos livros (N)

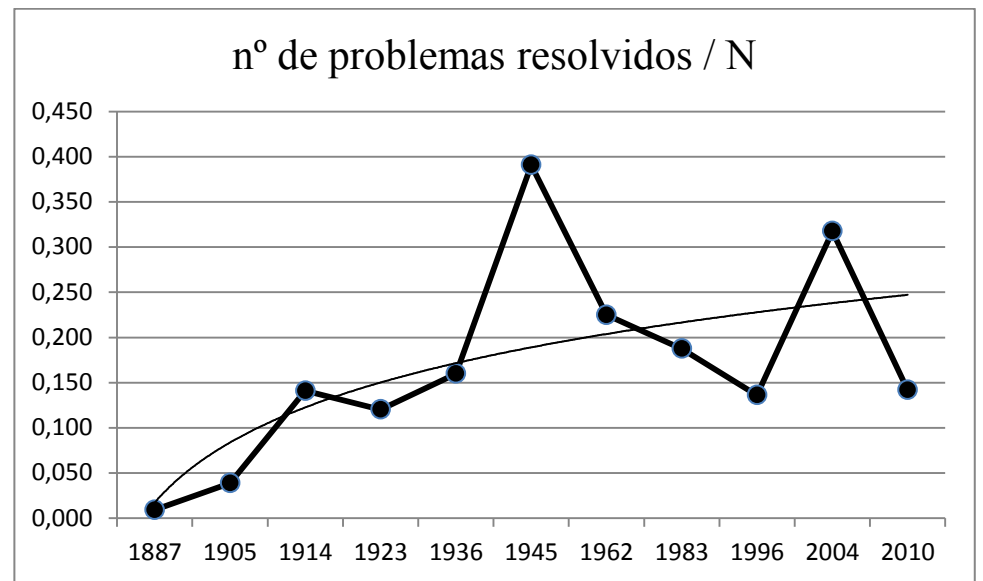
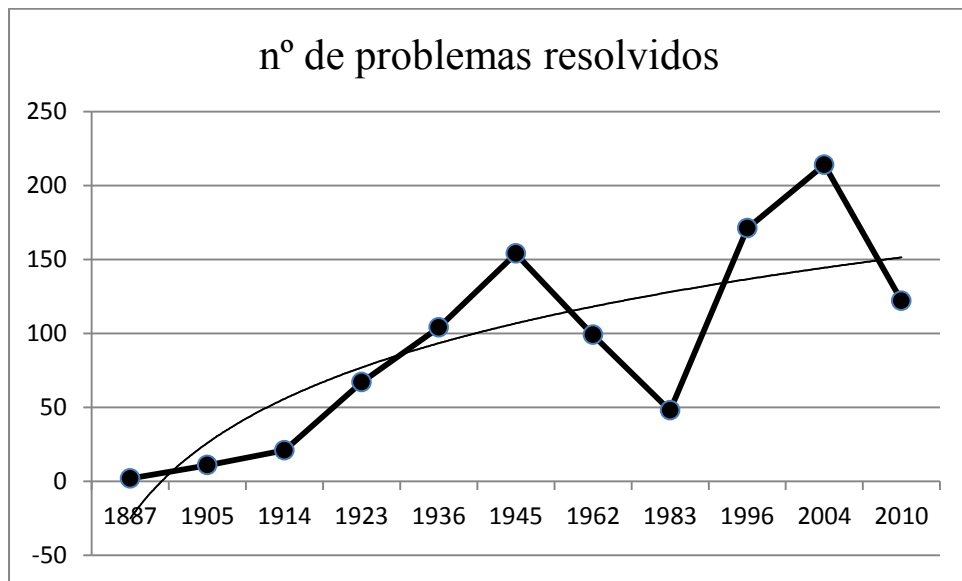




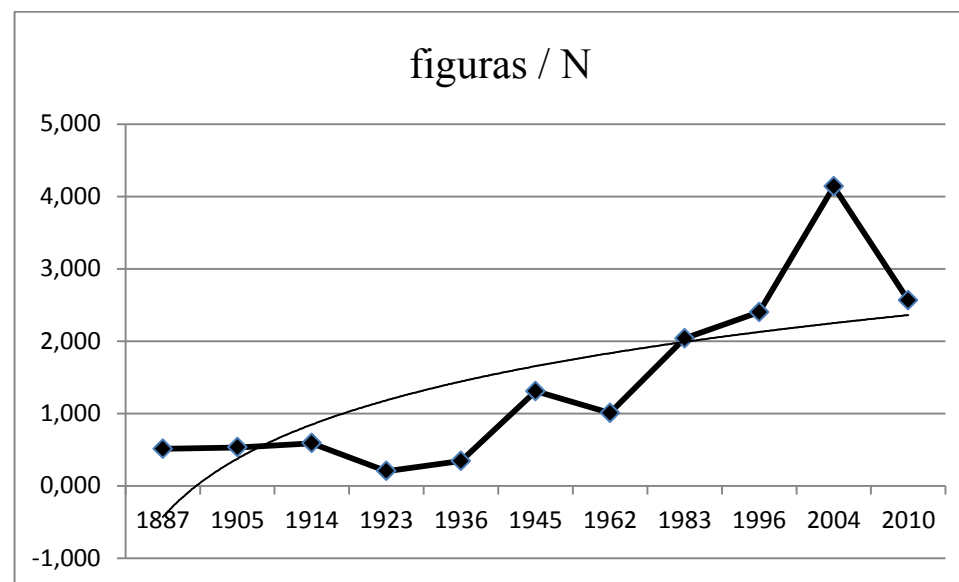
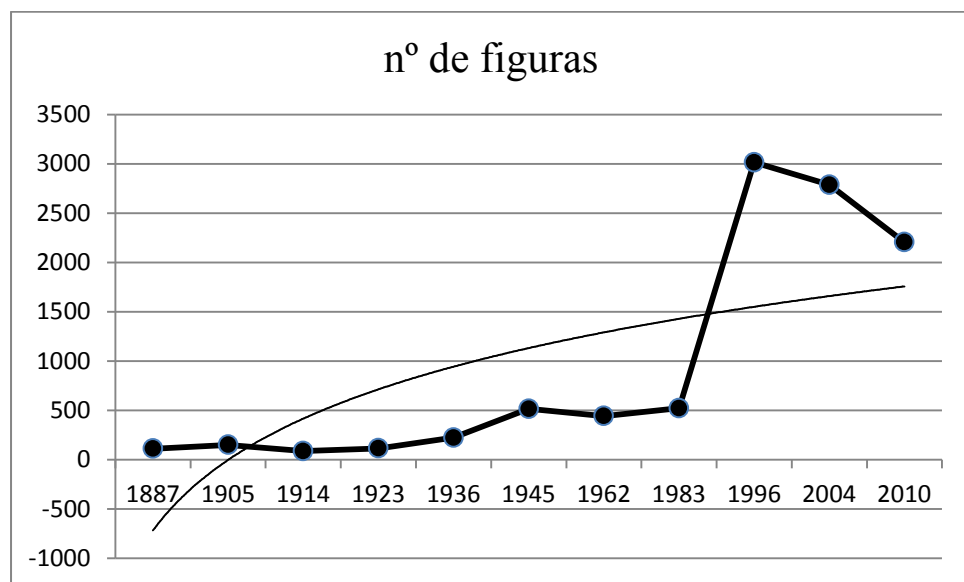
### 6.3. Evolução do número de problemas propostos nos livros



