

volume 28 , número 1 , 2025 , ISSN 2237-9851



Associação Brasileira de
Engenharia e Ciências Mecânicas

Editorial

Luís Mauro Moura

Palavras do Presidente

Domingos Alves Rade

O Futuro da ABCM

Álvaro Toubes Prata. UFSC

Atila Pantaleão Silva Freire. UFRJ

José Roberto de França Arruda. UNICAMP

Luiz Bevilacqua. UFRJ

Renato Machado Cotta. UFRJ

Programa de Gestão para a Candidatura à Diretoria da ABCM, Biênio 2025-2027

Francis Henrique Ramos França, Aline Souza de
Paula, Rafael de Camargo Catapan, Carlos De
Marqui Jr., Cesar Cunha Pacheco, Diretor Tesoureiro

Professor Hans Ingo Weber recebe o prêmio Leonardo Goldstein Jr.

Agenor Fleury, Katia Cavalca, Luciano Menegaldo

Modelagem Atmosférica Multiescala Aplicada ao Planejamento Energético Renovável: Avanços Computacionais e Perspectivas

Davidson Moreira e Filipe Milani

Metamateriais e a disrupção na evolução do poder naval

Renato M. Cotta, Priscila S. Teixeira

Amaral, Maurício P. Malburg da Silveira,

Carolina P. Naveira Cotta, Kleber M. Lisboa

Eventos ABCM 2025

editorial



Luís Mauro Moura

A revista ABCM Engenharia é uma publicação realizada desde 1994, com conteúdo de informação dirigido aos membros da ABCM, contendo artigos de interesse da comunidade, além da divulgação de suas atividades e congressos.

Neste ano, temos uma edição especial alusiva aos 50 anos da criação da nossa ABCM. A ABCM foi fundada em 19 de abril de 1975. Alguns eventos comemorativos ocorreram durante este ano, mas, sobretudo, no COBEM 2025, realizado em Curitiba, que foi um espaço especial para esta celebração.

Começamos tradicionalmente a edição da revista com as “Palavra do Presidente”, onde o Prof. Domingos Rade faz um panorama sobre a ABCM na atualidade.

Nesta edição especial, contamos com a colaboração dos professores Álvaro Toubes Prata, Atila Pantaleão Silva Freire, José Roberto de França Arruda, Luiz Bevilacqua e Renato Machado Cotta, que fazem uma reflexão sobre esses 50 anos e nos convidam a pensar sobre qual será o futuro da nossa associação e seus novos caminhos.





Para seguir esta trajetória, a nova diretoria para o biênio 2026-2027, sob a presidência do Prof. Francis Henrique Ramos França, apresenta para a comunidade o plano desta gestão.

O Prof. Hans Ingo Weber foi o laureado com o prêmio LEONARDO GOLDSTEIN JR. Ao olharmos para a trajetória do prof. Hans, neste ano especial da ABCM, destacamos que ele foi o primeiro presidente da associação desde a sua criação, em 19 de Abril de 1975.

Os recursos computacionais para modelagem numérica na Engenharia Mecânica estão cada vez mais abrangente, e alguns casos já é possível integrar modelos atmosféricos para uma modelagem em multiescala. Os professores Davidson Moreira e Filipe Milani apresentam algumas dessas ferramentas que poderão ser integradas em muitas aplicações da nossa área.

Na área de inovação em novos materiais, os professores Renato M. Cotta, Priscila S. Teixeira Amaral, Mauricio P. Malburg da Silveira, Carolina P. Naveira Cotta e Kleber M. Lisboa abordam os Metamaterias e sua aplicabilidade no poder Naval, abrindo possibilidades para o desenvolvimento de novas tecnologias em diversas áreas e aplicações. Relatamos também nesta revista os eventos da ABCM ocorridos em 2025.

Desses 33 anos de história da ABCM, tenho acompanhado de perto essa trajetória, desde meu primeiro trabalho publicado no Encit, em 1992. Desde então, muitas coisas mudaram. Entramos na era digital, os eventos e temas de pesquisa se multiplicaram, e a ABCM está cada vez mais consolidada. Que venham mais 50 anos!

Desejamos uma boa leitura!

sumário

Editorial Luís Mauro Moura	03
Palavras do Presidente Domingos Alves Rade	06
O Futuro da ABCM Álvaro Toubes Prata. UFSC Atila Pantaleão Silva Freire. UFRJ José Roberto de França Arruda. UNICAMP Luiz Bevilacqua. UFRJ Renato Machado Cotta. UFRJ	16
Programa de Gestão para a Candidatura à Diretoria da ABCM, Biênio 2025-2027 Francis Henrique Ramos França, Aline Souza de Paula, Rafael de Camargo Catapan, Carlos De Marqui Jr., Cesar Cunha Pacheco, Diretor Tesoureiro	21
Professor Hans Ingo Weber recebe o prêmio Leonardo Goldstein Jr. Agenor Fleury, Katia Cavalcá, Luciano Menegaldo	25
Modelagem Atmosférica Multiescala Aplicada ao Planejamento Energético Renovável: Avanços Computacionais e Perspectivas Davidson Moreira e Filipe Milani	30
Metamateriais e a disrupção na evolução do poder naval Renato M. Cotta, Priscila S. Teixeira Amaral, Mauricio P. Malburg da Silveira, Carolina P. Naveira Cotta, Kleber M. Lisboa	42
Eventos ABCM 2025	57
Expediente	61

palavras do presidente

Domingos A. Rade > Presidente da ABCM
gestão 2023-2025



Na honrosa função de Presidente da ABCM, mais uma vez utilizo este espaço em nossa revista ABCM Engenharia para, em nome da Diretoria, dirigir-me aos membros da nossa Associação para transmitir-lhes informações de interesse de nossa comunidade e relatar as principais ações desenvolvidas pela Diretoria ao longo de 2025, último ano de nosso segundo mandato.

No plano nacional, a ABCM prosseguiu acompanhando e conduzindo discussões, nos fóruns que lhe são abertos, sobre temas relacionados a seu domínio de atuação. É digna de nota a realização da Avaliação Quadrienal da CAPES - quadriênio 2021-2024, e a divulgação das diretrizes aplicáveis ao ciclo avaliativo 2025-2028. No tocante à área Engenharias III, destacamos o excelente trabalho desempenhado pelos professores Gherhardt Ribatski (Coordenador) e Danielle C. Morais e Leandro

A. Sphaier (Coordenadores Adjuntos) na condução do processo da avaliação, com o apoio de uma comissão de avaliadores formada por docentes-pesquisadores com reconhecida experiência profissional e excelência acadêmica.

Por ocasião da abertura do processo de escolha dos novos coordenadores de área de avaliação (Edital CAPES nº 18/2025), as Diretorias da ABCM, da ABEPRO e da ANPEPRO emitiram conjuntamente nota pública de apoio à indicação dos professores Leandro A. Sphaier, Danielle C. Morais e Luiz Felipe R. R. Scavarda do Carmo para compor o grupo de coordenadores da área Engenharias III.

Apresentamos, a seguir, relato dos eventos realizados ao longo de 2025, bem como das principais ações realizadas e em curso.

Nossos eventos

O XX International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics – DINAME 2025 foi realizado no período de 9 a 14 de março de 2025, em Águas de Lindoia, sob responsabilidade do Comitê de Dinâmica da ABCM e comissão organizadora formada pelos Profs. Marcelo A. Trindade e Paulo S. Varoto, da EESC-USP (<https://eventos.abcm.org.br/diname2025/>). Além das sessões técnicas de apresentação de trabalhos e palestras convidadas ministradas por eminentes pesquisadores, teve destaque na programação a sessão dedicada ao Eberhard and Ute Hofer Award (Prêmio Hofer), durante a qual foi anunciada a outorga do prêmio ao Dr. Rafael de Oliveira Teloli, Professor Assistente na École Nationale Supérieure de Mécanique et des Microtechniques (SUPMICROTECH) em Besançon – França (<http://lattes.cnpq.br/4931591298317004>), em reconhecimento por seu destacado desempenho como jovem pesquisador na área de problemas dinâmicos da mecânica. O evento contou com expressiva participação de docentes e estudantes estrangeiros.

A Diretoria da ABCM agradece a todos que contribuíram para a realização do DINAME 2025, especialmente aos membros da comissão organizadora, ao Comitê de Dinâmica da ABCM e aos revisores dos trabalhos. Agradece também à CAPES, à FAPESP e à empresa Jacto pelo apoio financeiro, e à EESC-USP pelo apoio institucional prestado.

No período de 31 de março a 4 de abril de 2025, na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), foi realizada a 8ª Jornada de Escoamentos Multifásicos – JEM 2025, sendo a comissão organizadora coordenada pelo Prof. Arthur Vieira da Silva Oliveira e pela Profa. Debora Carneiro Moreira, da EESC-USP (<https://eventos.abcm.org.br/jem2025/>). O programa do evento incluiu sessões técnicas de apresentação de trabalhos, palestras convidadas proferidas por eminentes pesquisadores brasileiros e estrangeiros, e uma diversificada oferta de minicursos.

A Diretoria da ABCM agradece a todos que colaboraram na organização da JEM 2025, especialmente aos membros da comissão organizadora, às agências de fomento (FAPESP, CAPES e CNPq), aos patrocinadores (Thorlabs, Láctea Científica e Grupo JAV) pelo apoio financeiro e à EESC-USP pelo apoio institucional ao evento.

O 13º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação – COBEF 2025 foi realizado no período de 7 a 9 de maio de 2025, no Grand Hotel Stella Maris, em Salvador, BA, com a comissão organizadora liderada pelo Prof. Rodrigo Santiago Coelho, do SENAI-CIMATEC (<https://eventos.abcm.org.br/cobef2025/>). O evento foi muito bem-sucedido, contando com expressivo número de participantes, tanto da academia quanto da indústria.

A Diretoria da ABCM agradece a todos que contribuíram para a realização do COBEF 2025, especialmente aos membros da comissão organizadora, ao Comitê de Engenharia de Fabricação, aos revisores dos trabalhos e aos estudantes que ofereceram suporte à organização do evento. Agradece também às agências de fomento (CAPES, CNPq e FAPESP), empresas patrocinadoras (ESABE, Zeiss, Instrom, Termomecânica, Versatus, Altair e Gleeble) pelo apoio financeiro e ao SENAI-CIMATEC pelo apoio institucional.

Entre os dias 20 e 25 de julho de 2025 foi realizada a 10ª Escola de Combustão (10th School on Combustion), promovida pela ABCM em conjunto com a Rede Nacional de Combustão e The Combustion Institute (<https://eventos.abcm.org.br/ciws2025/>), no Campus da Unicamp em Campinas, SP, sob responsabilidade da Comissão Organizadora liderada pelo Prof. Rogério Gonçalves dos Santos da Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp (FEM-Unicamp). O evento foi muito bem-sucedido, contando com elevado número de participantes de várias regiões do país, incluindo palestrantes convidados internacionais e nacionais.

A Diretoria da ABCM agradece a todos os que contribuíram para a realização da EdC 2025, especialmente aos membros da comissão organizadora, ao Comitê de Combustão, às entidades copromotoras, aos revisores dos trabalhos e aos estudantes que ofereceram suporte à organização do evento. Agradece também às agências de fomento (FAPESP, Capes, CNPq, e PRP-Unicamp), empresas patrocinadoras (Versatus HPC, NVidia, Charis Technologies, Dantec Dynamics, GAC, DEAP, AVL e Umicore) pelo apoio financeiro e à Unicamp pelo apoio institucional.

A 2ª Escola de Inverno de Energia da ABCM, que teve enfoque em energia nuclear, foi realizada no período 4 a 7 de agosto de 2025, no auditório da COPPE, no Rio de Janeiro, RJ, com comissão organizadora liderada pelo Prof. Su Jian, da COPPE/UFRJ. O programa do evento incluiu sessões técnicas de apresentação de trabalhos, palestras convidadas proferidas por eminentes pesquisadores brasileiros e estrangeiros e oferta de minicursos. A segunda edição da Escola de Inverno de Energia da ABCM representou um passo importante para a consolidação de mais um evento regular de grande relevância promovido pela Associação.

A Diretoria da ABCM agradece a todos que colaboraram na organização da 2ª Escola de Inverno de Energia da ABCM, especialmente aos membros da comissão organizadora, aos patrocinadores *China National Nuclear Corporation* – CNNC, AMAZUL e Eletronuclear pelo apoio financeiro, e à COPPE/UFRJ pelo apoio institucional.

No período de 29/07 a 1/8/2025 foi realizada a segunda edição da Escola de Engenharia em Estruturas Inteligentes, na UnB, organizada pelo Comitê de Materiais e Estruturas Inteligentes (<https://eventos.abcm.org.br/eeei2025/>), com comissão organizadora formada pela Profa. Aline Souza de Paula, Prof. Adriano Todorovic Fabro Profa. Laís Bittencourt Visnardi. A Escola contou com 11 módulos ministrados por instrutores e uma sessão de apresentação de trabalhos na forma de pôsteres.

A Diretoria da ABCM agradece a todos que colaboraram na organização da 2ª Escola de Engenharia em Estruturas Inteligentes, especialmente aos membros

da comissão organizadora, ao INCT de Estruturas Inteligentes em Engenharia pelo apoio financeiro e à UnB pelo apoio institucional ao evento.

