

A Matemática Aplicada no Brasil: desafios na formação de recursos humanos, pesquisa e interação com a indústria.

Sidarta A. Lima – UFRN

XX Semana de Matemática
Universidade Federal de Rondônia – UNIR

Sumário:

- 1 Matemática Aplicada: Definições, Discussões e Interdisciplinaridade;
- 2 Modelagem Matemática: Novas Fronteiras da Matemática Aplicada;
- 3 Matemática Aplicada: Perspectivas e Desafios na Formação de Recursos Humanos;
- 4 Matemática Aplicada: Perspectivas e Desafios na Interação com a Indústria;
- 5 Conclusões.

O que é a Matemática Aplicada:

O que é a Matemática Aplicada:

- 1 “A matemática aplicada é uma área da matemática no qual se trata da aplicação do conhecimento matemático a outros domínios”. *Fonte: wikipedia.*

O que é a Matemática Aplicada:

- 1 “A matemática aplicada é uma área da matemática no qual se trata da aplicação do conhecimento matemático a outros domínios”. *Fonte: wikipedia.*
- 2 “*Applied mathematics is the application of mathematical techniques to describe real-world systems and solve technologically relevant problems*”. *Fonte: Nature.*

O que é a Matemática Aplicada:

- 1 “A matemática aplicada é uma área da matemática no qual se trata da aplicação do conhecimento matemático a outros domínios”. *Fonte: wikipedia.*
- 2 “*Applied mathematics is the application of mathematical techniques to describe real-world systems and solve technologically relevant problems*”. *Fonte: Nature.*
- 3 “*A Matemática Aplicada é utilizada em praticamente todas as áreas do conhecimento humano científico e tecnológico. O atual desenvolvimento tecnológico e intelectual está baseado em grande medida na aplicação do conhecimento matemático*”. *Fonte: Site IME Unicamp.*

Matemática Aplicada x Mundo Real:

A matemática aplicada se baseia na utilização de conhecimentos matemáticos para o desenvolvimento de modelos matemáticos e computacionais para analisar, compreender e prever fenômenos reais:

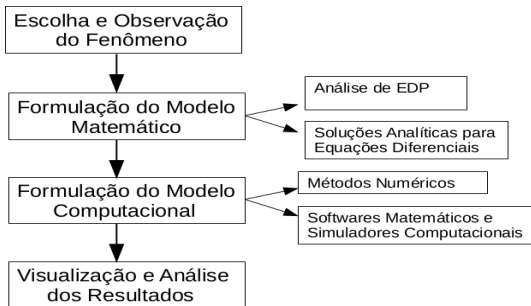
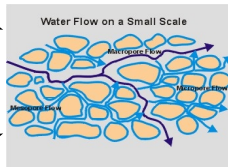
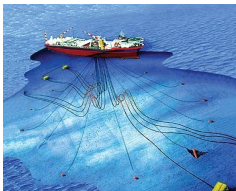


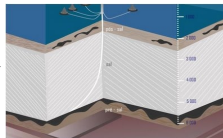
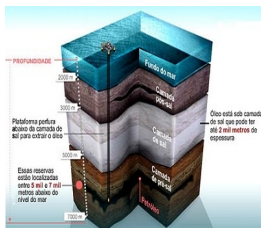
Figura: Etapas da Modelagem Matemática de Problemas Reais.

Escolha e Observação do Fenômeno:

- 1 **Fenômenos Hidrodinâmicos:** Envolvem o movimento de fluidos em meios porosos.



1 Fenômenos Mecânicos: Envolvem a deformação de estruturas sólidas.



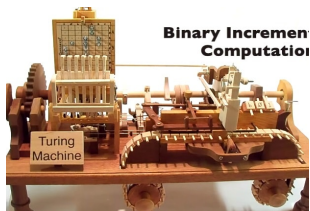
Formulação do Modelo Matemático:

A formulação do modelo matemático envolve a utilização de ferramentas da matemática pura para a dedução de “equações” e desenvolvimento de um produto final.

Máquina de Turing: Baseado em conceitos da álgebra e teoria dos números o matemático britânico Alan Turing desenvolveu a máquina de Turing.



(a) Alan Turing.