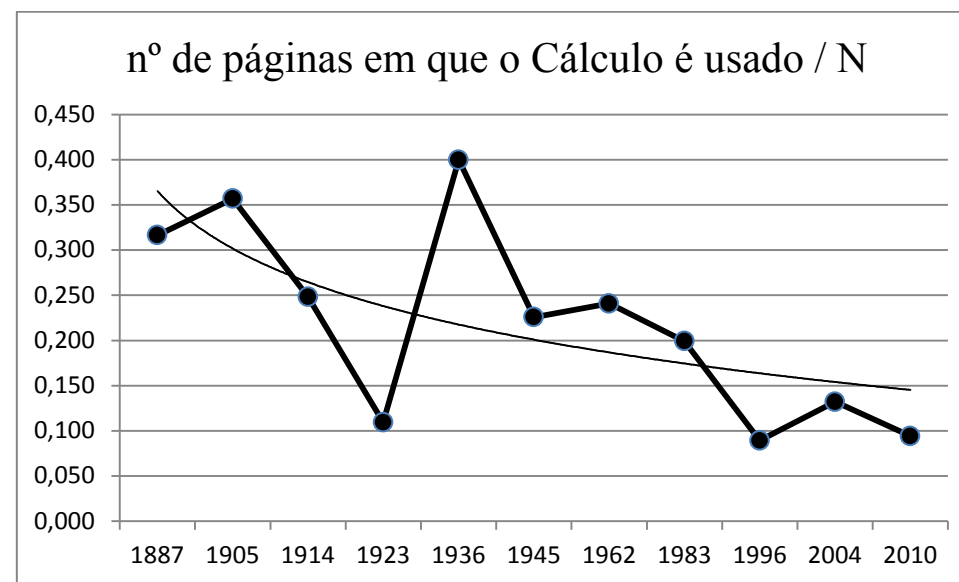
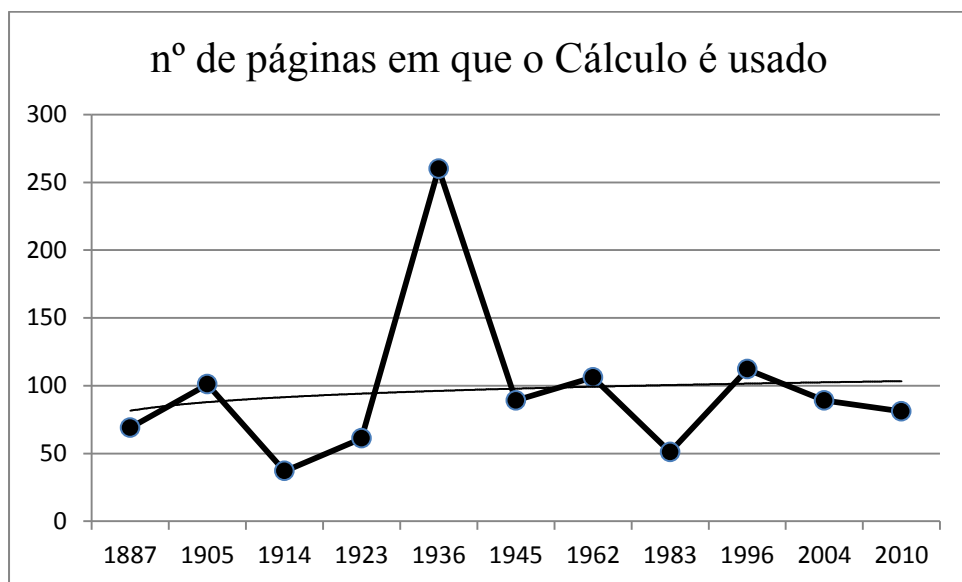
## 6.4. Evolução do número de problemas resolvidos nos livros



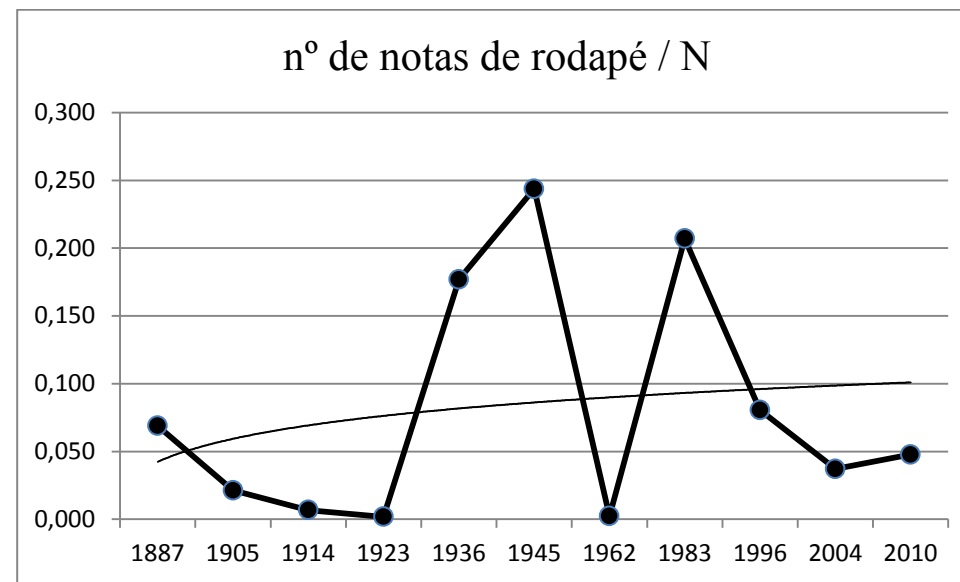
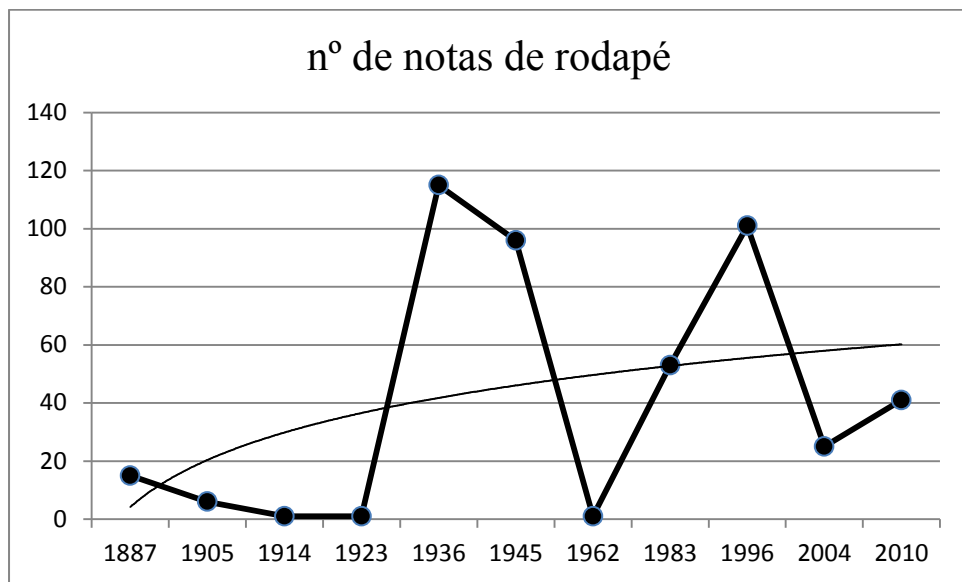
## 6.5. Evolução do número de figuras nos livros