O XXXI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – CREEM 2025 foi realizado no período de 29 de setembro a 3 de outubro de 2025, no Campus da EESC-USP em São Carlos, SP, sob responsabilidade de estudantes do curso de graduação em Engenharia Mecânica da EESC-USP, liderados pelo acadêmico Victor Quitau dos Santos, com tutoria da Profa. Máira Martins da Silva e do Prof. Leopoldo Pisanelli Rodrigues de Oliveira (<https://eventos.abcm.org.br/creem2025/>). O evento foi realizado paralelamente à XX Semana da Engenharia Mecânica da EESC, tradicional encontro técnico-científico organizado anualmente pelos estudantes da EESC-USP. Mais uma vez, o CREEM foi realizado com grande êxito, oferecendo um diversificado programa de atividades, que incluiu sessões de apresentação de trabalhos, palestras, minicursos e visitas técnicas. O trabalho escolhido como o melhor dentre os apresentados no evento foi “Previsão das forças aerodinâmicas em aerofólios a partir da teoria do aerofólio fino com correções viscosas”, de autoria de Camili Vitória Claus, sob orientação do Prof. Daniel Sampaio Souza, da UNESP, Campus São João da Boa Vista.

A Diretoria da ABCM agradece a todos que colaboraram na organização do CREEM 2025, especialmente aos membros da comissão organizadora, aos professores tutores, revisores dos trabalhos e estudantes da EESC-USP que ofereceram suporte à organização do evento. Agradece também ao CNPq, empresas patrocinadoras (Alliage, Caterpillar, Fan Technology, HBP Engenharia, Husqvarna, Hyundai, Jacto, MarGirius e SIATT) pelo apoio financeiro e à EESC-USP pelo apoio institucional oferecido ao evento.

Enquanto este texto está sendo escrito, aproxima-se a realização do 28th International Congress of Mechanical Engineering – COBEM 2025 (<https://eventos.abcm.org.br/cobem2025/>), no período de 9 a 14 de novembro de 2025, em Curitiba, PR, sob responsabilidade do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR, sendo a comissão organizadora presidida pelos professores José Viriato Coelho Vargas (UFPR) e Álisson Rocha Ma-

chado (PUCPR). Foram aceitos aproximadamente 1400 trabalhos para apresentação de forma oral ou pôsteres, atestando a grande dimensão do evento. Além das sessões técnicas de apresentação de trabalhos, o programa do evento inclui diversas palestras convidadas, a serem ministradas por renomados pesquisadores brasileiros e estrangeiros, e sessões especiais dedicadas à atribuição do Prêmio Prof. Leonardo Goldstein Jr., do Prêmio ABCM-Springer, Edição 2024, do Prêmio ABCM-PIPELINEBRAZIL 2024, e do recentemente criado Prêmio Diversidade, Edição 2024. O programa ainda inclui espaços para reuniões dos comitês técnicos da ABCM, abertas a todos os membros da Associação, além da reunião da Assembleia Geral da ABCM, durante a qual serão tratados os assuntos pautados, incluindo a posse da Diretoria eleita para o biênio 2025-2027 e dos novos membros do Conselho da ABCM.

Como principal encontro científico promovido pela ABCM, o COBEM 2025 será uma oportunidade valiosa para a comunidade da ABCM celebrar presencialmente os 50 anos de fundação de nossa Associação, que se completaram no dia 19 de abril de 2025, juntando-se a outras ações comemorativas, que destacamos mais adiante neste artigo.

Certa de que o COBEM 2025 será muito bem-sucedido e atenderá plenamente às expectativas dos participantes, a Diretoria agradece a todos que vêm colaborando na organização, especialmente aos membros da comissão organizadora e revisores dos trabalhos. A Diretoria agradece também às agências governamentais e empresas patrocinadoras pelo apoio financeiro e à UFPR pelo apoio institucional prestado ao evento.

Além do grande número de eventos regulares, a ABCM tem apoiado as iniciativas de muitos de seus membros na promoção de eventos mundiais no Brasil. Dois grandes eventos estão programados para o próximo ano, o 18th International Heat Transfer Conference e o World Tribology Conference 2026, com as comissões organizadoras formadas por pesquisadores brasileiros e coordenadas, respectivamente, pelos Profs. Helcio Rangel Barreto Orlande (UFRJ) e José Daniel Biasoli de Mello (UFSC/UFU). Ambos os eventos ocorrerão na cidade do Rio de Janeiro. Com a inserção internacional cada vez

maior da comunidade científica brasileira, percebemos com satisfação o surgimento de novas iniciativas como essas, que certamente terão o apoio da ABCM.

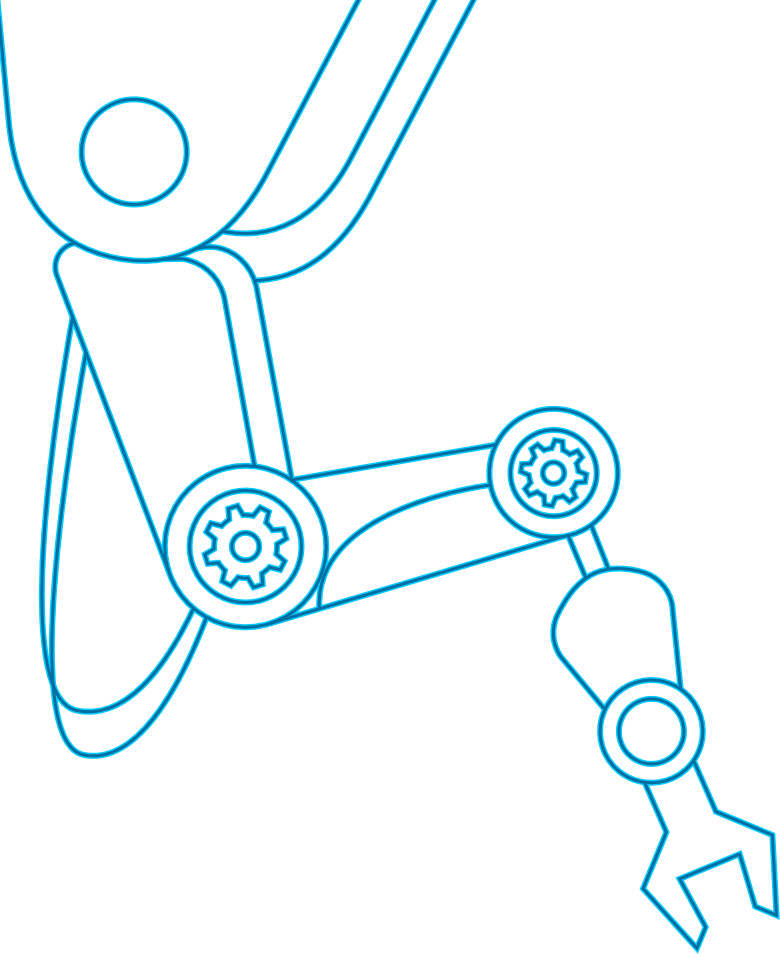
Prêmio Prof. Leonardo Goldstein Jr > edição 2025

Na quarta edição do Prêmio Prof. Leonardo Goldstein Jr. o julgamento das candidaturas foi feito por comissão julgadora formada pelos Profs. Sérgio Viçosa Möller, Álisson Rocha Machado, João Luiz Filgueiras de Azevedo e Gherhardt Ribatski. O prêmio foi conferido ao Prof. Hans Ingo Weber, e será entregue em sessão especial a ser realizada no dia 10 de novembro de 2025, durante o COBEM 2025, em Curitiba, PR.

A Diretoria da ABCM parabeniza o Prof. Hans Ingo Weber por mais esta premiação, que comprova o reconhecimento da comunidade da ABCM por sua notável contribuição ao progresso da engenharia e ciências mecânicas no Brasil, e agradece à comissão julgadora pela avaliação realizada.

Um artigo constante da presente edição de ABCM Engenharia, de autoria dos Profs. Agenor de Toledo Fleury, Katia Luchesi Cavalca Dedini e Luciano Luporini Menegaldo, é especialmente dedicado à biografia e contribuições do Prof. Hans Weber, incluindo seu serviço como fundador e primeiro Presidente da ABCM, que inequivocamente atestam sua qualificação para o recebimento da mais alta honraria concedida por nossa Associação.





Prêmio ABCM/SPRINGER de teses, dissertações e trabalhos de graduação > edição 2024

Temos a satisfação de informar que a Edição 2024 do Prêmio ABCM de melhores teses de doutorado, dissertações de mestrado e trabalhos de graduação tem a Springer Nature como patrocinadora. Trata-se, portanto, de mais uma ação conjunta no contexto da parceria bem-sucedida entre a ABCM e a Springer Nature.

Foram homologadas 49 candidaturas, 13 das quais na categoria Trabalho de Conclusão de Curso, 17 na categoria Dissertação de Mestrado e 19 na categoria Tese de Doutorado. A avaliação das candidaturas foi realizada por Comissão Julgadora composta pelos professores Leonardo Santos de Brito Alves, Celso Kazuyuki Morooka, João Nazareno Nonato Quaresma, Marcio Bacci da Silva e Norberto Mangiavacchi.

Os trabalhos vencedores do prêmio foram:

Melhor trabalho de conclusão de curso de graduação: “Termografia Infravermelha e Redes Neurais

Aplicadas ao Rastreamento do Câncer de Mama em Simulações Numéricas”, de autoria de Tarcio Cardoso Barros, da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), sob a orientação do Prof. Alisson Augusto Azevedo Figueiredo.

Menção honrosa para trabalho de conclusão de curso de graduação: Impacto da Temperatura de Interpasse e do Método de Deposição no Perfil de Microdureza Vickers de Peças ER70S-6 Fabricadas por Manufatura Aditiva via CMT, de autoria de André Luis Silva da Costa, da Universidade de Brasília (UnB), sob a orientação do Prof. Maksym Ziberov e da Profa. Déborah de Oliveira.

Melhor dissertação de mestrado: “Enhancing Mechanical Properties of Auxetic Structures through Optimization and Experimental Testing”, de autoria de Rafael Augusto Gomes, da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), sob a orientação dos Profs. Guilherme Ferreira Gomes e Matheus Brendon Francisco.

Menção honrosa para dissertação de mestrado: “Efeito da Remoção de Extrativos e Taxas de Aquecimento na Torrefação de Sementes de Pequi: Um Estudo Cinético e Preditivo para a Produção de Biocombustíveis”, de autoria de Pedro Paulo de Oliveira Rodrigues, da Universidade de Brasília (UnB), sob a orientação do Prof. Edgar Amaral Silveira.

Melhor tese de doutorado: “Analysis of Mechanical Energy Harvesting Using a Nonlinear Dynamics Perspective”, de autoria de Luã Guedes Costa, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE), sob a orientação do Prof. Marcelo Amorim Savi.

Menção honrosa para tese de doutorado: “Fabrication of Sintered Calcium Carbonate Parts with Multiscale Porosity: Producing Artificial Rocks for Petrophysical Studies and Other Applications”, de autoria de Mateus Mota Moraes, da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), sob a orientação dos Profs. Carlos Alberto Fortulan e Paolo Colombo (Universidade de Padova).

Os prêmios serão entregues em sessão especial durante o COBEM 2025, quando os premiados terão a

oportunidade de fazer apresentações breves (pitches) de seus trabalhos. Além disso, os premiados farão exposições mais detalhadas em forma de pôster em local de destaque no local do evento.

A Diretoria da ABCM cumprimenta os estudantes vencedores dos prêmios e seus orientadores, e agradece aos membros da comissão julgadora por seu empenho na avaliação dos trabalhos submetidos.

Prêmio ABCM/PIPELINEBRAZIL > 4ª edição

Foram homologadas candidaturas de 7 dissertações de mestrado e 9 trabalhos de conclusão de curso de graduação. O julgamento foi realizado por comissões julgadoras presididas pelo Prof. José Luiz de França Freire (JLFreire Consultoria), com apoio do Diretor Técnico-Científico da ABCM, Prof. Francis H. R. França, e tiveram as seguintes composições: para dissertações de mestrado: Eng. Marcelo Rennó, Prof. Ramiro Brito Willmersdorf, Prof. Sérgio Barra, Prof. Renato Bichara Vieira, Prof. José Luiz Freire; para trabalhos de conclusão de curso: Eng. Byron Souza Filho, Prof. Sérgio Barra, Prof. Ramiro Brito Willmersdorf, Prof. José Luiz Freire, Eng. Luis Felipe Carreira.

Os trabalhos vencedores foram:

Dissertação de Mestrado: “Determinação Experimental da Razão de Amortecimento em Amostra de Riser”, de autoria de Luiz Guilherme de Oliveira Appel (UFSC-Joinville), com orientação do Prof. André Luís Condino Fajarra.

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação: “Uso de Técnicas de Otimização Topológica no Projeto e Dimensionamento de Componentes para Reparos de Dutos para Transporte de Combustível”, de autoria de Leonardo Rodrigues Sbolci (UFSC-Florianópolis), com orientação dos Profs. Eduardo Alberto Fancello e Laercio Meneses Silva Junior.

Os prêmios também serão entregues na sessão especial durante o COBEM 2025, quando os premiados terão a oportunidade de fazer apresentações breves

(pitches), além da exposição na forma de pôster em local de destaque no evento.