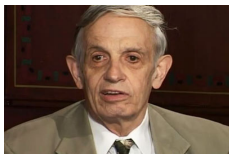
(b) Protótipo da Máquina de Turing.

Formulação do Modelo Matemático:

Equação de Navier-Stokes: Baseado em conceitos do cálculo diferencial e equações diferenciais parciais o matemático e físico irlandês George Gabriel Stokes deduziu a equação de Navier–Stokes central na dinâmica de fluidos:

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \otimes \mathbf{u}) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \mathbf{u} + \rho \mathbf{g}$$

Equilíbrio de Nash: Baseado em teoria dos jogos o matemático norte americano John Nash que trabalhou com geometria diferencial e equações diferenciais parciais ganhou o prêmio nobel em ciências econômicas em 1994.



Formulação do Modelo Computacional:

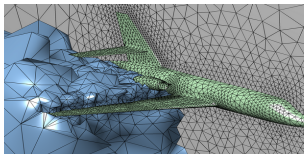
Na formulação do modelo computacional utilizamos a matemática discreta, métodos numéricos e linguagens de programação para realizar simulações computacionais de problemas de interesse.

- ⇒ Geradores de Malhas: GID e Gmsh;
- ⇒ Métodos Numéricos: Método das Diferenças Finitas, Método dos Elementos Finitos e Método dos Volumes Finitos;
- ⇒ Softwares Matemáticos: Matlab, Phyton, Mapple, Scilab;
- ⇒ Linguagens de Programação: Fortran 90, Liguagem C e C⁺⁺;

Formulação do Modelo Computacional:

Método dos Elementos Finitos: Baseado na teoria das equações diferenciais parciais o matemático Richard Courant em parceria com David Hilbert expõe pela primeira vez na década de 1960 o que seria conhecido como método dos elementos finitos para solução numérica de equações diferenciais parciais.

- Geração de malha: O domínio da equação é discretizado;
- Formulação Variacional: A EDP é reescrita numa formulação equivalente;
- Base de Funções: A solução exata é aproximada por uma base de funções;



Formulação do Modelo Computacional:

Teorema de Lax–Milgram: Teorema da análise funcional com vasta aplicação nas equações diferenciais parciais elípticas. O resultado obtido pelos matemáticos Peter David Lax e Arthur Norton Milgram é central na análise de equações diferenciais parciais e análise numérica de equações diferenciais parciais.

Theorem 3.1.4 (Lax–Milgram) Let V be a Hilbert space and $a(\cdot, \cdot)$ a continuous V -elliptic bilinear form. Then given $f \in V$, there exists a unique $u \in V$ such that

$$a(u, v) = (f, v), \text{ for every } v \in V. \quad (3.1.17)$$

If $a(\cdot, \cdot)$ is also symmetric then the functional $J : V \rightarrow \mathbf{R}$ defined by

$$J(v) = \frac{1}{2}a(v, v) - (f, v) \quad (3.1.18)$$

attains its minimum at u .

- Equação de Laplace, Equação de Poisson e Equação do Calor.

Formulação do Modelo Computacional:

Teorema de Ladyzhenskaya–Babuska–Brezzi: Teorema da análise funcional que permite analisar formulações mistas duais para as equações de Poisson e Stokes para o método de elementos finitos mistos.



(a) Babuska.

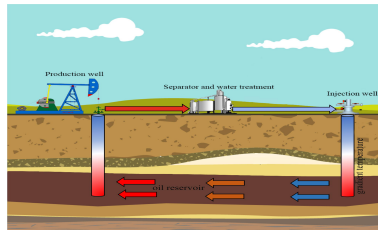


(b) Brezzi.

Modelagem Matemática nas Engenharias:

- Escoamento Bifásico Água e Óleo em Reservatórios;

$$\begin{cases} \phi \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{V}_D = 0, \\ \mathbf{V}_D = -\lambda_t K_p \nabla p, \\ \phi \frac{\partial S_w}{\partial t} + \nabla \cdot (f_w \mathbf{V}_{Dt}) = 0, \end{cases} \quad \text{em } \Omega.$$



Modelagem Matemática em Biosistemas:

- Modelagem de Sistemas Predador-Presa e Epidemias:
Equações de Lotka–Volterra;