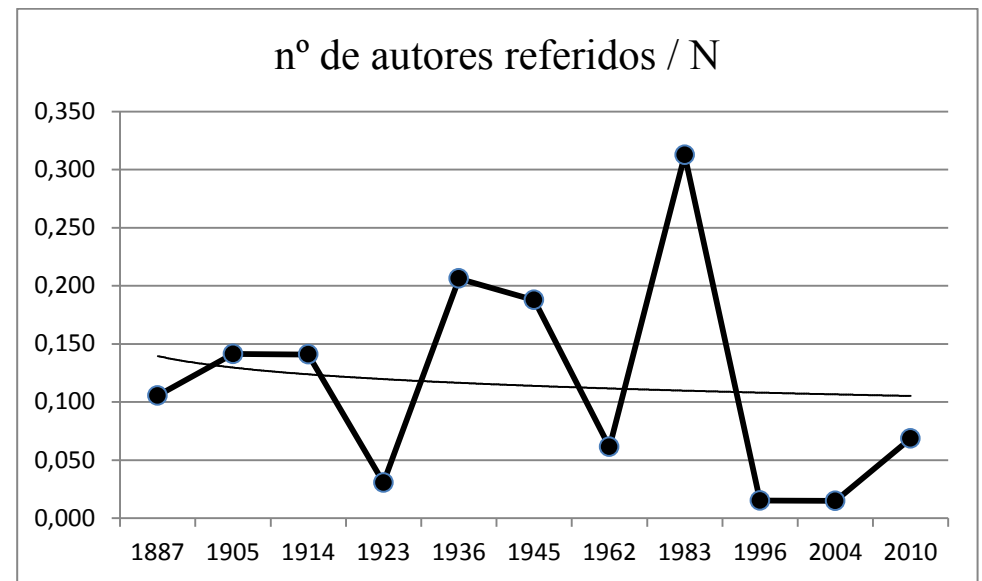
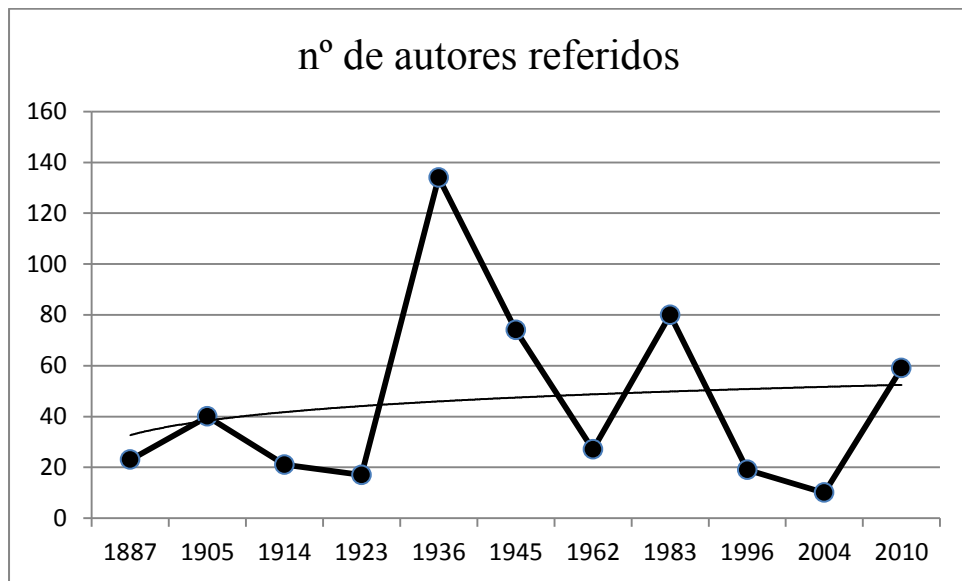
## 6.6. Evolução do número de páginas em que o Cálculo Diferencial e Integral é usado



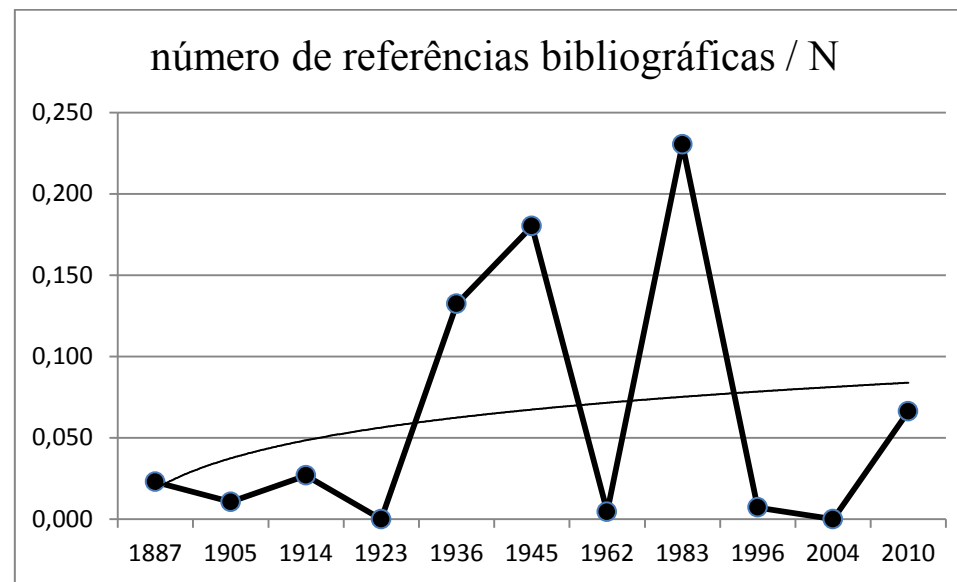
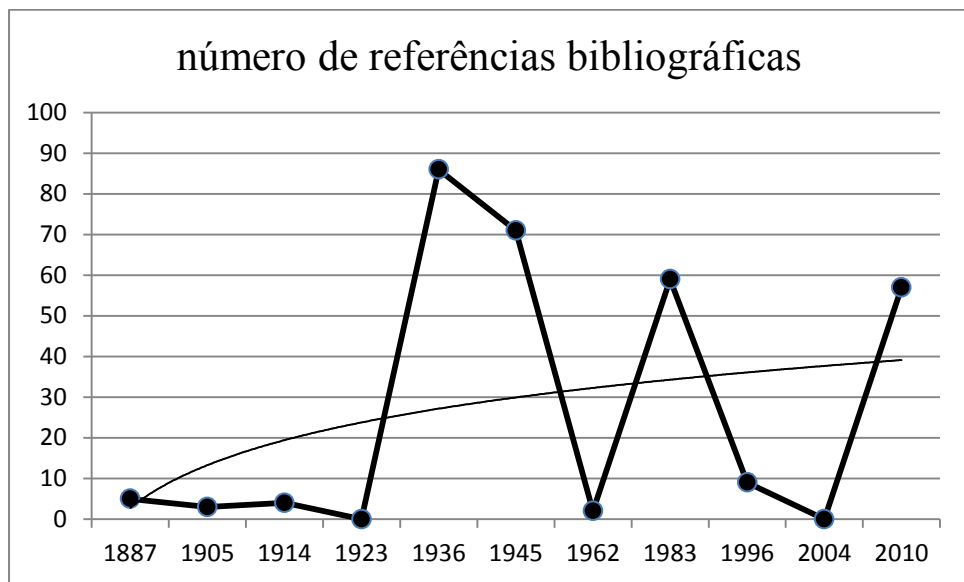
## 6.7. Evolução do número de notas de rodapé encontradas nos livros



## 6.8. Evolução do número de autores referidos nos livros



## 6.9. Evolução do número de referências bibliográficas apresentadas nos livros



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

Quando, em meados do século XV, o alemão Gutenberg<sup>227</sup> criou a prensa de tipos móveis, considerada por muitos o evento mais importante da era moderna, provavelmente não imaginou quão revolucionária era sua invenção: dali em diante, a comunicação escrita seria propagada e disseminada com velocidade muitíssimo maior do que fora até então com cópias manuscritas ou impressas com tipos fixos.

Imprimir livros passou a ser mais fácil, mais rápido e mais barato e isso fez surgir duas novas modalidades de negócios: a indústria gráfica e o comércio de livros: a possibilidade de produzir e comercializar quantidades maiores de livros transformou-os em algo mais que meios de comunicação, isto é, livros passaram a ser mercadorias e bens de consumo.

Certamente, quando falamos em “maior facilidade”, “maior velocidade” e “menor custo” de impressão, proporcionados pela prensa de tipos móveis, isso deve ser relativizado: do ponto de vista da indústria gráfica atual, o processo de montagem dos tipos móveis para a impressão de uma única página era extremamente lento, trabalhoso e caro. Assim, ainda não se podia imprimir “qualquer coisa” escrita por “qualquer autor”.

Durante quatrocentos anos, a técnica de impressão de livros se manteve praticamente inalterada. Foi só em 1884 que Ottmar Mergenthaler<sup>228</sup> revolucionou novamente a composição tipográfica com a invenção da “linotipo”, um equipamento que combinava o teclado de uma máquina de escrever com um sistema de fundição para produzir uma linha inteira de texto, daí seu nome: linha de tipos ou “linotipo”.

A cultura da comunicação de massa da atualidade é em grande parte produto da revolução que a linotipo impulsionou em fins do século XIX. O próprio Mergenthaler já havia lamentado a falta de livros escolares em sua Alemanha natal durante sua infância, e um dos grandes benefícios de sua invenção foi a distribuição muito mais rápida desses materiais o que ajudou a transformar e padronizar a educação em todo o mundo. (CHALINE, 2014, p. 49)<sup>229</sup>.