A Diretoria da ABCM cumprimenta os estudantes vencedores dos prêmios e seus orientadores, e agradece aos membros das comissões julgadoras por seu empenho na avaliação dos trabalhos submetidos.

Prêmio ABCM diversidade > edição 2024

Em sua primeira edição, o Prêmio ABCM Diversidade para trabalhos de conclusão de curso teve duas candidaturas homologadas na categoria Mulheres, que foi avaliada por comissão julgadora, composta pelas Profas. Marcia Barbosa Henriques Mantelli, Thamy Cristina Hayashi, Maria Laura Martins Costa e Jacqueline Biancon Copetti. O prêmio foi atribuído ao trabalho intitulado “Uso da Dinâmica Fluido Computacional como Ferramenta de Estudo Comparativo para o Corpo de Ahmed”, de autoria de Bruna Alvarez Ramos (PUC-RS), com orientação da Profa. Karina Ruschel.

O prêmio será entregue em uma sessão especial sobre diversidade no COBEM 2025, quando a premiada terá a oportunidade de fazer uma apresentação breve (*pitch*) de seu trabalho. Além disso, a premiada fará uma exposição mais detalhada em forma de pôster em local de destaque no evento.

A Diretoria da ABCM cumprimenta a estudante vencedora do prêmio e sua orientadora, e agradece às membras da comissão julgadora pelo trabalho de avaliação realizado. Manifesta também seu desejo de que o prêmio atraia números maiores de candidaturas em suas edições futuras.

Prêmio ABCM/FBTS > edição 2025

Temos a satisfação de comunicar à Comunidade da ABCM a criação do Prêmio ABCM/FBTS, resultante de parceria firmada entre a ABCM e a Fundação Brasileira de Tecnologia de Soldagem, cujo objetivo é distinguir os melhores trabalhos concorrentes em três categorias: trabalhos de conclusão de curso de

graduação, dissertações de mestrado e teses de doutorado. O anúncio oficial do prêmio será feito durante a sessão de premiações do COBEM 2025.

A Diretoria da ABCM cumprimenta e agradece ao Eng. Luiz Carlos Quintella, Presidente da FBTS, pela iniciativa de criação do prêmio e pela escolha da ABCM como parceira em sua implementação.

Programa de bolsas de iniciação científica da ABCM

A sétima chamada do programa de bolsas de iniciação científica da ABCM (PABIC) recebeu 23 propostas, das quais 22 foram homologadas. A comissão julgadora foi formada pelas Profas. Aline Souza de Paula, Diretora Secretária da ABCM, Maíra Martins da Silva e Carolina Naveira Cotta.

Os(as) estudantes contemplados(as) e respectivos orientadores(as) são:

- 1. Aldo Maia Júnior > Profa. Camila Gianini Gonsalez Bueno (FEIS-UNESP);
- 2. Arthur Ferreira Padilha Sette > Prof. Raphael Araujo Cardoso (UnB);
- 3. Fabrício Rodrigues dos Santos > Prof. João Rodrigo Andrade (UFU);
- 4. Gislaíne Ferreira Marçal > Prof. Tiago Mendes (UFVJM);
- 5. Isabella Azevedo dos Santos de Oliveira > Prof. César Cunha Pacheco (UFF);
- 6. Julio Cesar Motta > Prof. Adriano da Silva Marques (UFPB);
- 7. Letícia Coelho dos Santos Porto > Prof. André Rocha Pimenta (IFRJ);
- 8. Maria Fernanda Araujo Santos Rodrigues > Profa. Andreia Aoyagui Nascimento (UFG);

9. Rafaelle Nunes Orientador > Prof. Thiago Torres Martins Rocha (UFMG);

10. Yasmim Luiz Tavares > Prof. José Ricardo Ferreira Oliveira (UFVJM).

Das 10 bolsas concedidas, 5 foram para ampla concorrência, 2 para estudantes das regiões Norte, Nordeste ou Centro-Oeste, 1 para mulher pertencentes a um dos grupos minoritários (definidos pela Comissão Especial de Diversidade e Inserção da ABCM), 1 bolsa por cota racial e 1 por cota social.

A Diretoria da ABCM cumprimenta os(as) estudantes contemplados(as) e respectivos(as) orientadores(as) e agradece às membras da comissão julgadora pela avaliação das propostas. Manifesta também seu contentamento com a consolidação atingida pelo programa ABCM-PABIC, cujos resultados têm sido muito bons.

Publicações da ABCM

O *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* (JBSMSE) e *Thermal Engineering* (RETERM) prosseguem como os dois principais periódicos da ABCM, progressivamente aumentando sua visibilidade nos planos nacional e internacional. Para a RETERM, o Editor-Chefe, Prof. José Viriato Coelho Vargas (UFPR) e o corpo de editores associados vêm operando com vistas à indexação do periódico em bases internacionais. O JBSMSE, que passou a contar com novos editores-chefes, Profa. Angela O. Nieckele (PUC-Rio) e Prof. Marcelo A. Savi (UFRJ), desde março de 2024, vem mantendo altos números de submissões recebidas e indicadores de impacto muito satisfatórios.

A Diretoria da ABCM deseja registrar seus agradecimentos ao Dr. Eduardo Goldani, que foi responsável pelo JBSMSE junto à Springer Nature ao longo de vários anos, pela dedicação prestada aos assuntos relacionados a nosso periódico. Por ocasião da recente transferência das funções do Dr. Goldani para a Sra. Heather Bradbury, desejamos aos dois colaboradores da Springer Nature muito sucesso no exercício de suas novas funções.

A revista ABCM Engenharia, cuja editoria vem sendo exercida pelo Prof. Luís Mauro Moura (PUC-PR/UFPR) desde 2024, continua sendo um excelente veículo de divulgação de eventos, efemérides e análises de temas atuais e históricos, de grande interesse para nossa comunidade.

A parceria da ABCM com a Editora Springer Nature para a publicação da ABCM *Series on Mechanical Sciences and Engineering*, cujos editores são os Profs. Marco Lucio Bittencourt (UNICAMP), Marcello Augusto Faraco de Medeiros (EESC-USP) e Ricardo Diego Torres (PUC-PR), continua produzindo ótimos resultados. A série é destinada à publicação de coletâneas de artigos selecionados dentre aqueles apresentados em nossos eventos. Até o momento, já foram publicados doze volumes (<https://www.springer.com/series/14172>), três deles tendo sido publicados em 2025.

Ainda com respeito a publicações apoiadas pela ABCM, temos a satisfação de anunciar a publicação, pela Springer, do livro *Application of Fracture Mechanics in the Nuclear Industry*, organizado pelos Drs. José Eduardo de Almeida Maneschy e Carlos Alexandre de Jesus Miranda (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-96140-3>).

A Diretoria da ABCM cumprimenta e agradece aos editores-chefes, editores-associados e revisores das obras publicadas pelo esforço que vêm dedicando às publicações da ABCM, com excelentes resultados.

Ações da diretoria

Sumarizamos, a seguir, as principais ações realizadas no decorrer de 2025.

Atuação junto aos comitês técnicos: vem sendo continuada a política de valorização e fortalecimento dos comitês técnicos da ABCM. Sob coordenação do Diretor Técnico-Científico, Prof. Francis H. R. França, tem havido uma articulação mais efetiva entre os CTs e as comissões organizadoras dos eventos. No dia 5 de setembro de 2025 foi realizada, em formato híbrido, a

reunião anual dos secretários executivos dos comitês técnicos com a Diretoria, durante a qual os secretários relataram as ações implementadas e planejadas por seus respectivos comitês, apontaram dificuldades e fizeram propostas para seu enfrentamento.

Comissões Permanentes e Especiais da ABCM: a ABCM vem estimulando as atividades das comissões permanentes de Admissão, Ciência e Tecnologia, Divulgação e Publicações, Ensino e Difusão de Pesquisa e Intercâmbio Institucional e da Comissão Especial de Inserção e Diversidade, implantada em 2022.

Racionalização das despesas e gestão financeira da ABCM: com ações do Diretor Tesoureiro, Prof. Fabio Toshio Kanizawa, a Diretoria da ABCM vem dando sequência ao processo de melhoria da gestão financeira da Associação, pautada pela redução de custos. Além disso, a Diretoria vem atuando junto às comissões organizadoras dos eventos, visando a otimizar os custos envolvidos na organização dos eventos, reduzindo-se as despesas, mas buscando uma boa experiência de participação para os congressistas.

Defesa da ABCM em autuações tributárias: prosseguem as ações de defesa ocasionadas por duas diferentes autuações tributárias oriundas da Secretaria Municipal de Fazenda de Belo Horizonte, referentes ao não recolhimento de ISS por ocasião da realização do ICAS 2018 - 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, promovido pela ABCM. As defesas nos dois processos vêm sendo feitas com base na tese que a ABCM é imune à cobrança de ISS.

Revisão do Estatuto da ABCM: temos a satisfação de anunciar que a Diretoria concluiu o trabalho de revisão do Estatuto, consolidando uma proposta que foi apresentada a toda a comunidade de ABCM em 2/10/2025 para coleta de críticas e sugestões. O novo Estatuto será apreciado pela Assembleia Geral da ABCM, que se reunirá durante COBEM 2025, a partir do parecer de um Relator. Vale lembrar que a iniciativa de revisão do Estatuto, proposta pela Di-

retoria, foi aprovada pela Assembleia Geral em reunião realizada virtualmente durante o COBEM 2021.

Revisão do Guia de Organização de Eventos: foi concluída a revisão do Guia de Organização de Eventos (GOE) da ABCM, que foi apreciada pelo Conselho da ABCM em reunião ordinária no dia 24/10/2025. Este importante trabalho, que foi coordenado do Diretor Técnico-Científico, Prof. Francis H. R. França, teve por objetivo atualizar os procedimentos de submissão e revisão dos trabalhos e incluir recomendações para tornar os eventos promovidos pela ABCM mais inclusivos e diversos. Além disso, a nova versão trata da adequação dos procedimentos da ABCM à Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD).

Aperfeiçoamento do sistema de gestão de eventos e do portal da ABCM na internet: o trabalho de aperfeiçoamento do sistema de eventos teve início no primeiro semestre de 2024, com a contratação de um profissional programador. A nova versão, que incorpora diversas sugestões feitas pelas comissões organizadoras de eventos e pelos comitês técnicos da ABCM, traz melhorias substanciais que deverão tornar mais fáceis e ágeis as diversas etapas científicas e gerenciais envolvidas na organização de eventos da ABCM. O sistema já está sendo utilizado na organização científica do 18th *International Heat Transfer Conference*, e será utilizado em todos os eventos regulares da ABCM a partir do MECSOL 2026.

Comemorações dos 50 anos da ABCM: as ações comemorativas dos 50 anos de existência da ABCM, completados no dia 19 de abril de 2025, estão sendo organizadas por uma comissão especial formada pelos Prof. Sérgio Viçosa Möller, Antônio José da Silva Neto, Gherhardt Ribatski, Luís Mauro Moura e Americo Barbosa da Cunha Jr., além da Diretoria da ABCM. As primeiras iniciativas consistiram na produção de uma logomarca comemorativa e na realização de um coquetel na cidade do Rio de Janeiro, no dia 9/4/2025. Está sendo produzido um livro comemorativo cujo lançamento ocorrerá no primeiro semestre de 2026. O COBEM 2025 proporcionará aos participantes diversas oportunidades para a celebração dos 50 anos de nossa Associação.

Eleições para a diretoria e conselho da ABCM

No momento em que este texto é redigido, estão em curso as eleições para a Diretoria (biênio 2025-2027) e para o Conselho da ABCM, para as quais foi designada Comissão Eleitoral formada pelos Profs. Sergio Viçosa Möller, Maria Laura Martins da Costa e Luís Mauro Moura. A posse dos eleitos ocorrerá durante a reunião da Assembleia Geral, a ser realizada no dia 12/11/2025, durante o COBEM 2025. Para a Diretoria da ABCM houve inscrição de uma única chapa, formada pelos Profs. Francis Henrique R. França (Presidente), Aline Souza de Paula (Vice-Presidente), Rafael de Camargo Catapan (Diretor Secretário), Carlos de Marqui Jr. (Diretor Técnico-Científico) e Cesar Cunha Pacheco (Diretor Tesoureiro). Para as vagas no Conselho da ABCM, apresentaram-se os(as) seguintes candidatos(as), Prof. Alex Alisson Bandeira Santos, Prof. Carlos José de Araújo, Eng. Eduardo Machado, Dr. Gustavo Luiz Olichevis Halila, Prof. José Manoel Balthazar, Profa. Maíra Martins da Silva, Profa. Roberta de Queiroz Lima, Prof. Samuel da Silva. Apresentou-se como candidato à vaga de representante discente no Conselho o doutorando Yuri Andrade Dias Martins.

A Diretoria manifesta sua satisfação com as candidaturas recebidas, compostas por membros muito ativos e comprometidos com nossa Associação, e antecipadamente cumprimenta os(as) eleitos(as), desejando-lhes muito sucesso no exercício de suas funções.

