



# CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

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

## 40 Anos do Livro “Introdução à Mecânica dos Meios Contínuos”.

Há 40 anos publiquei meu primeiro livro intitulado **Introdução à Mecânica dos Meios Contínuos** graças ao pioneirismo do então Reitor Aloysio da Costa Chaves (1920-1994) (jurista paraense) que reestruturou a COLEÇÃO AMAZÔNICA (CA) (composta de uma Série de oito títulos que homenageava vultos notáveis do Pará), dirigida pelo saudoso historiador amazonense Artur Cezar Ferreira Reis (1906-1993) e, com isso, institucionalizou a hoje Editora da *Universidade Federal do Pará* (EdUFPA). Este ato que, por seu ineditismo em publicar livros considerando as duas culturas *stownianas*, teve a presença do então Ministro da Educação, o militar e político acreano-paraense Jarbas Gonçalves Passarinho (n.1920), foi formalizado com a entrega do primeiro conjunto de livros da CA, no qual estava o **Introdução à Mecânica dos Meios Contínuos** que iniciava a Série VII - **Francisco Bolonha**.

Neste verbete, relatarei algumas curiosidades sobre a feitura desse livro, cuja ferramenta matemática principal é o cálculo envolvendo grandezas **escalares**, **vetoriais** e **tensoriais**, genericamente definidas como **tensores**. O primeiro contato que tive com as grandezas **escalares** e **vetoriais** aconteceu quando estudei Física [ministrada pelo professor José Maria Hesketh Conduru (1900-1974) (engenheiro agrônomo)] no então *Curso Científico* no CEPC, entre 1951 e 1953. Assim, as grandezas **escalares** (**tensores** de ordem zero) que estudei, são: tempo ( $t$ ), comprimento ( $\ell$ ), área ( $A$ ), volume ( $V$ ), massa ( $m$ ), frequência ( $\nu$ ), temperatura ( $T$ ), quantidade de calor ( $Q$ ), entropia ( $S$ ), índice de refração ( $n$ ), carga elétrica ( $q$ ), energia ( $E$ ), trabalho ( $\tau$ ), intensidade de corrente elétrica ( $I$ ), resistência elétrica ( $R$ ), indutância ( $L$ ) e capacitância ( $C$ ). As grandezas **vetoriais** (**tensores** de ordem um) são: velocidade ( $\vec{v}$ ), aceleração ( $\vec{a}$ ), força ( $\vec{F}$ ), quantidade de momento linear ( $\vec{P}$ ), quantidade de momento angular ( $\vec{L}$ ), campo elétrico ( $\vec{E}$ ) e indução magnética ( $\vec{B}$ ). Note-se que, nessa ocasião, as únicas operações entre vetores que aprendi foram a soma e a subtração vetorial. Somente quando estudei a então Geometria Analítica [ministrada pelo professor Renato Pinheiro Conduru (1926-1974) (engenheiro civil paraense)], no primeiro ano do *Curso de Engenharia Civil* na então *Escola de Engenharia do Pará* (EEP), em 1954, foi que trabalhei com a Álgebra Vetorial [produto escalar ( $\vec{A} \cdot \vec{B}$ ), produto vetorial ( $\vec{A} \times \vec{B}$ ) e produto misto ( $\vec{A} \cdot \vec{B} \times \vec{C}$ )]. Meu primeiro contato com a Análise Vetorial ocorreu ao estudar a disciplina **Hidráulica** [ministrada pelo professor Alírio César de Oliveira (1922-2005) (engenheiro civil paraense)] no quarto ano da EEP, em 1957. Contudo, a única operação com que trabalhei naquela disciplina foi o operador gradiente ( $\nabla$ ) (vetor cujos componentes cartesianos são:  $\partial_x \equiv \partial/\partial x$ ;  $\partial_y \equiv \partial/\partial y$ ;  $\partial_z \equiv \partial/\partial z$ ) de uma função escalar. Registro-se que, quando fui professor de Física no *Colégio “Abraham Levy”* (1954-1959) e no CEPC (1957-1966), usei bastante a Álgebra Vetorial nas aulas que ministrei.

A Análise Vetorial (AV) [que envolve os operadores: gradiente ( $\nabla$ ), divergente ( $\nabla \cdot$ ), rotacional ( $\nabla \times$ ) e laplaciano ( $\nabla \cdot \nabla = \Delta$ )], nos três sistemas de coordenadas (cartesiano, cilíndrico e esférico), eu a estudei, em 1963, para poder ministrar a disciplina **Física 2** (Eletricidade, Magnetismo e Óptica) para os alunos do segundo ano do Curso de Bacharelado em Matemática. Para que os alunos pudessem entender esse inédito curso, eu ministrava aulas extras para eles aos sábados de manhã. Lembro-me de que, naquela disciplina, cheguei a demonstrar as **equações de Maxwell** (base do Eletromagnetismo), que são escritas em termos dos operadores vetoriais referidos acima. Um dos textos básicos que usei para aprender a AV foi: John R. Reitz and Frederick J. Milford, **Foundations of Electromagnetic Theory** (Addison-Wesley, 1960). É oportuno registrar que tive oportunidade de me aprofundar na AV quando fui aluno do professor Jaime Tiomno (1920-2011), em 1965, nas disciplinas **Eletromagnetismo I, II**, do *Bacharelado em Física* da *Universidade de Brasília*.