Contudo, por mais que a velocidade e a facilidade de impressão tivessem aumentado com a “linotipo” e, conseqüentemente, a quantidade de material impresso, isso ainda era insignificante em relação ao que o futuro traria. Na década de 1960 foi criada a “fotocomposição<sup>230</sup>” e, na década de 1990, surge a “impressão digital”.

Os processos digitais, de certa forma, banalizaram a impressão. Imprimir passou a ser muitíssimo mais simples e barato. E, a indústria gráfica, perfeitamente inserida numa economia capitalista, cujos fundamentos são “crescimento contínuo e ilimitado” e “competição sem trégua”, precisa, para sua sobrevivência, que livros sejam produzidos em massa. Do ponto de vista da indústria gráfica, o livro torna-se “material de consumo”: deve ser comercializado em grandes quantidades, deve ser descartável, deve se tornar “obsoleto” em pouco tempo e substituído por um “novo”.

<sup>227</sup> Johannes Gensfleisch zur Laden zum Gutenberg, ou simplesmente Johannes Gutenberg (1398-1468) inventor e gráficoalemão.

<sup>228</sup> Ottmar Mergenthaler (1854-1899) foi um relojoeiro e inventor alemão, chamado por alguns “o segundo Gutenberg” por sua invenção do linotipo.

<sup>229</sup> CHALINE, Eric. 50 máquinas que mudaram o rumo da história. Rio de Janeiro: Sextante, 2014.

<sup>230</sup> Fotocomposição: processo de composição a frio que utiliza técnicas fotográficas ou eletrônicas para a produção de textos, a partir de fontes (conjunto de letras) gravadas em filme, fita magnética, disco etc.



Todavia, para que essa “máquina” funcione, é preciso “combustível”, ou seja, é preciso que haja “autores” dispostos a escrever “algo” para ser impresso e comercializado.

Limitando-nos aos livros-texto de Resistência dos Materiais, o que teriam, hoje, os “autores” para escrever que ainda não houvesse sido escrito?

Um livro-texto de Resistência dos Materiais deveria ser mais que um objeto utilitário, um manual de fórmulas, um guia de cálculos. Ao redigir um livro-texto, o autor deveria estar imbuído de respeito e reverência pelos séculos de trabalho e conquistas que o precederam. Esse é o exemplo dado por Newton, numa carta a Hooke<sup>231</sup>, no ano de 1676:

*If I have seen farther, it is by standing on the shoulders of giants*<sup>232</sup>

O que teria feito Galileu se não houvesse lido os estudos de Arquimedes? E esta mesma pergunta poderíamos repetir centenas de vezes, apenas substituindo os nomes de Galileu e de Arquimedes pelos nomes daqueles que os sucederam, ao longo dos séculos.

Essa é uma das características da Educação: a preservação e a transmissão do patrimônio cultural. E todo educador, além de difusor de conhecimentos, deveria ser guardião da História, preservando-a, protegendo-a.

Escrever um livro-texto implica uma enorme responsabilidade. O fato de um engenheiro ser professor de Resistência dos Materiais há muitos anos não é suficiente para qualificá-lo como autor. Dar aulas por muitos anos pode significar, apenas, que o professor repetiu a mesma aula inúmeras vezes e, possivelmente, os mesmos erros.

Neste trabalho, ao analisarmos livros-texto de Resistência dos Materiais publicados no Brasil ao longo de mais de cem anos, pudemos identificar distorções que têm ocorrido, à medida que gerações de autores vão se sucedendo. Um autor que cometa um deslize pode dar origem a erros que irão se propagar até que alguém se disponha a resgatar as fontes primárias, anteriores ao erro. Entretanto, reverter um erro que tenha se consolidado e se estabelecido como verdade não será tarefa fácil.

Nós, os professores de Resistência dos Materiais, no Brasil, somos engenheiros. O que sabemos de Resistência dos Materiais é aquilo que aprendemos nos cursos de engenharia e nos livros que lemos. E os livros que lemos são os livros “modernos”. Nossa tendência é esquecer os livros “antigos” e optar sempre pelos livros “novos”. Contudo, os livros “modernos”, em geral, são cópias de livros que os antecederam. E assim, os erros vão se disseminando e se perpetuando.

O que “deveria ser”, hoje, um livro-texto de Resistência dos Materiais?

Para responder essa pergunta devemos fazer algumas considerações:

1. o livro-texto de Resistência dos Materiais tem como fim a formação de futuros engenheiros;
2. o estudante de engenharia, terá seu primeiro contato com a Resistência dos Materiais através das aulas e dos livros-texto;

---

<sup>231</sup>BREWSTER, David. The Newton Project. Source: Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton, vol. 1 (Edinburgh: 1855). Published online: September 2009.

Disponível em:

< <http://www.newtonproject.sussex.ac.uk/view/texts/-normalized/OTHE00101> >

<sup>232</sup> Se vi mais longe, foi por estar sobre os ombros de gigantes.\*

\*De fato, a frase não é criação de Newton. A metáfora de anões sobre os ombros de gigantes, significando "avançar no conhecimento, no presente, a partir de descobertas do passado", é atribuída a Bernard de Chartres, filósofo francês do século XII.

3. por melhores que sejam os professores e suas aulas, estas se limitam a poucas horas numa semana, isto implica a necessidade de estudo extraclasse, o que deve ser feito com o livro-texto;
4. Resistência dos Materiais é uma das inúmeras disciplinas de um curso de engenharia, portanto, o tempo que um estudante tem para se dedicar a cada uma delas é necessariamente limitado;
5. os cursos de engenharia, mais do que informar, devem formar: desde os anos 1960, com o advento do processamento eletrônico de dados, diversos programas computacionais (por exemplo, NASTRAN, ANSYS, ABAQUS, GT-STRUD etc.) têm sido desenvolvidos (geralmente com base no Método dos Elementos Finitos). Isso mudou total e definitivamente o trabalho do engenheiro. Contudo, por trás dos métodos computacionais, os fundamentos da Matemática e da Mecânica Newtoniana continuam os mesmos. A esse respeito vemos o que diz Roy Craig Jr.:

(...) a ênfase neste livro-texto está no desenvolvimento de seu [do estudante] entendimento dos fundamentos da Mecânica dos Sólidos elementar e não na elaboração de programas computacionais ou no uso de programas computacionais existentes só para conseguir respostas imediatas. (CRAIG JR., 2003, p. v)<sup>233</sup>.

6. o que o livro acrescenta em relação a obras do passado? que modificações e traz? qual a contribuição do autor?

Os autores de livros didáticos não são simples espectadores de seu tempo: eles reivindicam um outro status, o de agente. O livro didático não é um simples espelho: ele modifica a realidade para educar as novas gerações, fornecendo uma imagem deformada, esquematizada, modelada (...). Não é suficiente, no entanto, deter-se nas questões que se referem aos autores e ao que eles escrevem; é necessário também prestar atenção àquilo que eles silenciam, pois se o livro didático é um espelho, pode também ser uma tela. (CHOPPIN, 2004, p. 557)<sup>234</sup>.

Com base nessas considerações, pensamos que um livro-texto de Resistência dos Materiais deveria ter as seguintes características:

1. ser claro, objetivo, conciso, sóbrio;
2. ser preciso e coerente;
3. respeitar o padrão culto do idioma;
4. apresentar os conceitos com rigor e absoluto respeito às normas vigentes;
5. ser adequado ao estudante que se inicia na disciplina;
6. ser didático;
7. contribuir para o amadurecimento do estudante;
8. contribuir para desenvolver no estudante a capacidade de abstração;
9. constituir-se num referencial confiável para o professor;
10. ter uma ligação reverente e respeitosa com os “clássicos” (livros e autores que constituem a história da Resistência dos Materiais).

Vejamos algumas observações feitas por Pfromm Neto et alii:

---

<sup>233</sup> CRAIG JR., R. R. Mecânica dos Materiais. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2003.

<sup>234</sup> CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. Revista Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 549-566, set./dez. 2004.