Considerações finais

Ao encerrar seu segundo mandato, a Diretoria manifesta seus agradecimentos a toda a Comunidade da ABCM pela confiança nela depositada e pelo apoio e contribuições recebidas, que se mostraram indispensáveis para a concretização do trabalho realizado e avanços obtidos em prol de nossa Associação ao longo dos últimos quatro anos, os principais dos quais são relacionados a seguir:

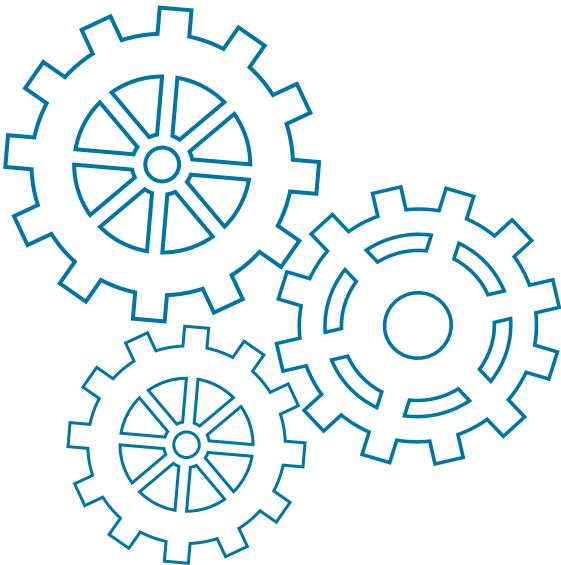
- Consolidação da nova sede da ABCM na Praça Tiradentes, que fora adquirida na gestão do Prof. Gherhardt Ribatski.
- Consolidação do retorno aos eventos realizados em formato presencial após a pandemia de COVID-19.
- Criação da Comissão Especial de Inserção e Diversidade da ABCM.
- Racionalização de despesas, redução de custos fixos da Sede e redução de custos envolvidos na organização de eventos da ABCM.
- Adequação dos procedimentos da ABCM à LGPD.
- Apoio à criação da Escola de Inverno de Energia da ABCM.
- Apoio à criação da Escola de Dinâmica da ABCM.
- Criação do Prêmio ABCM/PIPELINEBRAZIL.
- Criação do Prêmio ABCM Diversidade.
- Criação do Prêmio ABCM/FBTS.
- Atuação da ABCM, como promotora ou copromotora, de eventos internacionais importantes realizados e a serem realizados no Brasil, por iniciativa de Associados da ABCM: FIV 2024 (<https://sites.usp.br/fiv2024/>), WTC 2026 (<https://www.wtc2026.org/>), IHTC 2026 (<https://ihtc18.org/>).
- Criação das páginas dos Comitês Técnicos no portal da ABCM na internet.
- Elaboração de nova versão do Sistema Informatizado de Gestão de Eventos (SIGE) da ABCM.
- Proposição do novo Estatuto da ABCM.
- Revisão do Guia de Organização de Eventos da ABCM.

- Coordenação de ações comemorativas dos 50 anos da ABCM.

A Diretoria agradece especialmente àqueles e àquelas que se engajaram diretamente nas ações da ABCM: membros do Conselho, membros dos comitês técnicos, editores de nossas publicações, membros de comissões organizadoras e revisores de trabalhos de nossos eventos, membros de comissões permanentes e comissões especiais. Agradece também às agências governamentais de fomento e apoiadores dos eventos e prêmios da ABCM.

Especiais agradecimentos são dirigidos aos colaboradores da sede da ABCM, Débora Estrella, Vinicius Duarte Gonçalves e Pedro Palma, pelo constante apoio prestado à Diretoria no tratamento de todos os assuntos que lhes são apresentados e pelo atendimento aos Associados, sempre com muito presteza e eficiência.

*Cordiais saudações
a todas e a todos.*





o futuro da ABCM 50 ANOS

A gente vive repetido, o repetido, e, escorregável, num mim minuto, já está empurrado noutro galho. Acertasse eu com o que depois sabendo fiquei, para de lá de tantos assombros... Um está sempre no escuro, só no último derradeiro é que clareiam a sala. Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.



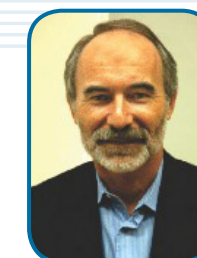
Grande Sertão: Veredas. João Guimarães Rosa. Editora Nova Aguilar, 1994.



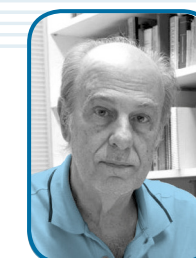
Álvaro T. Prata
UFSC



Atila P. Freire
UFRJ



José R. Arruda
UNICAMP



Luiz Bevilacqua
UFRJ



Renato M. Cotta
UFRJ

A ABCM não cabe dentro de si mesma. Seu relevo para a ciência e a engenharia nacionais parece ter sido originado por um tectonismo convergente que se perpetua, não cessa. Esse processo lento, mas muito energético, conduz inexoravelmente a nossa Associação a protagonismos cada vez mais destacados nos terrenos complexos que definem a mecânica teórica e aplicada. Na realidade, a grande amplidão das suas esferas de influência e interesse faz com que a ABCM seja significativamente ouvida nos vários outros campos da engenharia e das ciências básicas.

Atuante na promulgação das melhoras práticas para o desenvolvimento científico e tecnológico, na recomendação de políticas educacionais para o ensino superior, na formulação de modelos que impulsionem a inovação industrial no Brasil, a ABCM – através de seus membros – ocupa posições de destaque nos múltiplos níveis decisórios das mais importantes instituições públicas e privadas nacionais.

Não é exagero afirmar que – no que tange ao domínio das ciências mecânicas – a ABCM é o mais importante ator nacional. E esta constatação não é recente.

A ABCM é a face reconhecida por agentes nacionais e internacionais de tudo o que diz respeito às áreas fundamentais e especializadas da Mecânica no Brasil, e há muito tempo.

E como tudo isso se deu em 50 anos? Foram ações casuísticas que resultaram neste arcabouço de valor? Foi o resultado temporal uma consequência direta da formulação original? Foi a ABCM pensada, instituída e construída para ser o que hoje é?

Sim. A resposta é sim para a segunda alternativa. Somos o que o nosso DNA assegurou que seríamos, e que as condições do ambiente impuseram que não houvesse erro de trajetória. Os fundadores da ABCM idealizaram uma estrutura conceitual que definiu a nossa evolução. Ser o que somos é o desígnio desenhado e imposto por nossos precursores.

Mas por que enfatizar todos esses aspectos quando nos propomos a pensar no futuro? Porque precisamos entender quem somos e o que significamos para a ciência e a educação brasileiras. Formular o futuro pressupõe entender o passado e o presente. Pressupõe entender onde acertamos e onde erramos. Pres-

supõe entender o que precisa ser preservado e o que precisa ser alterado. Pressupõe não perder o equilíbrio e a dinâmica que já foram atingidos.

Os avanços futuros almejados não podem se constituir em uma ameaça aos avanços passados conquistados. O futuro precisa ser melhor que o presente, que precisa ser melhor que o passado. Não se deve retroceder.

E o que nos contempla? O que se busca para as próximas gerações?

É desejável que as futuras gerações vivam em um planeta saudável, em que os danos ambientais sejam minimizados e as práticas sejam sustentáveis. Um mundo em que a educação seja inclusiva e de qualidade para todos. Onde os indivíduos possam exercer seus pensamentos críticos em ambientes criativos e colaborativos. Onde a empatia, a solidariedade, as liberdades individuais, o respeito e a justiça sejam a regra. Onde a cultura da paz prevaleça.

E, neste contexto, onde a ABCM se encaixa?

Esse tema pode ser controverso, mas inequivocamente a grande interface da ABCM com a sociedade geral foi construída a partir de seus eventos. Em grande número, e com largas audiências, os eventos da ABCM moldaram gerações. É nesses encontros que as relações interpessoais se estabelecem, que os tópicos científicos relevantes encontram a devida exposição, que os conceitos mais amplos e suas premissas podem ser discutidos. Assim, qualquer visão de futuro

ro deve necessariamente entender como a dinâmica dos congressos pode e deverá influenciar as ações almejadas.

Uma outra ferramenta que poderia ser importante para operar transformações são os seus comitês técnicos. Hoje ainda, em muitos casos [JA1.1], os vinte comitês técnicos existentes [RC2.1] deveriam desempenhar um papel-chave na promoção de discussões estruturantes. Dar relevância e autonomia aos comitês técnicos, tendo como exemplo os mais bem sucedidos, poderá ser um propulsor de novas iniciativas e engajamento de novas áreas e profissionais, com crescente interdisciplinaridade. Quanto mais próximos e integrados às diretorias, mais atuantes os comitês tendem a ser. A proposição de comitês interassociações, inclusive internacionais, também trará a oportunidade de fortalecimento de alianças e exploração mútua de áreas interdisciplinares. Alianças através de comitês técnicos com associações que possuam vocação mais conectada ao setor produtivo poderão ser particularmente benéficas à nossa maior abrangência enquanto sociedade.

Mas, voltemos ao âmago da discussão. Como a ABCM imagina o futuro, e como ela pretende continuar a desempenhar o seu papel de protagonista institucional?

Uma revolução cultural e tecnológica se encontra em marcha. Os avanços espetaculares nos últimos vinte anos nos meios de comunicação, com o encurtamento do tempo de circulação da informação, proporcionaram a transformação da economia com o surgimento de novas profissões e modelos de negócio. A criação de comunidades online, a inclusão de grupos marginalizados, e a explosão do ensino à distância resultaram em um impacto transformador cuja efetiva avaliação ainda é precária.

É papel futuro da ABCM utilizar toda a sua influência para garantir que essas novas tecnologias sejam utilizadas para a promoção de boas práticas de aprendizado, que resultem em estruturas pedagógicas que enfatizem a liberdade de explorar novos caminhos, o pensamento crítico, a capacidade de descobrir, inventar, assumir riscos, e fazer as próprias escolhas. É papel futuro da ABCM estimular que os cursos de engenharia existentes alterem as suas estruturas curriculares de forma a garantir que a beleza do conhecimento possa

se expressar em um ambiente de liberdade acadêmica plena. Além disso, a ABCM deve promover uma maior interação entre docentes e discentes, os quais, na atualidade, exercem papel singular no processo de aprendizado.

Os congressos que a ABCM patrocina, as suas publicações de opinião e os seus comitês técnicos devem ser orientados a estimular a implantação de cursos de graduação e de pós-graduação que estimulem o conhecimento interdisciplinar para a formação de profissionais que cultivem uma visão abrangente e uma capacidade de análise que resulte da interseção de conhecimentos múltiplos.

O impacto da inteligência artificial e das máquinas que simulam construções lógicas não ficará apenas restrito à educação e à cultura. A IA impactará significativamente a sociedade, melhorando a eficiência dos processos por meio da automação, e transformando setores como saúde e finanças onde tomadas de decisão serão aprimoradas e as experiências personalizadas. A AI transformará a natureza do trabalho com a automatização de tarefas e a criação de novas funções. Os benefícios oferecidos, tais como o aumento da produtividade, as invenções tecnológicas e a melhoria da segurança pública serão, por outro lado, deletérios com relação à perda de empregos e da privacidade individual.

É urgente que a ABCM avalie todos esses impactos na indústria mecânica em geral, e na própria vida comunitária que desenvolvemos no último meio século. É urgente que a ABCM pese todos estes aspectos e emita pareceres, guias de ação e modelos que apontem à sociedade como a melhor travessia deve se dar.

Como será a relação associativa futura entre a ABCM e os seus membros? O modelo atual deverá ser o mesmo para os próximos anos? Com as transformações digitais recentes, devemos conservar as interações entre os associados limitadas à dinâmica atual? Como poderemos aperfeiçoar e ampliar o modo como nos comunicamos para melhor atender às tendências e demandas atuais do mundo contemporâneo? A ABCM precisará futuramente se defrontar com essas questões, se movendo para práticas mais flexíveis e modernas. Em particular, devemos estar muito atentos a como atingir os jovens

estudantes, pesquisadores e engenheiros que formarão o nosso corpo social do futuro. Temos que nos apropriar das tecnologias que hoje fazem o dia a dia dessas pessoas e através delas passar a mensagem da nossa atuação e relevância. Indo além, precisamos ter a mesma atenção com a sociedade em geral, diversificar forma e conteúdo de comunicação, apresentando o mundo das ciências e engenharia mecânica, para atingir de crianças a tomadores de decisão.

Os congressos serão os mesmos? Deveriam os nossos eventos oferecer formatos híbridos, maior acessibilidade por meio da participação virtual, maior oferta de conteúdo sob demanda e um foco maior em inclusão e sustentabilidade? Seria de interesse amplo utilizar as tecnologias existentes para aprofundar a participação internacional e o compartilhamento de conhecimento de alto nível? Embora se admita que o valor das interações presenciais permaneça, as opções virtuais e assíncronas poderiam potencialmente aumentar a equidade e reduzir custos. A democratização seria aumentada, o impacto ambiental diminuído e as barreiras geográficas derrubadas. Apesar da indiscutível importância dos nossos grandes e médios eventos regulares, é preciso profissionalizar a organização mais ágil de eventos em tópicos específicos, respondendo a demandas ou necessidades urgentes de um dado setor da sociedade, do governo ou do setor produtivo. Certas discussões não podem aguardar os prazos usuais dos nossos principais eventos, mas, com a atuação dinâmica dos comitês técnicos, podem ser trazidas em seminários virtuais ou não, no momento oportuno de sua realização. Documentos técnicos marcando uma opinião da ABCM poderão resultar em ações mais localizadas, expressando em tempo ou até antecipadamente a nossa contribuição.