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C_1}{\partial t} = \alpha_1 C_1 - \beta_1 C_1 C_2 \quad (\text{Presas}), \\ \frac{\partial C_2}{\partial t} = -\alpha_2 C_2 + \beta_2 C_1 C_2 \quad (\text{Predador}). \end{array} \right.$$

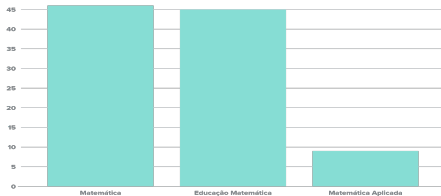


Formação de Recursos Humanos:

Formação de Recursos Humanos em Números: Matemática Aplicada, Educação Matemática e Matemática Aplicada.

- ⇒ Matemática: 46 Programas de Pós-Graduação;
- ⇒ Educação Matemática: 45 Programas de Pós-Graduação;
- ⇒ Matemática Aplicada: 9 Programas de Pós-Graduação (UFRJ, USP, UNICAMP, UFRN).

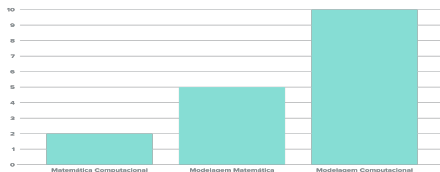
Programa de Pós Graduação em Matemática



Formação de Recursos Humanos em Números: Matemática Aplicada, Modelagem Matemática e Computacional

- ⇒ Matemática Aplicada: 9 Programas de Pós-Graduação;
- ⇒ Matemática Computacional: 2 Programas de Pós-Graduação;
- ⇒ Modelagem Matemática: 9 Programas de Pós-Graduação (UFRJ, USP, UNICAMP, UFRN).
- ⇒ Modelagem Computacional: 9 Programas de Pós-Graduação (UFRJ, USP, UNICAMP, UFRN).

Programa de Pós Graduação em Matemática Aplicada



Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC:

- Laboratório sediado em Petrópolis-RJ com 40 anos de atuação na pesquisa em Matemática Aplicada e Modelagem Matemática e Computacional (www.lncc.br);
- O LNCC sedia o supercomputador Santos Dumont maior supercomputador do hemisfério sul.



Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC:

- **Computational Modeling of Hydrocarbon Reservoirs:** grupo multidisciplinar cuja missão é a implementação de novos modelos computacionais em múltiplas escalas para descrever o acoplamento hidro-mecânico e químico em reservatórios de petróleo.
- **Laboratório de Modelagem em Hemodinâmica:** grupo multidisciplinar cuja missão é a modelagem e simulação numérica de sistemas fisiológicos com ênfase no sistema cardiovascular.
- **Laboratório de Bioinformática:** grupo de pesquisadores interdisciplinares que inclui biólogos, cientistas da computação e matemáticos interessados em desenvolver métodos computacionais aplicados nas áreas de Bioinformática e Biologia Computacional.

Instituto de Matemática Pura e Aplicada - IMPA

- Instituto sediado no Rio de Janeiro-RJ com quase 70 anos de atuação na formação de recursos humano e pesquisa em Matemática Pura e Aplicada (www.impa.br).



Instituto de Matemática Pura e Aplicada - IMPA

- Áreas de Pesquisa: Computação Gráfica, Dinâmica dos Fluidos, Economia Matemática, Otimização.
- **Laboratório VISGRAF**: criado em 1989 para promover e desenvolver as atividades de pesquisa, ensino e desenvolvimento de projetos nas áreas afins que envolvem computação gráfica;
- **Grupo de Dinâmica dos Fluidos**: grupo de pesquisa em Dinâmica dos Fluidos com ênfase em aplicações em Recuperação de Petróleo, Previsão Numérica de Tempo, Propagação de Ondas em Meios Heterogêneos e Turbulência em Líquidos.
- **Laboratório para Análise e Modelos Matemáticos em Ciências Aplicadas**: grupo de pesquisa focado na aplicação da Matemática ao desenvolvimento de modelos econômicos.

Centro de Ciências Matemáticas Aplicados à Indústria - CeMEAI

- Centro sediado na campus da USP-São Carlos com 10 anos de atuação com o objetivo de fornecer recursos e mecanismos para conectar matemáticos, engenheiros e especialistas em computação a fim de resolver problemas industriais (www.cemeai.icmc.usp.br).