O livro didático [ou livro-texto], como qualquer livro, tem pontos fortes e pontos fracos, vantagens e desvantagens. A designação “livro didático” envolve responsabilidades mais definidas e muito mais sérias e por isto os livros desse tipo são muito mais sujeitos a críticas do que outros tipos de livros.

(PFROMM NETO et alii, 1974, p. 25)<sup>235</sup>.

Uma das críticas que fazemos neste trabalho é ao excessivo número de figuras observado nos livros-texto de Resistência dos Materiais publicados nos últimos anos. A esse respeito Pfromm Neto diz:

Fenômenos, ideias e valores altamente complexos ou abstratos dificilmente poderão ser compreendidos por uma criança, quando apresentados tais como aparecem em tratados universitários – de física, medicina ou economia, por exemplo. A literatura didática destinada à escola de primeiro grau se encarrega de traduzi-los em linguagem mais simples, à altura da compreensão da criança. Usa grande número de exemplos concretos. Apela para recursos como desenhos, diagramas etc.

(id. ibid. p. 30).

Há estudos que demonstram a ineficácia de certas ilustrações supostamente destinadas a melhorar a compreensão e a aprendizagem. O professor não deve se iludir com a riqueza, a beleza e a cor da ilustração. (...) o professor deve encarar as ilustrações de um texto com o mesmo cuidado que tem para com a parte escrita.

(id. ibid. p. 42 e 43).

Assim, uma de nossas críticas é: os livros-texto atuais, responsáveis pela formação profissional de engenheiros, estão descumprindo esse papel ao tratar o estudante universitário como se fosse uma criança da escola de primeiro grau.

Outro aspecto que se evidencia em livros-texto atuais é o da redação ruim.

Um livro muito bem planejado e executado não deve esconder um texto medíocre.

(id. ibid. p. 36).

Faremos a seguir uma síntese dos principais aspectos observados na nossa pesquisa.

### **Crescimento dos livros.**

Verificamos que os livros “cresceram” em largura, em altura e em número de páginas. O ápice foi alcançado, em 1996, pelo livro “Resistência dos Materiais”, de Beer-Johnston, com 210 mm x 275 mm e 1255 páginas.

A tendência atual é que os livros tenham, em média, 700 páginas.

Esse crescimento se deve a:

- aumento do texto;
- aumento do número de problemas resolvidos e propostos;
- aumento do número de figuras.

Apesar de aumento dos livros, o conteúdo, em relação a livros do passado, praticamente não mudou: o aumento do livro não implicou aumento de qualidade.

---

<sup>235</sup> PFROMM NETO, S. et alii. O livro na educação. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro/MEC – Programa do Livro-Texto, 1974.

### **Aumento de problemas propostos e resolvidos.**

Nos primeiros livros de Resistência dos Materiais, havia alguns poucos problemas resolvidos e raramente havia problemas propostos. Isso mudou muito, principalmente em relação aos problemas propostos: a tendência dos livros atuais é propor mais de mil problemas, tendo chegado, no livro de Beer-Johnston analisado, a 1655.

Certamente, num curso normal de Resistência dos Materiais, não será possível resolver nem uma fração desse número, portanto, a maior parte deles restará inútil e só terá servido para consumir papel. Seria muito mais interessante se os autores fizessem uma seleção e apresentassem apenas os problemas mais significativos para o aprendizado da matéria.

### **Aumento do número de figuras.**

Em engenharia, a comunicação através do desenho é fundamental: há informações que só podem ser transmitidas com clareza através de imagens, tanto que fazem parte do curso disciplinas específicas, usualmente denominadas Desenho Técnico e Desenho Assistido por Computador. Do ponto de vista da didática, a utilidade e as vantagens do uso de imagens são indiscutíveis:

Nos livros didáticos [ou livros-texto], a integração dos textos com ilustrações, compreendendo fotografias, desenhos, gráficos, diagramas, é um dos recursos mais poderosos para aumentar o interesse, a compreensão, a aprendizagem e a retenção por parte dos alunos. Essa integração apresenta uma série de vantagens, estudadas pelos especialistas em livros (...) e obras didáticas. (id. *ibid.* p. 42).

Portanto, não questionamos a utilização de figuras, mas, sim, os excessos que observamos nos livros-texto de Resistência dos Materiais publicados nos últimos anos.

Dos livros que analisamos, enquanto os escritos na primeira metade do século XX apresentavam, em média, uma figura a cada duas páginas, Hibbeler, em 2004, apresentava, em média, mais de quatro figuras por página. Em 1905, Paula Souza publica seu curso de Resistência dos Materiais utilizando 88 figuras, em 1996, para apresentar praticamente o mesmo curso, Beer e Johnston utilizam 3015 figuras.

O que se evidencia nos livros atuais é tendência de “traduzir o texto” através de imagens. Isso nos leva às seguintes questões:

- a capacidade de ler e compreender o que foi lido é menor hoje do que no passado?
- a capacidade de abstração e criatividade dos estudantes hoje é menor do que no passado?
- terão os autores atuais mais dificuldade para redigir do que os autores do passado?

### **A utilização cada vez menor do Cálculo Diferencial e Integral.**

Nossas análises comprovaram o que temos observado há muitos anos: o Cálculo Diferencial e Integral tem sido cada vez menos usado nos livros-texto de Resistência dos Materiais.

Nos livros publicados na primeira metade do século XX, o Cálculo aparece em 28% das páginas; nos livros publicados a partir de 1950, o cálculo aparece em 16% das páginas.

Pensamos que esta constatação seja muito significativa e que deveria ser tema de uma pesquisa específica.

### **Diminuição do número de notas de rodapé.**

Adotamos o número de notas de rodapé como um dos índices de avaliação dos livros por considerarmos que elas dão consistência e credibilidade ao texto.

Nas notas de rodapé aparecem as referências, os autores, a origem dos dados, os comentários, os adendos, as observações, as sugestões de leituras complementares, as traduções, as notas do tradutor, as notas do revisor etc. Para nós, um texto sem notas de rodapé é um texto pobre.

Como exemplo desse empobrecimento, consideremos dois livros que, supostamente, seriam “sucessores” se Timoshenko:

livro	ano	porcentagem de páginas em que aparecem notas de rodapé
Tomoshenko	1945	24%
Timoshenko-Gere	1983	20%
Gere- Goodno	2010	5%

Citaremos um exemplo de “empobrecimento” de um livro:

- a 5ª edição de “Mecânica vetorial para engenheiros”<sup>236</sup>, de Beer e Johnston, teve a revisão técnica de Giorgio Giancaglia<sup>237</sup>. Ao longo do texto, o Prof. Giancaglia faz um grande número de observações, correções, sugestões etc. Essa intensa participação de Giancaglia, através de rotas de rodapé, “dá lastro” ao livro e é valiosíssima para o leitor;
- a 7ª edição de “Mecânica vetorial para engenheiros”<sup>238</sup>, além dos autores originais, Beer e Johnston, tem mais dois “autores”: E. R. Eisenberg e W. E. Clausen. Além do acréscimo de dois “autores”, o tradutor da 5ª edição é substituído por dois outros tradutores e o revisor técnico também é outro. Desaparecem totalmente as notas de rodapé e, com elas, a contribuição riquíssima de Giancaglia.

### **Autores referidos e referências bibliográficas**

Nosso trabalho mostrou que o número de autores referidos e o número de referências bibliográficas variam muito nas obras analisadas. Entretanto, esses números devem ser fortemente questionados: há obras que mencionam pouquíssimos autores e não fazem qualquer referência bibliográfica (por exemplo, o livro de Evaristo Valladares Costa) e que,

<sup>236</sup> BEER, F. P. e JOHNSTON, E. R. Mecânica vetorial para engenheiros. 5ª ed. v.1 e v.2. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1990.

<sup>237</sup> Giorgio Eugenio Oscare Giancaglia, nasceu em Gênova, Itália, em 1935, foi Professor Catedrático de Mecânica Geral da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e Professor Emérito da USP.