O apoio a jovens cientistas é um tópico que não poderá escapar aos nossos interesses.

Os jovens são o futuro. A criação de oportunidades de mentoria e a promoção de divulgação científica são ações simples que poderiam ser estimuladas pelos comitês técnicos. Prêmios e distinções a jovens pesquisadores [JA3.1] devem ser instituídos como forma de reconhecimento precoce a talentos emergentes. Devemos estimular o crescimento do programa de iniciação científica, ainda tímido, mas buscando recursos de ou-



tras fontes, como no setor produtivo, estendendo o programa para uma iniciação tecnológica que tenha a participação efetiva da nossa indústria mecânica e afins. Igualmente, podemos estimular intercâmbios internacionais de estudantes em iniciação tecnológica, com acordos de cooperação com empresas multinacionais instaladas no país.

As recentes iniciativas pela promoção de diversidade e inclusividade precisarão ser apoiadas e consolidadas. A conscientização coletiva sobre respeito e preconceito, a implementação de políticas de tolerância zero à violência e discriminação, e a implementação de ações afirmativas precisarão ser atentamente observadas.

Os canais de escuta e diálogo da Comissão de Diversidade e Inclusão da ABCM devem permanecer abertos e ampliados para a promoção de grupos de afinidade. A celebração da diversidade cultural deve ser refletida nos congressos organizados, nas escolhas de suas sedes e comissões organizadoras.

A ABCM do futuro precisará se aproximar do setor produtivo, abraçar novas tecnologias, priorizar processos sustentáveis e demandas sociais. Seu direcionamento político científico deverá enfatizar o desenvolvimento de infraestrutura (mobilidade urbana, saneamento e habitação popular), descarbonização e transição energética (novas tecnologias de geração, modos de armazenamento), indústria 4.0 (automação e tecnologias digitais) e sustentabilidade (redução do impacto ambiental, economia circular e eficiência de recursos). A ABCM do futuro deverá estimular soluções inovadoras para desafios sociais e ambientais nacionais concretos.

Conclusão. Acima de tudo, no futuro que nos espera, a ABCM precisará não abdicar de seus valores originais. Foi com eles que chegamos onde chegamos.

Serão com eles que avançaremos a patamares mais elevados. O DNA da ABCM possui informações genéticas embebidas que nos imprimem vanguardismo, propósitos honestos, capacidade inovativa, excelência intelectual, compromisso com o rigor ético, resiliência, coragem e perseverança. Um componente importante do segredo para o futuro é a manutenção empedernida desses valores.

Não chegamos aqui e vencemos distraídos. Chegamos porque formulamos e buscamos soluções por métodos rigorosos que precisaram, não obstante, ser construídos. A ABCM é gigante e gigante permanecerá. Basta para isso que busquemos a construção do futuro com o mesmo espírito daqueles que iniciaram esta trajetória há 50 anos: com esperança, entusiasmo, destemor e honestidade de propósito.



programa de gestão para a candidatura à diretoria da ABCM, Biênio 2025>2027



Chapa Gestão 2025-2027 > Prof. Francis Henrique Ramos França, **Presidente**, Profa. Aline Souza de Paula, **Vice-Presidente**, Prof. Rafael de Camargo Catapan, **Diretor Secretário**, Prof. Carlos De Marqui Jr., **Diretor Técnico-Científico**, Prof. Cesar Cunha Pacheco, **Diretor Tesoureiro**

Apresentamos, a seguir, alguns compromissos e ações planejadas para o próximo biênio. Diante da amplitude dessas ações, sabemos que seu cumprimento só será possível através do bom trabalho conjunto da Diretoria, do Conselho Deliberativo, dos comitês técnicos, das comissões permanentes e secretarias regionais, bem como dos colaboradores em nossa sede no Rio de Janeiro e dos associados.

No aspecto administrativo, daremos continuidade à implantação do plano estratégico da ABCM, com revisão anual das metas junto ao Conselho Deliberativo. Como resultado, apresentaremos um plano de ações de forma transparente, com publicação dos principais indicadores da Associação em seus portais de informação. Essa governança orientará as atividades da diretoria ao longo do mandato.

Atualmente, a ABCM promove 15 eventos regulares com periodicidade bienal, sendo uma das ações mais abrangentes e visíveis da Associação. Esses eventos desempenham papel fundamental na integração da comunidade. Temos o compromisso de apoiar seus organizadores, aprimorando os diversos processos para oferecermos eventos de elevado nível técnico-científico, com custos acessíveis para os participantes e segurança financeira para a Associação. Buscaremos ampliar a participação da comunidade, abrangendo desde jovens estudantes até profissionais sêniores, além de promover a internacionalização dos eventos, consolidando-os como referência em suas áreas.

Refletindo a crescente inserção internacional da comunidade brasileira, nos comprometemos a apoiar iniciativas voltadas à realização, no Brasil, de eventos

mundiais de elevado padrão técnico-científico na área de engenharia e ciências mecânicas, oferecendo suporte desde a elaboração da proposta até o auxílio logístico de organização através da estrutura da ABCM. Com alguns eventos mundiais atualmente sendo promovidos pela ABCM, a nossa expectativa é que essa tendência se torne mais forte nos próximos anos.

Prosseguiremos aprimorando e expandindo as nossas principais fontes de informações e divulgação, como o portal da ABCM na internet e as mídias sociais, e trabalharemos para o contínuo aprimoramento do novo sistema informatizado de gestão de eventos ABCM, lançado neste ano.

Os comitês técnicos possuem o papel fundamental de liderar as ações em suas respectivas áreas técnicas, como a organização dos simpósios nos congressos e escolas. Daremos continuidade à prática de reunir periodicamente os comitês técnicos e as comissões organizadoras dos eventos. Procuraremos também estimular a aproximação da coordenação dos comitês técnicos com a sua comunidade, por exemplo, aprimorando os recursos de comunicação das páginas no site e tornando mais atrativas suas reuniões nos congressos da ABCM.

Prosseguiremos na consolidação da parceria entre a ABCM e a editora Springer, visando ao fortalecimento de nosso principal periódico, o Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (JBSMSE), a concretização de projetos editoriais na ABCM Series in Mechanical Engineering, além da publicação de obras propostas por nossos associados. Daremos apoio aos editores-chefes do JBSMSE, Thermal Engineering (RETERM) e Revista ABCM Engenharia.

Apoiaremos as ações da Comissão de Diversidade e Inclusão na busca de uma participação cada vez maior de grupos sub-representados, como mulheres e minorias étnicas, fortalecendo a Associação através de perspectivas mais ricas e variadas e respondendo de forma direta às necessidades da sociedade brasileira. Entre as iniciativas que consideramos importante apoiar, citamos as cotas para bolsas de IC, premiações no âmbito das ações de diversidade e inclusão, e a busca de uma maior representatividade desses grupos nos espaços de decisão da Associação.

Há um consenso de que o número de associados ativos não reflete o impacto e a amplitude das ações da ABCM. Além dos benefícios acadêmicos para os associados, como o desconto em eventos e acesso à publicações da ABCM, buscaremos formas de estimular o

interesse dos associados em se manterem em dia com as suas anuidades.

Procuraremos aumentar o número de alunos de graduação e pós-graduação associados à ABCM e buscaremos formas de manter o vínculo do estudante após sua formação. Prosseguiremos com o bem-sucedido Programa de Bolsas de Iniciação Científica (PABIC) e com o apoio ao Congresso Nacional dos Estudantes de Engenharia Mecânica (CREEM), organizado pelos estudantes anualmente.

A capacidade de conceder premiações reflete a maturidade de uma Associação, valoriza os talentos e estimula a excelência acadêmica. Objetivamos dar continuidade e ampliar os prêmios de melhores trabalhos de conclusão da graduação, mestrado e doutorado.



Incentivaremos os organizadores de eventos a manterem o esforço na seleção dos melhores trabalhos, fortalecendo a qualidade técnico-científica dos congressos da ABCM. Além disso, procuraremos dar suporte às comissões responsáveis pelas premiações dos membros efetivos por suas contribuições à engenharia e ciências mecânicas.

Entendemos que a nossa inserção junto à indústria ainda não faz jus à importância e potencial de impacto da ABCM no setor industrial. Entre algumas das medidas que objetivamos, continuaremos apoiando as ações do Comitê Empresarial no fortalecimento do vínculo da ABCM com a indústria. Consideramos também promover a organização de um encontro anual focado em temas relativos à indústria, seja durante os maiores congressos da ABCM (COBEM e CONEM) ou na sede da ABCM, no Rio de Janeiro.

Por fim, e de forma muito relevante, temos a meta de ampliar a contribuição da Associação nas discussões sobre políticas públicas voltadas ao progresso técnico-científico do Brasil, por meio da interlocução com órgãos governamentais responsáveis pelas áreas de ciência e tecnologia e de educação superior, em articulação com outras associações cujas atividades se alinham à atuação da ABCM.

Se eleitos, ficaremos honrados em servir a comunidade da ABCM no quadro da Diretoria. Temos ciência da magnitude do desafio de coordenar os trabalhos na Associação, mas também estamos confiantes de que, com sua estrutura organizacional e a maturidade de sua comunidade, a ABCM seguirá a sua trajetória de crescimento e fortalecimento.

Rio de Janeiro, agosto de 2025.

Biênio 2025-2027

a dinâmica viva de Hans Ingo Weber

Agenor Fleury é Professor Sênior da Escola Politécnica da USP, Kátia Cavalca é Professora Titular e Diretora Adjunta da Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP e Luciano Menegaldo é Professor Titular do Programa de Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ. Os três consideram Hans um grande amigo.



Hans > Sessão especial em homenagem a seus 80 anos > DINAME 2023

Embora não se tenha certeza do uso universal das famílias acadêmicas, em terras tupiniquins essa tradição é comum. Então, este pequeno texto para homenagear um grande homem foi escrito por dois filhotes consanguíneos e um filhote adotivo que, apesar de ter forte e compreensivo pai, se sente também acolhido nessa família, e tantos presentes que recebeu.

Hans Weber nasceu na antiga Tchecoslováquia em 1943, em plena Segunda Guerra Mundial. Numa Europa devastada, a família tomou a decisão de emigrar, como tantas outras naquela época. Para nossa sorte, vieram para o Brasil, estabelecendo-se em São Paulo. Hans estudou em colégios tradicionais da cidade e entrou na Escola Politécnica da USP, onde se graduou em Engenharia Mecânica na gloriosa turma de 1966, que nos forneceu outros seus colegas de enorme bri-

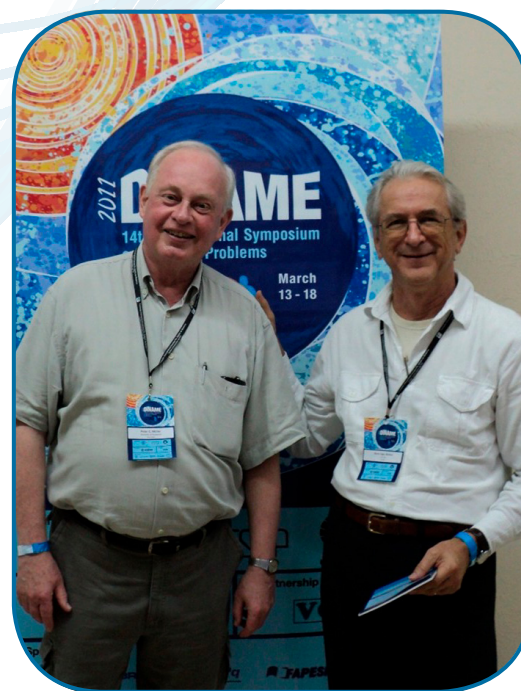
lho, Otávio Silveiras, Atair Rios Neto e os irmãos Mendonça de Barros entre eles.

Tempos difíceis aqueles, tanto na política como na educação. A Universidade de São Paulo, embora já considerada de grande porte, não oferecia um sistema de pós-graduação estruturado, o que só veio a iniciar com a chamada Reforma de 72.

Hans seguiu, então, para o Rio de Janeiro, onde a COPPE/UFRJ já funcionava a pleno vapor. Defendeu o Mestrado em 1968 sob orientação do grande Professor Luís Bevilacqua com um trabalho sobre Vibração de Vigas com Massa Variável no Tempo. Em 1969, rumou para a Alemanha, onde defendeu seu Doutorado na TUM/Technische Universität München em 1971, orientado pelo eminente Professor Kurt Magnus, com



Ilmar Santos, Kátia Cavalcá, Hans, Djenane e Mauro Jorge > DINAME 2023



Hans e o Prof. Peter Müller > DINAME 2011

uma tese sobre Controle Ótimo de Satélites dotados de Rodas de Reação. É, sem dúvida, notável que, naquela época, tenha concluído Mestrado e Doutorado em menos de 5 anos no convívio de grandes mestres. Do convívio com o Professor Magnus trouxe a paixão pela Dinâmica de Rotação. Quem quiser aprender sobre o tema deve estudar seu livro Entendendo a Dinâmica de Rotação, que Hans, com sua habitual generosidade, disponibilizou em versão eletrônica, em Português, claro, e em Inglês. Cabe, ainda, mencionar a misteriosa caixa que Hans guarda sob sete chaves, com o giroscópio mecânico com a qual o Professor Magnus ensinou o funcionamento aos russos durante sua prisão após a Segunda Guerra. Brilhante!