Centro de Ciências Matemáticas Aplicados à Indústria - CeMEAI

- **Mecânica dos Fluidos Computacional:** grupo de desenvolve métodos numéricos em mecânica dos fluidos com ênfase nas em geração de malhas, de tratamento dados e de simulação numérica de escoamentos de fluidos;
- **Otimização:** grupo usa teoria da otimização para desenvolvimento de algoritmos computacionais aplicados ao planejamento de produção, planejamento de rotas de veículos, corte e empacotamento, além de problemas inversos em reconstrução tomográfica de imagens;
- **Ciência de Dados:** utilizar a inteligência computacional e técnicas de aprendizagem de máquinas para resolver problemas de indústrias, bancos, empresas de petróleo.

Perspectivas e Desafios na Interação com a Indústria:

Em 2010, a agência nacional britânica de pesquisa EPSRC (Engineering and Physical Sciences Research Council) encomendou uma consultoria para avaliação do impacto da matemática na economia do Reino Unido:

- Estimates the contribution of maths to the UK economy in 2010 to be 2.8 million in employment (around 10% of all jobs);
- 208 billion pounds in terms of gross value added (around 16% of total UK GVA);
- The application of maths develop greater prosperity with impact in banking and finance, computer services, pharmaceutical, construction.

Fonte: <https://epsrc.ukri.org/newsevents/news/mathsciresearch/>.

Perspectivas e Desafios na Interação com a Indústria

O estudo “Etude de l’impact socio-économique des Mathématiques en France” publicado em 2015, avaliou o impacto sócio-econômico da matemática na França:

- L’impact direct des mathématiques en France représente 9% des emplois soit 2,4 millions d’emplois;
- Les mathématiques contribuent à la création de valeur ajoutée en France à hauteur de 15% du PIB en 2012. Ce poids est en constante progression depuis 2009;
- La valeur ajoutée apportée par les mathématiques en France représente 285 milliards d’euros sur 1.878 milliards d’euros. Elle représente 15% du PIB.

Fonte: <http://irma.math.unistra.fr>.

Perspectivas e Desafios na Interação com a Indústria:

Publicado em 2015 o estudo “The Importance of Advanced Physical and Mathematical Sciences to the Australian Economy” encomendado pela Australian Academy of Science, avaliou o impacto da matemática aplicada na economia da Austrália:

- Account for 22.5% of Australian economic activity, or around \$292 billion per year;
- Provide 7% of total Australian employment about 760,000 jobs in 27,000 businesses;
- Generate 28% of our exports, or about \$74 billion per year.

Fonte: www.science.org.au.

A Petrobras investe aproximadamente R\$ 2 bi anual em pesquisa e o volume aumenta a cada ano. Fonte: Revista Valor Econômico.

- Considerando o total de 16.636 pessoas dos 601 Grupos de Pesquisa analisados, 8.212 estavam envolvidos com pesquisas;
- Sendo 2.109 professores e pesquisadores com doutorado ou pós-doutorado e 4.117 são estudantes de graduação até pós-doutorado.
- Nos últimos 5 anos, foram publicados 3.719 artigos e defendidas 2.479 dissertações de mestrado e 1.738 teses de doutorado por pesquisadores envolvidos com projetos da PETROBRAS.
- A parceria com a PETROBRAS possibilitou a criação de 165 Laboratórios de Pesquisa, e reforma de 268 laboratórios;
- Nos últimos dez anos a Petrobras investiu 205 milhões de reais na UFRN para pesquisa e desenvolvimento e atualmente 10 milhões estão em andamento.

Conclusão:

- A formação de recursos humanos e pesquisa na matemática aplicada demanda uma grande interdisciplinaridade envolvendo temas relacionados a matemática, engenharia, biologia e computação;
- A formação de recursos humanos e pesquisa nos domínios da matemática aplicada é de fundamental importância para independência tecnológica do país;
- A pesquisa nos domínios da matemática aplicada, modelagem matemática e computacional requer uma sólida formação matemática dos atores envolvidos;
- A indústria demanda uma significativa contribuição da comunidade científica com o objetivo de solucionar problemas de grande relevância.