<sup>238</sup> BEER, F. P., JOHNSTON, E. R., EISENBERG, E. R., CLAUSEN, W. E. Mecânica vetorial para engenheiros. 7ª ed. v.1 e v.2. Rio de Janeiro: Makron, McGraw-Hill, 2006.

de fato, não têm fundamentação, e outras que fazem referência a um grande número de autores e, supostamente, estão apoiadas em farta bibliografia (por exemplo, o livro de Gere-Goodno) e, no entanto, não se mostram consistentes.

Assim, ficamos entre dois extremos: obras sem qualquer “lastro” e obras fortemente “lastreadas”, mas que, como as anteriores, não têm consistência.

Concluimos que facilidade de inclusão de referências bibliográficas num texto torna esse índice pouco confiável como parâmetro para a avaliação de livros.

### **Constatações gerais relativas aos livros-texto de Resistência dos Materiais publicados nos Brasil.**

- ao longo das décadas, os livros cresceram em todos os aspectos: dimensões, número de páginas, extensão do texto, número de problemas, número de figuras etc. Contudo, não se tornaram melhores, pelo contrário;
- a impressão, as ilustrações, as cores, a diagramação etc. evoluíram muito. Os livros tornaram-se muito mais “chamativos” e visualmente atraentes, entretanto seu conteúdo empobreceu;
- a tradução tem sido um grande problema que as revisões não têm solucionado;
- autores têm se permitido inventar termos ou modificar a terminologia clássica da Matemática e da Mecânica, o que torna o texto confuso;
- de modo geral, os livros são “cópias” modificadas uns dos outros.

### **Conclusão.**

Como conclusão deste trabalho, gostaríamos fazer nossas as palavras de alguns trechos do livro “Quem engana quem? Professor x Livro Didático<sup>239</sup>”, de Olga Molina<sup>240</sup>, cujo título, por si só, é bem eloquente.

Na apresentação do livro, escrita pelo Professor Ezequiel Theodoro da Silva, da Faculdade de Educação da UNICAMP, lemos:

(...) as estratégias de “marketing” que as editoras aplicam no contexto das escolas, fazendo a cabeça dos professores, impondo modismos, incentivando o consumo (...) iludindo consciências através de embelezamento do produto e de regras do mínimo esforço. (MOLINA, op. cit. p. 9).

(...) os professores necessitam (...) compreender melhor os porquês de tanta engambelação nessa área crítica do ensino, ou seja, compreender aquilo que está por trás do mercantilismo e da penetração fácil dos livros didáticos em nossas escolas.

<sup>239</sup> MOLINA, O. Quem engana quem? – Professor x Livro Didático. Campinas: Editora Papirus, 1988.

<sup>240</sup> Olga Molina : Professora da Faculdade de Educação da USP.

Compreender também que, muitas vezes, um livro didático, em função de seu conteúdo, de sua estruturação e/ou do seu uso, pode gerar efeito contrário, ou seja, ser extremamente anti-didático. (...) os livros didáticos devem atender às necessidades concretas do ensino; caso não atendam a esse critério, devem ser desprezados e denunciados pelos professores. (...) de modo que aquele critério, de cunho educativo (e não meramente comercial), seja observado e cumprido. Caso isto não seja feito de uma maneira crítica e bem fundamentada, continuaremos dentro do círculo de alienação ou da “disneylândia pedagógica”. (id. *ibid.* p. 10).

No capítulo I, a Professora Molina nos diz:

(...) a convicção de que se torna cada vez mais necessário muito cuidado com livros didáticos, que representam uma parcela bastante significativa do mercado consumidor. A atração exercida por tal mercado pode levar à produção, por vezes, de livros destinados antes a gerar lucros imediatos, em lugar de serem frutos de uma preocupação maior com os objetivos primeiros da obra didática. (id. *ibid.* p. 20).

Quem edita mais, divulga mais e, com isso, forma-se um círculo vicioso: as editoras mais poderosas exercem maior pressão sobre os professores (pela distribuição de exemplares gratuitos e pela propaganda maciça) e, sendo mais conhecidas, têm suas obras entre as mais escolhidas. Por outro lado, como o professor não é preparado para fazer suas escolhas e simplesmente recebe um catálogo de títulos que podem ser escolhidos, sem nenhuma indicação quanto a possíveis critérios norteadores e, ainda por cima, com um prazo geralmente muito limitado para decidir, ao observador mais atento só resta mesmo a sensação de falsa liberdade. De pouco adianta poder escolher, quando não se sabe como escolher. (id. *ibid.* p. 24).

Cresceu espantosamente, de uns anos para cá, a população escolar brasileira. O aumento do número de alunos exigiu, em contrapartida, maior quantidade de professores. Onde buscá-los? Nas Faculdades de Filosofia que surgiram rapidamente quase que por toda parte. Numericamente, estavam resolvidos os problemas educacionais no Brasil: aumentava a população escolar, especialmente a universitária (...) a quantidade não se fez acompanhar pela qualidade e o que se viu foi a formação de professores em cursos rápidos, sem maior embasamento teórico. Mal preparados, como poderiam os professores lutar por um ensino em condições excelentes? Aceitavam o que lhes era imposto: salários progressivamente reduzidos e jornadas de trabalho cada vez maiores. O quadro está, pois, razoavelmente esboçado – tem-se uma grande população escolar assistida por professores sobrecarregados de aulas e muitas vezes mal preparados que não podem, evidentemente, nem escolher nem, muito menos, escrever bons livros didáticos. Não se pretende aqui acusar os professores por algo que nem sempre é culpa sua, ou seja, sua formação precária. O que se quer é alertar para uma situação que permite, muitas vezes, abusos por parte de alguns autores e editores menos atentos à importância do papel desempenhado pelo livro didático no contexto da educação (...) (id. *ibid.* p. 26)

Concluimos, portanto, que não estamos num bom caminho. De maneira geral, nossa educação não é boa e, pior, estamos numa espiral que nos afasta progressivamente da tão desejada educação de qualidade para todos. Os livros-texto de Resistência dos materiais estão inseridos nesse contexto. Talvez devêssemos retomar livros do passado e atualizá-los graficamente, sem tocar no seu conteúdo.

## 8. BIBLIOGRAFIA

ALMEIDA, O. M. Resistencia dos Materiaes. São Paulo: Publicação do Gremio Polytechnico, 1933.

ALVES, M. M. BEABÁ dos MEC-USAID. Rio de Janeiro: Edições Gernasa, 1968.

ASSIS, A. K. T. Arquimedes, o centro de gravidade e a lei da alavanca. Montreal, Canadá: C. Roy Keys Inc., 2008.

BARHAM, L. e MITCHELL, P. The first Africans – African archaeology from the earliest tool makers to most recent foragers. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008.

BEER, F. P. e JOHNSTON, E. R. Mecânica vetorial para engenheiros. 5ª ed. v.1. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1990.

BEER, F. P. e JOHNSTON, E. R. Mecânica vetorial para engenheiros. 5ª ed. v.2. São Paulo: Makron, McGraw-Hill, 1990.

BEER, F. P. et alii. Mecânica dos Materiais. 5ª ed. Porto Alegre : AMGH Editora Ltda., 2011.

BEER, F. P., JOHNSTON, E. R., EISENBERG, E. R., CLAUSEN, W. E. Mecânica vetorial para engenheiros. 7ª ed. v.1. Rio de Janeiro: Makron, McGraw-Hill, 2006.

BEER, F. P., JOHNSTON, E. R., EISENBERG, E. R., CLAUSEN, W. E. Mecânica vetorial para engenheiros. 7ª ed.v.2. Rio de Janeiro: Makron, McGraw-Hill, 2006.

BEER, F.P. e JOHNSTON Jr., E. R. e DeWOLF, J. T. Resistência dos Materiais. 4ªed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 2006.

BEER, F.P. e JOHNSTON Jr., E. R. Resistência dos Materiais. 3ª ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

BEER, F.P. e JOHNSTON Jr., E. R. Resistência dos Materiais. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982.

BEER, F.P. e JOHNSTON Jr., E. R. Resistência dos Materiais. 2ª ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1989.

BÉLIDOR, Bernard Forest. La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile. Paris, 1729.

BELLO, José Luiz de Paiva. Educação no Brasil: a História das rupturas. Pedagogia em Foco, Rio de Janeiro, 2001.