De volta ao Brasil e à COPPE, Hans trabalhou fortemente na expansão da pós-graduação em Engenharia Mecânica, cooptando alunos para os programas em funcionamento e alertando para a necessidade do estabelecimento dos congressos que juntassem as pessoas espalhadas pelo país. Do tímido primeiro COBEM em 1971 chegamos ao COBEM 2025 com a chancela de um congresso internacional, com mais de 1500 pessoas envolvidas a cada edição. Em 1974, transferiu-se para a UNICAMP, onde, na época, seu Reitor, Professor Zeferino Vaz, realizava um impressionante trabalho de arregimentação de cérebros que transformaram a Universidade na potência que é hoje. Pouco tempo depois, Hans encabeçou a ini-

ciativa de reunir, em Campinas, um seleto grupo de professores e pesquisadores, num sábado de abril de 1975 para a fundação da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas, a nossa ABCM. Mais tarde, incorporou a Engenharia a seu nome, mas manteve a sigla já consolidada. Por sua liderança, Hans foi escolhido como primeiro Presidente da Associação.

Na UNICAMP, em sua área de atuação, o Prof. Hans foi pioneiro na formação de engenheiros capazes de conceber, projetar e construir suas ideias. As crises do petróleo de 1973 e 1979 levaram à nucleação de um grupo de projeto em máquinas rotativas, que construía volantes para armazenamento de energia, investigava sistemas híbridos de energia e buscava outras soluções alternativas. Nos anos 80, um pequeno grupo de pessoas trabalhava em dinâmica de rotores. No Brasil, encontravam-se usinas de grande porte recentes, como Ilha Solteira, Jupia e Itaipu. Surgiu, portanto, a demanda de engenheiros que pudessem explicar os fenômenos que ocorriam em turbinas Francis e Kaplan. O Prof. Hans e seu grupo do GEPROM estava pronto para colocar seus alunos e colegas para trabalhar em problemas em aberto nessa área. O problema de vibrações excessivas das turbinas de Itaipu foi resolvido com decisiva participação do grupo.

Hans participou do primeiro congresso de Dinâmica de Rotores promovido pelo IFToMM, em Roma, 1982. Naquela ocasião, estreitou sua cooperação acadêmica internacional com vários países europeus, e jovens pesquisadores nessa área, bem como engenheiros. Hans e seu grupo iniciaram as suas próprias cooperações com empresas que utilizam máquinas rotativas. De uma certa maneira, esse foi o embrião que o levou a criar, no início de 1986, o primeiro DINAME/International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics, realizado em Nova Friburgo, RJ, como resultado de uma cooperação com a Alemanha, com o apoio

da Fundação Alexander von Humboldt e da Fundação Volkswagen. Além do encontro científico, esse DINAME trouxe a oportunidade da participação de vários engenheiros da indústria brasileira, que puderam participar de cursos ministrados por pesquisadores estrangeiros e brasileiros ou das plenárias, o que se tornou um atrativo desse evento em várias edições posteriores. As características essenciais dos DINAME, de regime de imersão, apresentações em sessão única e participação eventual de engenheiros e pesquisadores de empresas, permanecem até hoje. O simpósio já atingiu sua vigésima edição neste ano de 2025. No segundo DINAME, em Campos do Jordão, 1988, decidiu-se pela criação pioneira de um Comitê de Dinâmica dentro da ABCM, para divulgar a Dinâmica dos Sistemas Mecânicos no país e no Exterior e para cuidar dos DINAME que viriam. Hans foi Secretário desse Comitê da sua fundação até 2017. Além da garantia de frequência constante do evento que traz ao Brasil vários pesquisadores estrangeiros, o Comitê está hoje envolvido na preparação do terceiro EUROSINAME, que leva os brasileiros a mostrarem seus projetos de pesquisa na Europa.

No seu tempo de UNICAMP, Hans dirigiu o Centro de Tecnologia e participou de seis programas de Pós-Doutorado e de Pesquisador Visitante em importantes Universidades alemãs e francesas. Mas, como diz a magistral música de Mercedes Soza, 'Cambia, todo cambia'. Nos anos 1995-1996, Hans começou uma transição da terra roxa do Campus Universitário Zeferino Vaz da UNICAMP para areias mais marítimas. Na realidade, um retorno, recordando os velhos tempos da COPPE. Há quem diga que o processo de 'carioquização' tenha sido deflagrado por dois eventos: um, o corte da sua austera e venerável barba; outro, ter conhecido a sua esposa, a encantadora Profa. Djenane Pamplona, docente do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio e reconhecida pesquisadora em Teoria da Elasticidade aplicada a materiais biológicos.

A convivência com Djenane e alguns temas de pesquisa menos ortodoxos, proposto por seus alunos (e generosamente acolhidos por Hans), acabou por tirar um pouco da sua atenção dos rotores e não-linearidades aos temas relacionados à biomecânica do corpo humano. Um dos seus colaboradores na área de bioengenharia foi Ivo Pitanguy, provavelmente o cirurgião plástico mais célebre de ambos os hemisférios. Os autores deste artigo estão inclinados a considerar que Hans também se divertiu bastante com as pesquisas nesses temas, em continuidade com a sua abordagem lúdica dos sistemas mecânicos. Quem não se lembra dos brinquedos que trazia em aula (além da caixa misteriosa já mencionada), como o rotor magnético de plástico, o pêndulo invertido acionado por uma furadeira, o barquinho que só gira para um lado e o pica-pau de posto de gasolina?

Hoje em dia, pode-se dizer que a área de bioengenharia está razoavelmente consolidada dentro da comunidade dos engenheiros mecânicos brasileiros, com congresso próprio, Comitê Técnico da ABCM, etc. Sua criação, no COBEM de São Paulo em 2003, contou com o entusiástico apoio de Hans. Cabe lembrar que, em meados dos anos 1990, podia-se contar, com os dedos de uma só mão, os poucos Engenheiros Mecânicos dedicados a essa área. Novamente, Hans, *volens aut nolens*, ajudou a nuclear mais uma área no horizonte das Ciências Mecânicas no Brasil.

Sua ida para a PUC-Rio foi mais não-linear do que se poderia pensar. Na realidade, Engenharia Mecânica da COPPE tentou trazer de volta a casa o filho pródigo, para ocupar uma vaga de Professor Titular. Mas aconteceu um problema curioso: não conseguiram

compor uma banca com pessoas com perfil adequado, dentro da área, que não tivessem sido alunos ou colaboradores de Hans. Nesse vai-não-vai, a PUC-Rio foi mais ágil e conseguiu tirá-lo da paradisíaca e tropical Ilha do Fundão para as densas e escuras selvas da Gávea.

Devidamente instalado na PUC-Rio, Hans colocou imediatamente mãos à obra, e deu novo impulso para a inserção da dinâmica feita no Brasil no cenário internacional. Já em 1996, foi anfitrião e articulador de colaborações entre grupos europeus e brasileiros na área de dinâmica não-linear, incluindo visitas, orientações e experimentos conjuntos. É desse período a colaboração com Prof. Richard Markert (TU Darmstadt) e com o colega da PUC-Rio Prof. Rubens Sampaio. Durante a estada de Markert no Rio, em 1996, nasceram conexões que se mantiveram por décadas.

A rede expandiu-se a partir do Rio, incluindo a extensa cooperação com TU Wien: Horst Ecker relata que o primeiro contato com Weber o levou ao DINAME, e desencadeou mais de 30 anos de cooperação científica e visitas ao Brasil. Em paralelo, quando Hans adicionou Dinâmica Veicular ao seu portfólio, foram realizados diversos trabalhos com Georg Rill (OTH Regensburg) sobre controle de veículos. Nos anos seguintes, doutorandos de ambos os países passaram temporadas recíprocas de estudo, alternando entre Rio de Janeiro, Campinas e Darmstadt, consolidando um trânsito formativo de jovens pesquisadores e muitas trocas de ideias.

O Prof. Markert recorda a participação conjunta no projeto europeu VICONDA na área de controle

de vibrações e diagnóstico de máquinas. Esse projeto envolveu 10 universidades europeias e latino-americanas, com múltiplas publicações e intercâmbio de doutorandos. Nicolò Bachschmid (Politecnico di Milano) atribui a Hans a abertura de diversos canais de cooperação e intercâmbio discente com França, Alemanha e Itália.

Da base de operações carioca, continuou organizando ininterruptamente as diversas edições do DINAME. Em paralelo, trouxe ao Brasil duas edições do DYNCO - Workshop on Dynamics and Control (1996 e 2000), reunindo cientistas de alto nível de vários países, incluindo alguns recém-saídos da Cortina de Ferro. Hans continuou sua pesquisa em dinâmica não-linear e caos, vibro-impacto, dinâmica veicular e controle, sem abandonar os seus velhos amigos, os rotores. Na sua carta para indicação ao Prêmio Leonardo Goldstein, Markert enfatiza a que Hans combina formulações matemáticas precisas e abordagens experimentais, artes dominadas simultaneamente por poucos.

Hans, já octogenário, continua ativo nas suas orientações e publicações. Cruza o Atlântico com frequência para ficar mais perto do filho Paulo, sua esposa e as netinhas, em Viena. Dentro do cientista, convivem qualidades humanas, a grande generosidade com as pessoas, o abrir portas a quem lhe pede, e a facilidade de reunir gente em prol de bons objetivos comuns. Para compor este artigo, não foi necessário fundamentar sua trajetória nos números de orientados ou de artigos publicados ou de outros prêmios recebidos, todos bastante conspícuos. O homem Hans Ingo Weber está acima disso.



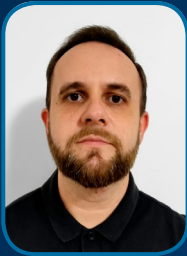
Hans e Djenane Pamplona

modelagem atmosférica multiescala aplicada ao planejamento energético renovável: avanços computacionais e perspectivas



a Davidson Moreira

a PPGMCTI/CPA-IA/SENAI CIMATEC | Salvador | Bahia
Programa de Pós Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial | Centro de Pesquisa Aplicada em Inteligência Artificial para a Indústria



b Filipe Milani

b CAE/EMBRAER | São José dos Campos
São Paulo | Computer-Aided Engineering

Resumo

A crescente demanda por fontes renováveis de energia e os impactos das mudanças climáticas impulsionam a necessidade de simulações atmosféricas cada vez mais precisas e em múltiplas escalas. Este trabalho apresenta uma análise da modelagem atmosférica em macroescala, mesoescala e microescala, destacando suas aplicações no planejamento energético e na mitigação de riscos climáticos. A macroescala é discutida a partir dos Modelos de Circulação Global (MCGs), fundamentais para projeções de longo prazo e definição de políticas públicas. A mesoescala é explorada com ênfase em modelos como o WRF (*Weather Research and Forecasting*) e o MPAS-A (*Model for Prediction Across Scales – Atmosphere*), capazes de representar fenômenos regionais como brisas, frentes frias e efeitos orográficos, essenciais para estimar o potencial de energia solar e eólica. Já a microescala é abordada sob a perspectiva do CFD (*Computational Fluid Dynamics*) e do WRF em configuração LES (*Large Eddy Simulation*), permitindo análises urbanas detalhadas, incluindo conforto térmico, dispersão de poluentes e microgeração distribuída. O artigo também enfatiza os desafios computacionais da resolução numérica das Equações de Navier–Stokes, demandando o uso de supercomputadores híbridos (CPU–GPU), paralelismo massivo (MPI/OpenMP), técnicas de refinamento adaptativo e integração com Inteligência Artificial (IA), incluindo PINNs (*Physics-Informed Neural Networks*). Essa convergência entre HPC (*High Performance Computing*) e IA aponta para um novo paradigma na modelagem atmosférica, capaz de reduzir custos computacionais, acelerar previsões e ampliar a assimilação de dados observacionais. Os resultados teóricos e conceituais apresentados demonstram que a integração entre ciências atmosféricas, computação de alto desempenho e inteligência artificial constitui a base para a expansão sustentável da ma-

triz energética, especialmente nas áreas de energia solar e eólica, consolidando a modelagem multiescala como instrumento estratégico para o futuro energético e climático.