Já a primeira vez que tive contato com o hoje Produto Exterior (Tensorial) de Vetores ( $\vec{A} \otimes \vec{B}$ ), porém na forma de **díadas** ( $\mathbf{AB}$ ) e **tríadas** ( $\mathbf{ABC}$ ) ocorreu, em 1966, quando fui transferido, a minha revelia, do então *Núcleo de Física e Matemática* (NFM) para o *Curso de Arquitetura*, ambos da então *Universidade do Pará* (UPA). Como eu não tinha nada a fazer lá, pois não existia a disciplina Física no currículo do *Curso*, usei esse tempo de folga para estudar o Capítulo 10 do livro do Keith R. Symon, **Mechanics** (Addison-Wesley, 1961), que trata da Álgebra desses entes matemáticos para poder entender a **natureza tensorial** (dependência da direção em que se observa um dado fenômeno) dos conceitos de **tensão** e **deformação** estudados na Mecânica dos Corpos Sólidos. É oportuno destacar que eu já havia estudado o Symon, até o Capítulo 9, para me ajudar nas aulas que ministrava de **Física I** (Mecânica, Calor e Acústica) no NFM, em 1962.

O contato formal com o Cálculo Tensorial aconteceu no primeiro semestre de 1969, quando estudei a disciplina **Magnetohidrodinâmica** [ministrada pelos professores Robert Mallet (c.1934-2010) e Djalma Mirabelli Redondo (n.1935) (físicos paulistas)], no então *Departamento de Física* da *Universidade de São Paulo* (DF/USP). Nessa disciplina [que usava como texto o livro: Alan Jeffrey, **Magnetohydrodynamics** (Oliver and Boyd, 1966)], aprendi o formalismo desse cálculo usando a notação indicial einsteiniana, na qual a presença de índices repetidos significa soma nesses índices com o número de termos igual à dimensão do espaço vetorial considerado. Por exemplo, no espaço tridimensional, tem-se:  $\vec{A} \cdot \vec{B} = A_i B_i = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$ ;  $\nabla \cdot \vec{E} = \partial_i E_i = \partial_x E_x + \partial_y E_y + \partial_z E_z$ . Assim, para fixar o que havia aprendido sobre Cálculo Tensorial, no segundo semestre de 1969, ministrei a disciplina de nome **Álgebra Tensorial** para o *Curso de Preparação ao Mestrado*, no NFM.

A ideia de fazer o livro **Introdução à Mecânica dos Meios Contínuos** surgiu da necessidade de eu ensinar, em 1970, a disciplina **Mecânica dos Meios Contínuos** para os alunos do terceiro ano do *Curso de Engenharia Elétrica*, na EEP. Para ministrar essa disciplina, preparei então um manuscrito (apostila) tomando como base o Capítulo 8 do Symon, o livro do professor Alberto Luiz (Galvão) Coimbra (n.1924) (engenheiro químico carioca) intitulado **Mecânica dos Meios Contínuos** (Ao Livro Técnico S.A., 1967), e uma orientação do saudoso amigo, o matemático paraense Guilherme Maurício Souza Marcos de La Penha (1942-1996) (também engenheiro mecânico). Aliás, o La Penha achava que eu deveria usar a notação de **tensores** ( $\vec{T}$ ) adotada pelo professor Coimbra. Contudo, contra-argumentei, dizendo-lhe que optei pela notação indicial ( $T_{ij}$ ) por ser mais fácil de operar. Creio ser oportuno dizer que essa facilidade pode ser vista no livro que escrevi, juntamente com meu amigo, o físico paulista Mauro Sérgio Dorsa Cattani (n.1942), intitulado: **Cálculo Exterior** (Livraria da Física, 2009).

Sobre esse livro, há um fato inusitado a relatar. Como o conteúdo da disciplina **Mecânica dos Meios Contínuos** era baseado em Cálculo Tensorial, os alunos tiveram dificuldades em assimilá-lo, pois os **tensores** estavam sendo, pela primeira vez, ensinados na EEP/UPA. Assim, quando se aproximou a realização da prova final, em junho de 1970, os alunos temendo que fossem reprovados, pediram-me para cancelar a disciplina e que eu a desse de novo, no segundo semestre de 1970, pois prometeram estudar **tensores** nas férias de julho. E assim foi feito e o resultado foi excelente, com os alunos sendo aprovados com notas bem acima da média.

Concluindo este verbete, creio ser oportuno registrar que o livro foi dedicado ao saudoso matemático e engenheiro civil paraense Ruy da Silveira Britto (1913-1970). Lembro-me de que, no dia de sua morte, em 17 de março de 1970, iniciei a aula pedindo *um minuto de silêncio* para homenagear o maior matemático que o Pará teve até então, assim como ao mestre e amigo que me ensinou a **Resistência dos Materiais**, em 1956, e, principalmente, por haver, em 1962, me ensinado a **Álgebra Linear**, que é o primeiro passo para o Cálculo Tensorial. Por fim, esse livro foi apresentado pelo Reitor Aloysio Chaves.