BOYER, C. B. História da Matemática, São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1974.



BREWSTER, David. The Newton Project. Source: Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton, vol. 1 (Edinburgh: 1855). Published online: September 2009.

CALDEIRA, Jorge. História do Brasil. 2ª ed. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

CAPRA, F. O ponto de mutação. São Paulo: Editora Cultrix, 1982.

CAPRA, Fritjof. A ciência de Leonardo. São Paulo: Cultrix, 2008.

CARNEIRO, Fernando Lobo, coordenador, 350 anos dos “Discorsi intorno a due nuove scienze” de Galileo Galilei. São Paulo: Editora Marco Zero, 1989.

CARVALHO, J. M. A Escola de Minas de Ouro Preto: o peso da glória. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.

CARVALHO, P. C. R. O primeiro livro de Resistência dos Materiais publicado no Brasil. Revista de Ensino de Engenharia, v. 33, n. 1, p. 57-64, 2014 – ISSN 0101-5001.

CASADO, C. F. Resistencia. Madrid, Editorial Dossat S.A., 1950.

CHALINE, Eric. 50 máquinas que mudaram o rumo da história. Rio de Janeiro: Sextante, 2014.

CHOPPIN, A. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. Revista Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 549-566, set./dez. 2004.

COSTA, E. V. Curso de Resistência dos Materiais. V1. São Paulo: Editora Nacional, 1974.

COSTA, E. V. Curso de Resistência dos Materiais. V2. São Paulo: Editora Nacional, 1974.

COSTA, E. V. Exercícios de Resistência dos Materiais. V1. São Paulo: Editora Nacional, 1974.

COSTA, E. V. Exercícios de Resistência dos Materiais. V2. São Paulo: Editora Nacional, 1974.

CRAIG JR., R. R. Mecânica dos Materiais. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 2003.

DUGAS, R. A History of Mechanics (Translation of: Histoire de la Mécanique). New York, US: Dover Publications, Inc., 1988.

DUHEM, P. Les origenes de la statique. Paris : Librairie Scientifique A. Hermann, 1905.

ESCOLA POLITÉCNICA 100 ANOS. Rio de Janeiro: Editora Expressão e Cultura Ltda., 1993.

FARO, L. C. et all. Conversas com Eliezer. Insight Engenharia de Comunicação, 2005.

FERRAND, P. Mecanica Applicada á Resistencia dos Materiaes. Paris: Guillard, Aillaud e Cia. Editores, 1887.

FÖPPL, A. Résistance des Matériaux et Éléments de la Théorie Mathématique de L'Élasticité. Paris : Gauthier-Villars, Imprimeur-Libraire, 1901.

FÖPPL, A. Résistance des Matériaux et Éléments de la Théorie Mathématique de L'Élasticité. Paris: Gauthier-Villar et Cie. Éditeurs, 1930.

GALILEI, Galileo. Le Mecaniche. Italia: Editoria, Web design, Multimedia, <http://www.e-text.it/>; 1ª EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 7 giugno 1998.

GALILEI, Galileo. Le opere. Volume X. Carteggio 1574-1610. “E-book”, Italia, 2ª EDIZIONE ELETTRONICA DEL: 28 gennaio 2002.

GALILEO ad [ANTONIO] DE' MEDICI in Firenze. Padova, 11 [febbraio] 1609. Carta de Galileo a Antnio de Medici, de Florença. Escrita em Padova em 11 de fevereiro de 1609. Bibl. Naz. Fir. Mss. Gal., P. VI, T. V, car. 19. – Autografa.

GERE, J. M. e GOODNO, B. J. Mecânica dos Materiais. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

GERE, J. M. Mecânica dos Materiais. São Paulo: Pioneira – Thompson Learning, 2003.

GIRARD, P. S. Traité analytique de la résistance des solides et des solides d'égle résistance. Paris: Du Pont Imprimeur-libraire, 1798.

GOMES, Laurentino. 1808. São Paulo: Editora Planeta Ltda. 2007.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 5ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

HIBBELER, R. C. Resistência dos Materiais. 7ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HOLANDA, Sérgio Buarque. Raízes do Brasil. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

HOLLANDA, Sergio Buarque. Raizes do Brasil. Rio de Janeiro: José Olympio Editora, 1936.

KRAFZIC, M. L. A. Acordo MEC / USAID – A Comissão do livro técnico e do livro didático – COLTED (1966 / 1971). Dissertação de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, 2006.

LACERDA, F. S. Graphostatica e Resistencia dos Materiais. Porto Alegre: Livraria do Globo, 1936.

LACERDA, F. S. Resistência dos materiais. 2ª ed. Porto Alegre: Livraria do Globo, 1947.

LACERDA, F. S. Resistência dos materiais. 4ª ed. V1. Porto Alegre: Editora Globo, 1964.

LACERDA, F. S. Resistência dos materiais. 4ª ed. V2. Porto Alegre: Editora Globo, 1964.

LANGENDONCK, Telemaco van. Resistência dos Materiais - Deformações I, RM2. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1960.

LANGENDONCK, Telemaco van. Resistência dos Materiais - Deformações II, RM3. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1967.

LANGENDONCK, Telemaco van. Resistência dos Materiais – Tensões, RM1. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1956.

LANGENDONCK, Telemaco van. Vigas simples e isostáticas de alma cheia, EC1. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1955.

LIMA, M. R. D. Pedro II e Gorceix – A fundação da Escola de Minas de Ouro Preto. Ed. Fundação Gorceix, 1977.

LUCENA, Luiz Catelliano de. Um breve histórico do IME – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2005.

MARICONDA, P. R. Duas novas ciências – Galileu Galilei. 2ª ed. São Paulo: Nova Stela Editorial, 1988. Instituto Italiano di Cultura.

MENDES, O. T. Resistencia dos Materiaes. São Paulo: Casa Vanorden, 1912.

MOLINA, O. Quem engana quem? – Professor x Livro Didático. Campinas: Editora Papirus, 1988.

MOTOYAMA, S. Prelúdio para uma história – Ciência e Tecnologia no Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

NAESS, Atle. Galileu Galilei: um revolucionário e seu tempo. Rio de Janeiro: Zahar, 2015.

NAVIER, C. L. M. H. Résumé des leçons. Paris : Dunod Éditeur, 1864.

NETZ, R. e NOEL, W. The Archimedes Codex. Philadelphia, US: Da Capo Press, 2007.

OLIVEIRA, J. E. S. Resistencia dos Materiaes - Lições dadas na Escola Militar do Brasil. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, 1905.

PADILHA, R. B. Antonio Francisco de Paula Souza – Engenheiro, político e educador – o criador da Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo: Leopardo Editora Ltda., 2010.

PARDAL, Paulo. Brasil, 1792: Início do Ensino da Engenharia Civil e da Escola de Engenharia da UFRJ. Rio de Janeiro: Gráfica e Editora Danúbio, 1985.

PARDAL, Paulo. Memórias da Escola Politécnica. Rio de Janeiro: Xerox do Brasil, 1984.

PETRIE, W. M. F. The pyramids and temples of Gizeh. London, England: Histories & Mysteries of Man Ltd., 1990.

PETROSKI, H. To engineer is human. New York: 1st. Vintage Books ed., 1992.

PFROMM NETO, S. et alii. O livro na educação. Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Livro/MEC – Programa do Livro-Texto, 1974.