1. Introdução

As alterações climáticas globais e a crescente demanda por energia sustentável impulsionaram o desenvolvimento de ferramentas computacionais para previsão climática e dimensionamento de recursos renováveis. Neste contexto, as Equações de Navier-Stokes (ENS) são a base matemática para a simulação da atmosfera, permitindo estimativas sobre disponibilidade solar, ventos, pluviosidade e outras variáveis críticas, avaliando assim a circulação do ar, transporte de calor, umidade e interações com a superfície terrestre. Desta forma, estas equações fornecem o quadro físico para entender e prever o comportamento do ar, o que é essencial para os modelos meteorológicos modernos. Embora sejam matematicamente complexas, a sua aplicação através de métodos computacionais permite simular e prever os fenômenos atmosféricos que afetam o dia-a-dia da população. As ENS podem ser definidas como um conjunto de equações diferenciais parciais que descrevem o fluxo de fluidos, derivadas considerando os balanços de massa, momento e energia em um elemento fluido, tendo como origem a segunda lei de Newton (Łukaszewicz e Kalita, 2016). No contexto da Meteorologia, a previsão numérica do tempo (horas ou dias) e do clima (anos, décadas) é um problema de estado inicial da atmosfera e uma das principais ferramentas meteorológicas empregadas para prever as condições atmosféricas para vários setores da sociedade moderna, como indústrias, energia renovável, defesa civil e qualidade do ar. Inicialmente, os modelos atmosféricos foram desenvolvidos para simular a atmosfera em escala global, mas com os avanços no poder computacional,

o uso dessas ferramentas em escalas regionais ou locais tornou-se possível.

Os Modelos de Circulação Global (MCGs) são ferramentas primárias quando se trata de avaliar mudanças climáticas (IPCC, 2023). No entanto, devido à sua simulação do clima em escala global, eles têm demandas computacionais muito altas e não são capazes de descrever com precisão as variáveis climáticas em escala local. Assim, modelos numéricos capazes de identificar eventos meteorológicos e climatológicos com alta resolução espacial e confiabilidade são de grande importância. Nesse contexto, a modelagem atmosférica em mesoescala tem sido amplamente utilizada para simular eventos em alta resolução espacial e temporal, com ênfase no modelo WRF (*Weather Research and Forecasting*) e, mais recentemente, no modelo MPAS-A (*Model for Prediction Across Scales – Atmosphere*). Logicamente existem outros modelos, mas o WRF é o mais usado ao redor do mundo para pesquisa e previsão em tempo real. Embora tanto o WRF quanto o MPAS-A compartilhem semelhanças em sua formulação da dinâmica atmosférica e parametrizações físicas, as diferenças mais significativas residem em como cada modelo descreve espacialmente o sistema terrestre e a atmosfera (Shin et al., 2025). O modelo WRF utiliza uma grade quadrilateral (método das diferenças finitas), o que pode apresentar problemas nos limites dos domínios, levando a descontinuidades — especialmente em regiões com topografia complexa. Uma estratégia comum para mitigar esses problemas envolve o aumento da resolução espacial do modelo, o que requer maior poder computacional, ou a adoção de técnicas avançadas, como o LES (*Large Eddy Simulation*), que pode ser usada para capturar fenômenos turbulentos com mais precisão (Skamarock e Klemp, 2008). Por outro lado, o modelo MPAS-A emprega uma malha não estruturada de Voronoi (formato hexagonal com células em volumes finitos), formada por polígonos congruentes que evitam lacunas entre as células e permitem variação dinâmica na resolução espacial (Skamarock et al., 2012). Esta distinção pode ser visualizada na Figura 1.

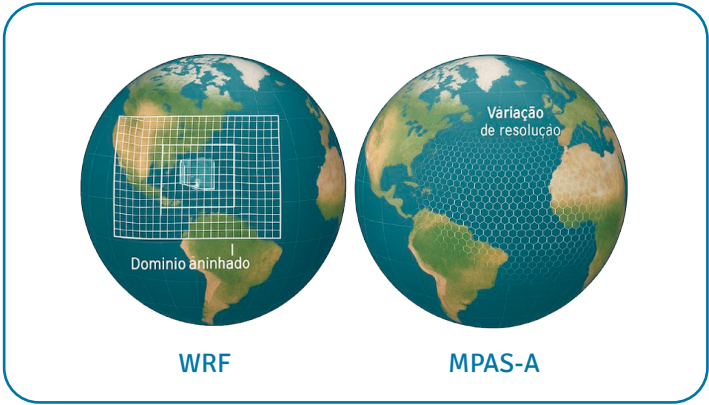


Figura 1 > Grade computacional do WRF e MPAS-A.

Esse tipo de malha é semelhante ao usado em modelos de microescala que empregam grades não estruturadas e resolução espacial variável. Tal abordagem permite a captura de detalhes mais finos e melhora a representação espacial de fenômenos atmosféricos simulados. É importante notar que o uso de configurações de alta resolução do modelo MPAS-A enfrenta limitações (a malha mais fina disponível atualmente é de 3 km), pois sua demanda computacional é alta, tornando-a particularmente desafiadora para simulações de longo prazo (clima). Logo, o refinamento da malha influencia diretamente a escala de representação dos fenômenos simulados, apresentando diferentes escalas de simulação: Macroescala, Mesoescala e Microescala, de acordo com a Figura 2.

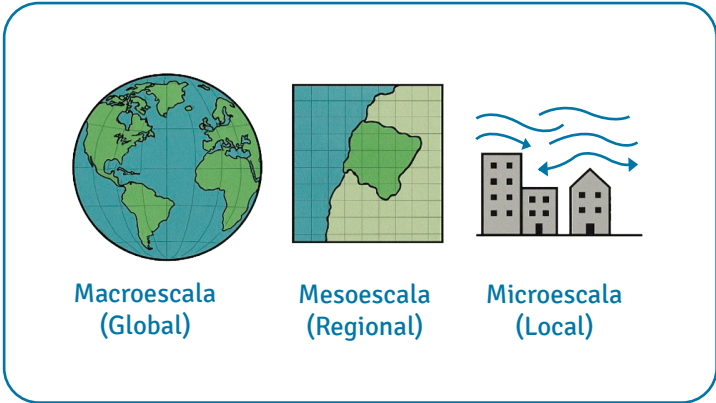


Figura 2 > Escalas de simulação.

2. Escalas de simulação

2.1 Macroescala (Global)

Na macroescala, os MCGs representam a forma mais abrangente e integrada de se compreender o sistema climático terrestre. Esses modelos são estruturados a partir de princípios fundamentais da física, particularmente as equações da dinâmica dos fluidos geofísicos e da termodinâmica, que descrevem a circulação atmosférica e oceânica em escalas planetárias. Em termos de resolução, situam-se usualmente na faixa de 100 a 300 km de grade horizontal, permitindo capturar tendências globais ao longo de períodos que variam de décadas a séculos. Assim, sua temporalidade estende-se em escalas de horas a dias para integração numérica, mas com resultados analisados em horizontes seculares.

A principal virtude dessa abordagem é possibilitar a análise de mudanças climáticas de longo prazo, sobretudo aquelas relacionadas à emissão de gases de efeito estufa e seus impactos no balanço radiativo da Terra. O CO₂, o metano e outros poluentes antropogênicos modificam a quantidade de energia absorvida e reemitida pelo planeta, e os MCGs oferecem projeções de como tais alterações repercutem em fenômenos como o aumento da temperatura média global, a intensificação de eventos extremos e a modificação de padrões de circulação atmosférica, como o ENSO (*El Niño-Southern Oscillation*) e a NAO (*North Atlantic Oscillation*).

Do ponto de vista aplicado, esses modelos são fundamentais para o planejamento de políticas públicas globais. Acordos internacionais, como o Protocolo de Quioto e o Acordo de Paris, utilizam resultados oriundos de MCGs para balizar metas de redução de emissões e estratégias de adaptação climática. No campo da engenharia, fornecem insumos cruciais para a concepção de infraestruturas resilientes, como sistemas de transporte, hidrelétricas, represas e redes de energia, que precisam ser projetadas considerando cenários futuros de disponibilidade hídrica, elevação do nível do mar e variabilidade climática.

Além disso, os MCGs são instrumentos valiosos para a pesquisa científica interdisciplinar, integrando dados de ciências atmosféricas, oceanografia, glaciologia e até mesmo biogeoquímica. Por meio deles, é possível investigar questões complexas, como a resposta das calotas polares ao aquecimento global, o impacto das mudanças climáticas sobre a biodiversidade ou a alteração dos ciclos do carbono e do nitrogênio.

Portanto, a macroescala constitui a base do entendimento sistêmico da Terra, fornecendo o pano de fundo necessário para análises mais refinadas em escalas regionais e locais. É nesse nível que a ciência busca responder às grandes questões sobre a habitabilidade futura do planeta e sobre como a humanidade pode mitigar e se adaptar a transformações climáticas profundas.

2.2 Mesoescala (Regional)

A mesoescala representa uma ponte conceitual e operacional entre os modelos globais e os estudos locais de microescala. Trata-se de um domínio de análise que tipicamente abarca resoluções espaciais entre 1 km e 25 km, permitindo capturar fenômenos atmosféricos e climáticos que escapam à capacidade dos MCGs, mas que ainda são de relevância regional. O modelo WRF é um dos mais notórios nesse campo, amplamente utilizado tanto em pesquisas acadêmicas quanto em aplicações operacionais.

Na mesoescala, tornam-se evidentes processos como circulações de brisa marítima e terrestre, interações entre cadeias montanhosas e massas de ar, além da propagação de frentes frias e de sistemas convectivos de mesoescala, responsáveis por episódios de tempestades intensas. Esse nível de detalhe é fundamental para compreender, por exemplo, o regime sazonal de ventos em regiões litorâneas, informação decisiva para a implantação de parques eólicos. Da mesma forma, estimativas de irradiância solar ao longo do ano em escala regional constituem insumo

essencial para o planejamento de usinas fotovoltaicas, garantindo melhor aproveitamento do potencial energético.

Do ponto de vista metodológico, os modelos de mesoescala frequentemente utilizam técnicas de *downscaling* dinâmico, em que as condições de contorno fornecidas por MCGs alimentam as simulações regionais. Essa abordagem confere maior realismo aos cenários locais, ao mesmo tempo em que reduz incertezas associadas à baixa resolução espacial dos modelos globais. Além disso, a mesoescala é o espaço ideal para a incorporação de dados observacionais locais – provenientes de estações meteorológicas, radares e sensores remotos – que refinam a calibração e validação dos modelos.

Na engenharia, os resultados obtidos em mesoescala têm aplicações variadas. No setor elétrico, subsidiam projeções sobre a variabilidade interanual de recursos renováveis, contribuindo para a integração de fontes limpas à matriz energética. Na agricultura, permitem identificar zonas de maior ou menor risco de estiagem, orientando estratégias de irrigação e uso da terra. Na gestão urbana e de transportes, oferecem previsões mais precisas sobre episódios de chuvas intensas e enchentes, fundamentais para políticas de redução de desastres naturais.

Assim, a mesoescala não se limita a ser uma escala intermediária, mas sim um elo vital entre o global e o local. É nela que as ciências atmosféricas traduzem as projeções abstratas em informações tangíveis, aplicáveis diretamente à realidade de regiões específicas, conciliando rigor científico com utilidade prática.

2.3 Microescala (Local)

A microescala constitui o nível mais detalhado de simulação, com resoluções horizontais inferiores a 1 km, chegando à ordem de centenas de metros ou até mesmo centímetros em aplicações específicas. Essa abordagem é empregada para investigar fenômenos

ambientais e urbanos em pequena escala, onde a interação entre o escoamento de ar, a geometria do relevo e as estruturas construídas exerce papel determinante.

Além dos tradicionais modelos de CFD (*Computational Fluid Dynamics*) – como o OpenFOAM (*Open Field Operation And Manipulation*) e o ANSYS Fluent, que resolvem diretamente as ENS em malhas refinadas – a comunidade científica tem recorrido ao WRF configurado em resolução de microescala, atingindo grades de 1 km ou até centenas de metros. Nessa configuração, é comum empregar o método LES, que resolve explicitamente os maiores vórtices da turbulência atmosférica, enquanto parametriza apenas os menores. Essa técnica confere ao WRF capacidade de capturar fenômenos complexos como convecção em pequena escala, interações turbulentas em áreas urbanas densas, brisas costeiras de alta frequência e a formação de redemoinhos em relevos acidentados. Em ambientes urbanos, a microescala possibilita estudos detalhados de conforto térmico, ventilação natural e sombreamento solar em edificações e espaços públicos. Modelos LES acoplados ao WRF e a softwares CFD permitem avaliar a influência de arranjos arquitetônicos na ventilação cruzada, o efeito de árvores e vegetação na mitigação de ilhas de calor urbano e a dispersão de poluentes em corredores de tráfego.

Do ponto de vista energético, as simulações em microescala são cruciais para o dimensionamento ótimo de sistemas de microgeração distribuída, incluindo painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas de pequeno porte. A consideração de fatores como sombreamento dinâmico, refletância de superfícies e efeitos locais de turbulência atmosférica aumenta significativamente a confiabilidade das estimativas de produção.

Na engenharia de infraestrutura, esse nível de simulação fornece insumos para projetos de aeroportos, túneis, pontes e arranha-céus, onde a ação do vento influencia não apenas o conforto, mas também a segurança estrutural. Em regiões costeiras, análises de

microescala auxiliam no posicionamento de empreendimentos turísticos, portuários e de energia renovável, considerando as circulações locais e os regimes de brisa marítima e terrestre.

Por fim, a microescala é amplamente utilizada em estudos ambientais, como a modelagem da dispersão de poluentes atmosféricos, emissões veiculares e impactos acústicos, temas diretamente ligados à saúde pública (Moreira e Vilhena, 2009). Embora demandem elevada capacidade computacional – muitas vezes envolvendo supercomputadores ou clusters de HPC (*High Performance Computing*) – tais simulações fornecem informações de alto valor estratégico, traduzindo a complexidade climática em soluções aplicáveis ao cotidiano das cidades e comunidades.