- PILETTI, Nelson. História da Educação no Brasil. São Paulo: Editora Ática S.A. 1991.
- PIRASSINUNGA, Adailton Sampaio. O ensino militar no Brasil (período colonial). Rio de Janeiro: Biblioteca de Exército Editora, 1958.
- PLUTARCH. Marcellus. Texto traduzido para o inglês por John Dryden, disponível em <http://classics.mit.edu/Plutarch/marcellu.html>
- RÉSAL, J. Résistance des Materiaux. Paris : Librairie Polytechnique. Baudry & Cie. Libraires-Éditeurs, 1898.
- RIBEIRO, Maria L. S. História da Educação Brasileira. São Paulo: Editora Moraes Ltda., 1982.
- RICARDO, O. G. Introdução à Resistência dos materiais. Campinas: Editora da Universidade de Campinas, 1977.
- RILEY, W. Mecânica dos Materiais. 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2003.
- ROBINS, G. e SHUTE, C. The Rhind Mathematical Papyrus: an Ancient Egyptian Text. New York: Dover Publications Inc., 1987.
- ROCHA, A. M. Resistência dos Materiais. Rio de Janeiro: Editora Científica, 1969.
- ROQUE, T. História da matemática: uma visão crítica, desfazendo mitos e lendas. Rio de Janeiro: Zahar, 2012.
- ROSSI, P. O nascimento da ciência moderna na Europa. Bauru, SP: EDUSC, 2001.
- ROXO, A. B. B. Lições de Resistencia dos Materiaes. Rio de Janeiro: Escola Polytechnica do Rio de Janeiro, 1915.
- ROXO, A. B. B. Lições de Resistencia dos Materiaes. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves, 1923.
- SEISS, J. A. A Miracle in Stone: or The Great Pyramid of Egypt. Philadelphia, US: Porter & Coates, 1877.
- SILVA JÚNIOR, J. F. Resistência dos Materiais. 5ª ed. Belo Horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1982.
- SILVA JÚNIOR, J. F. Resistência dos Materiais. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1962.
- SILVA, C. P. A Matemática no Brasil – Uma história de seu desenvolvimento. São Leopoldo, RS: Editora Unisinos, 1999.
- SOUZA, A. F. P. Resistencia dos Materiaes e Grapho-Estatica. São Paulo: Typographia Brazil de Rothschild & Cia., 1914.

TEIXIERA, M. V. e MARTINS, C. R. P. Resolução de Equações Algébricas por Radicais. Coleção História da Matemática para Professores. Guarapuava: Sociedade Brasileira de História da Matemática, 2007.

TELLES, P. C. S. História da Engenharia no Brasil. V. 2 – século XX. Rio de Janeiro: Clavero – Editoração, Assessoria e Marketing Ltda. 1993.

TELLES, P. C. S. História da Engenharia no Brasil. V1 (séculos XVI a XIX). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1984.

TIMOSHENKO, S. P. As I Remember. New York: D. Van Nostrand Company Ltd., 1968.

TIMOSHENKO, S. P. e GERE, J. E. Mecânica dos Sólidos. V1. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983.

TIMOSHENKO, S. P. e GERE, J. M. Mecânica dos Sólidos. V2. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983.

TIMOSHENKO, S. P. History of Strength of Materials. New York, U.S.A.: McGraw-Hill, 1953.

TIMOSHENKO, S. P. Resistencia dos Materiais. v1. Rio de Janeiro: Publicações Pan-Americanas Ltda., 1945.

TIMOSHENKO, S. P. Resistencia dos Materiais. v2. Rio de Janeiro: Publicações Pan-Americanas Ltda., 1945.

TIMOSHENKO, S. P. Strength of Materials. v1. 2ª ed. New York: D. Van Nostrand Company Inc., 1940.

TIMOSHENKO, S. P. Strength of Materials. v2. 2ª ed. New York: D. Van Nostrand Company Inc., 1940.

UGURAL, A. C. Mecânica dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009.

VALENTE, W. R. Uma história da matemática escolar no Brasil, 1730-1930. 2ª ed. São Paulo: Annablume Editora, 2007.

VARGAS, Milton. História da técnica e da tecnologia no Brasil. São Paulo: UNESP, 1994.

VITRUVIUS. The ten books on architecture. Oxford University Press, 1914.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALMEIDA, F. C. Os livros didáticos de matemática para o ensino fundamental e os temas transversais: realidade ou utopia? Dissertação (Mestrado). Bauru: UNESP, 2007.

BAGANHA, D. E. e GARCIA, N. M. D. Estudos sobre o uso e o papel do livro didático de ciências no estudo fundamental. VII Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências. Florianópolis, 2009.

BONAZZI, M. e ECO, U. Mentiras que parecem verdades. São Paulo: Editora Summus, 1980.

BRUILLARD, É. Current Textbook Research in France: an Overview. UMR STEF ENS Cachan – INRP, UniverSud, France. International Textbook Symposium, ITS 2011, April 28, 2011, Seoul, Korea.

CASSIANO, C. C. F. et alii. Mercado de livro didático no Brasil. I Seminário Brasileiro Sobre Livro e História Editorial. Rio de Janeiro, 2004.

CASTRO, F. M. O. A matemática no Brasil. Campinas: Editora da UNICAMP, 1992.

CROWE, M. J. Mechanics – from Aristotle to Einstein. New Mexico: Green Lion Press, 2007.

D'AMBROSIO, U. Uma história concisa da matemática. Rio de Janeiro: Editora Vozes Ltda. 2008.

EUCLIDES. Os elementos. Trad. Irineu Bicudo. São Paulo: Editora UNESP, 2009.

FERNANDES, A. T. C. Livros didáticos em dimensões materiais e simbólicas. Educação e Pesquisa, São Paulo, v.30, n.3, p. 531-545, set./dez. 2004.

FLORES, C. e ARRUDA, J. P. A Matemática Moderna nas Escolas do Brasil e Portugal. São Paulo: Annablume Editora, 2010.

GARBI, G. G. O romance das Equações Algébricas. 4ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

GOMES, M. L. As práticas culturais de mobilização de histórias da matemática em livros didáticos destinados ao ensino médio. Dissertação (Mestrado). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

HALLEWELL, O livro no Brasil: sua história. 2ª ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005.

IMENES, L. M. P. Um estudo sobre o Fracasso do Ensino e da Aprendizagem da Matemática. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro, 1989.

LAURO, M. M. Percepção – Construção – Representação – Concepção. Os quatro processos do ensino da Geometria: uma proposta de articulação. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.

MIGID NETO, J. e FRACALANZA, H. Livro didático de ciências: problemas e soluções. Simpósio – Concepção dos Livros Didáticos: modelo atual e novas perspectivas. Congresso Brasileiro de Qualidade na Educação – SEF/MEC. Brasília, 2001.

MIGUEL, A. e MIORIM, M. A. História da Educação Matemática. 2ª ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora Ltda. 2004.

MIORIN, M. A. Memórias de um professor-autor de livros didáticos de matemática do século XIX: alguns apontamentos. XIII Conferência Interamericana de Educação Matemática, 2011.

NEWTON, I. Principia- Princípios Matemáticos de Filosofia Natural. 2ª ed. V. 1. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

NEWTON, I. Principia- Princípios Matemáticos de Filosofia Natural. V. 2. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

NISKIER, A. História da Educação Brasileira. 3ª ed. São Paulo: Editora Europa, 2001.

PAIS, L. C. Didática da matemática – uma análise da influência francesa. 2ª ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2008.

PINGEL, F. UNESCO Guidebook on textbook research and textbook revision. 2nd edition. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Paris, 2010.

REIS, E. A. Pau de tinta: memórias de um país em construção. Rio de Janeiro: Editora Revan, 1995.

SANTOS, A. C. A trajetória da educação matemática brasileira: um olhar por meio dos livros didáticos “matemática” (1982) e “matemática e realidade” (2005). Dissertação (Mestrado em Educação). Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

SANTOS, S. M. G. André Rebouças e seu tempo. Rio de Janeiro: Editora Vozes Ltda. 1985.

SCHUBRING, G. Análise histórica de livros de matemática. Campinas: Autores Associados, 2003.

SCHWARCZ, L. M. A longa viagem da biblioteca dos reis. 2ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 2002.

SILVA, J. S. Filosofia da Matemática. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE HISTÓRIA DA MATEMÁTICA. Revista Brasileira de História da Matemática. V. 11, nº 21, 2011.

TAVARES, Gen. A. L. Vilagran Cabrita e a engenharia de seu tempo. Rio de Janeiro: Biblioteca do Exército, 1981.

VALENTE, W. R. Euclides Roxo e a modernização do ensino da matemática no Brasil. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2004.

VALENTE, W. R. O nascimento da matemática do ginásio. São Paulo: Editora Annablume, 2004.

VALENTE, W. R. Uma história da matemática escolar no Brasil: 1730-1930. 2ª ed. São Paulo: Annablume Editora, 2007.