3. Downscaling dinâmico e estatístico

O método de *downscaling* é uma técnica tradicional para simular ou prever informações ambientais (por exemplo, geográficas, atmosféricas, oceânicas, etc.). Refere-se a métodos para desenvolver informações regionais ou locais a partir de informações de resolução mais grosseira, tipicamente geradas por MCGs. Existem diversas metodologias disponíveis para o *downscaling* de dados climáticos, que comumente utilizam técnicas de *downscaling* dinâmico e estatístico (Zhang et al, 2020). A abordagem estatística vincula as saídas dos modelos globais às medições locais, determinando a associação entre a variável meteorológica de escala local e a de larga escala. Por outro lado, a abordagem dinâmica busca resolver explicitamente a física envolvida usando modelos de mesoescala, inicializando a partir das condições iniciais e de contorno fornecidas por modelos de larga escala, como os modelos de circulação atmosférica global (ver Figura 3). Em comparação com o *downscaling* dinâmico, o estatístico é mais rápido de implementar e requer menos poder computacional. Por outro lado, o dinâmico é apreciado por sua capacidade de representar topografia, processos climáticos dinâmicos e fatores semelhantes.

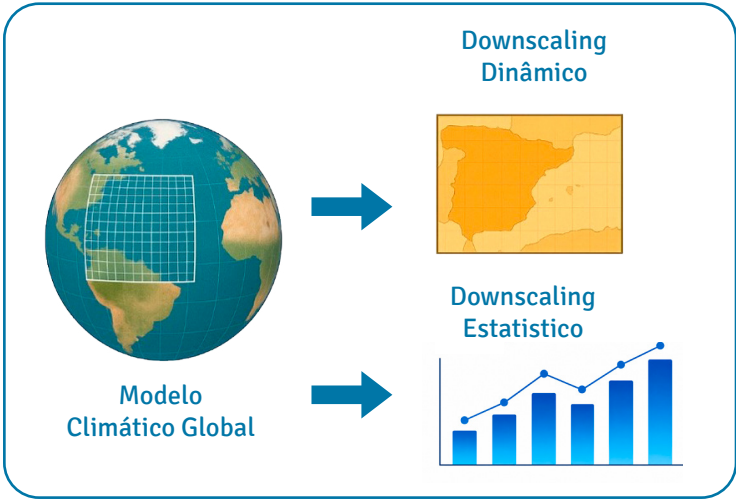


Figura 3 > Esquema ilustrativo do downscaling.

Portanto, o *downscaling* é um conjunto de técnicas para transformar dados de grande escala (global) em informações de maior resolução (regional e local), permitindo uma melhor compreensão de impactos meteorológicos e climáticos em áreas menores. Isso é necessário porque os MCGs operam com resoluções espaciais muito grandes, que não capturam as particularidades de fenômenos locais. O *downscaling* dinâmico utiliza modelos regionais de alta resolução, como o WRF, para simular de forma mais precisa os processos atmosféricos em uma área específica, ou seja, um modelo global fornece as condições de contorno (laterais) e iniciais para o modelo regional, que então resolve as equações físicas da atmosfera em uma grade espacial muito mais fina. Tem a vantagem de gerar uma representação fisicamente consistente da atmosfera em alta resolução, mas requer grande capacidade computacional e tempo de processamento. O *downscaling* estatístico estabelece relações estatísticas entre as variáveis de grande escala dos MCGs e as observações históricas locais, ou seja, a partir de dados históricos, desenvolve-se uma relação estatística (usando regressão, redes neurais, entre outros) que é então aplicada às projeções futuras dos MCGs para simular as condições locais. Tem a vantagem de ser menos intensivo em termos computacionais, mas a qualidade depende muito dos dados históricos observados, e a técnica assume que a relação estatística observada no passado se manterá no futuro.

Em termos práticos, o *downscaling* é essencial em diversas áreas, incluindo avaliar o impacto das mudanças climáticas em bacias hidrográficas e reservas de água, estudar como as mudanças no clima afetam a produção de safras em diferentes regiões, prever efeitos climáticos locais em cidades para adaptar a infraestrutura, analisar os impactos microclimáticos na biodiversidade e na saúde humana e, conforme destacado neste trabalho, estimar potencial energético em termos de energias renováveis.

4. Aplicabilidade em energias renováveis

4.1 Energia solar

A energia solar constitui uma das fontes mais promissoras na transição energética global, dado seu caráter inesgotável, baixo impacto ambiental e crescente competitividade econômica. Contudo, a previsão e o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos dependem fortemente da capacidade de estimar com precisão a radiação solar direta, difusa e refletida. Modelos numéricos em meso e microescala desempenham papel decisivo nessa tarefa, pois capturam fatores como nebulosidade, presença de aerossóis, efeitos orográficos e padrões locais de sombreamento, variáveis que os modelos globais não conseguem representar de maneira satisfatória.

No contexto prático, modelos como o WRF-Solar têm sido amplamente utilizados para realizar previsões horárias e diárias de irradiância solar em diferentes regiões, permitindo antecipar a variabilidade intrínseca da geração fotovoltaica (Jimenez et al., 2016). Esse tipo de simulação considera não apenas a cobertura de nuvens, mas também a dinâmica atmosférica em camadas inferiores, onde microvariações podem gerar impactos significativos na disponibilidade de radiação em escala local. Ao mesmo tempo, a modelagem em microescala, muitas vezes apoiada por ferramentas de CFD, é capaz de detalhar efeitos de albedo urbano, reflexões múltiplas entre superfícies construídas e até mesmo o aquecimento dos módulos fotovoltaicos, fator crítico que reduz a eficiência energética.

Na engenharia de sistemas solares, esses modelos fornecem subsídios para decisões de posicionamento, inclinação e orientação de painéis, maximizando o aproveitamento energético em função do regime de radiação característico de cada localidade. Além disso, permitem avaliar a complementaridade temporal e espacial da energia solar com outras fontes, como a eólica e a hidrelétrica, contribuindo para uma matriz mais estável e diversificada.

Outro aspecto relevante é a utilização de técnicas de *downscaling* dinâmico e estatístico para adaptar projeções globais às condições locais de insolação. Isso é particularmente importante em países de grande extensão territorial, como o Brasil, onde as diferenças regionais na cobertura de nuvens e na concentração de aerossóis podem modificar significativamente a disponibilidade energética. Complementarmente, dados de satélite, como os do programa Copernicus ou do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), podem ser integrados aos modelos atmosféricos, aumentando a confiabilidade das previsões.

Portanto, a aplicabilidade da modelagem numérica em energia solar transcende a simples previsão meteorológica: trata-se de um instrumento estratégico para o planejamento de políticas públicas, a redução de riscos financeiros em projetos de grande porte e a otimização da operação de usinas fotovoltaicas em tempo real. Ao conjugar ciências atmosféricas e engenharia energética, cria-se um cenário em que a previsibilidade dos recursos solares se torna pilar fundamental para a expansão sustentável da matriz elétrica.

4.2 Energia eólica

A energia eólica, consolidada como uma das principais fontes renováveis do atual século, apresenta elevada sensibilidade às condições atmosféricas locais e regionais. A viabilidade econômica de um parque eólico depende de forma decisiva da caracterização precisa do regime de ventos, em especial da sua intensidade, direção predominante, sazonalidade e variabilidade interanual. Nesse sentido, os modelos atmosféricos

em mesoescala, como o WRF e o MPAS-A, são amplamente empregados para estimar o potencial eólico em horizontes temporais de curto a longo prazo, servindo tanto para o planejamento inicial quanto para a operação contínua de usinas.

Em escalas regionais (resolução horizontal de 1 a 25 km), tais modelos captam com maior realismo os efeitos de cadeias montanhosas, vales, planaltos e áreas costeiras, elementos que modulam de forma significativa a intensidade dos ventos. Por exemplo, circulações de brisa marítima podem intensificar o potencial eólico em zonas costeiras no período da tarde, enquanto efeitos orográficos podem gerar corredores de vento em regiões de relevo acidentado. A tradução desses fenômenos em mapas de potencial eólico é essencial para orientar a escolha do local de instalação de turbinas, a disposição espacial das torres e a definição da altura do rotor.

No nível da microescala (resoluções < 1 km), a modelagem por CFD permite avaliar interações detalhadas entre as turbinas e o ambiente imediato. Isso inclui o estudo de sombras aerodinâmicas (*wake effect*), turbulências geradas pelo relevo local e a influência de edificações ou vegetação próxima. Esses fatores impactam diretamente a eficiência de conversão energética e a vida útil dos aerogeradores, além de influenciar questões acústicas e ambientais relacionadas às comunidades do entorno.

Do ponto de vista operacional, a previsão de curto prazo de ventos com base em simulações numéricas é fundamental para o despacho energético em sistemas interligados, permitindo que operadores do setor elétrico integrem a produção eólica de forma estável e confiável à matriz. Ademais, estudos recentes têm mostrado que a complementaridade entre regimes de vento e regimes de irradiância solar pode reduzir significativamente a variabilidade na geração renovável, fortalecendo estratégias de hibridização de usinas (Pedruzzi et al., 2023).

Assim, a aplicabilidade dos modelos atmosféricos em energia eólica não se restringe apenas ao mapeamento de potencial, mas se estende a todas as etapas do ciclo de vida de um empreendimento: do planejamento e financiamento, passando pela implantação e operação, até a otimização contínua e análise de impacto ambiental. Nesse sentido, a modelagem em meso e microescala se configura como ferramenta indispensável para consolidar a energia eólica como protagonista na transição energética global, especialmente em regiões de grande diversidade geográfica e climática, como a América do Sul.

4.3 Exemplo comparativo entre o modelo WRF e MPAS-A

A Figura 4 mostra uma simulação comparativa do perfil vertical de temperatura (09/10/2024, às 14h UTC) entre o modelo WRF (versão 4.5.2) e MPAS-A (versão 8.1), usando dados geográficos do sistema MODIS, com condições iniciais e de contorno extraídas da reanálise ERA5 (*Fifth Generation Reanalysis*), disponibilizada pelo ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*). Esta reanálise possui uma resolução espacial de 0,25° (aproximadamente 27 km), resolução temporal a cada 6 horas e discretização vertical em 48 níveis de pressão. A região horizontal tem aproximadamente 1700 km e o relevo representa a região serrana entre SP e MG (Serra da Mantiqueira/Serra do Mar).

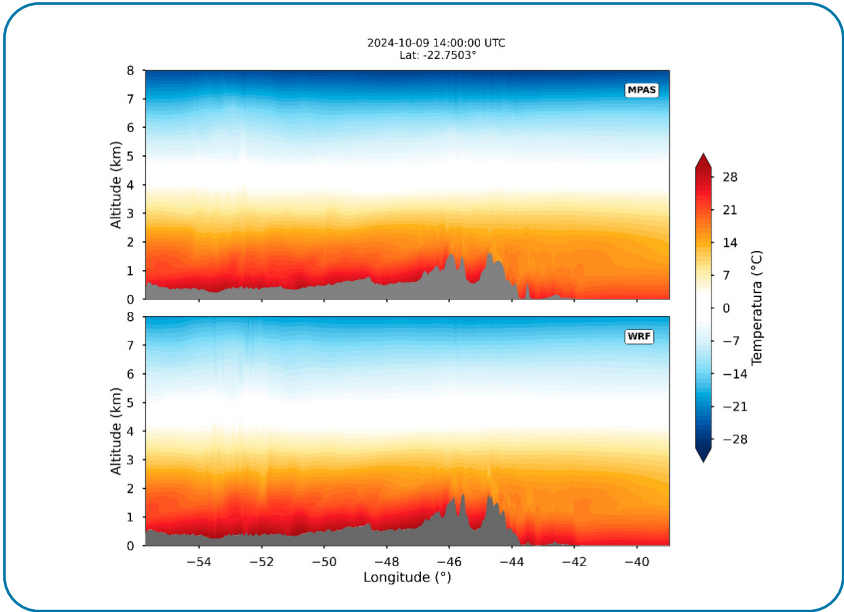


Figura 4 > Perfil vetical de temperatura para ambos os modelos.

Em uma análise simplificada, as diferenças nos desempenhos dos modelos podem estar associadas às particularidades de suas arquiteturas numéricas e à forma como cada um representa processos físicos, especialmente situações de forte convecção e interação com a topografia. A configuração topográfica pode interferir no desempenho das parametrizações físicas dos modelos, afetando, por exemplo, o cálculo da troca de momentum, a representação da camada limite e a simulação da turbulência em superfície.

5. Desafios computacionais e avanços tecnológicos

A solução numérica das ENS em modelos atmosféricos representa um dos maiores desafios da ciência computacional moderna. Por serem equações diferenciais parciais não lineares e fortemente acopladas, sua discretização e integração temporal exigem métodos numéricos avançados – como volumes finitos, elementos finitos e diferenças finitas – que, por sua vez, resultam em sistemas de grande escala, com milhões ou até bilhões de variáveis de estado. Esse caráter massivamente paralelo demanda arquiteturas de alto desempenho para tornar as simulações viáveis em prazos compatíveis com as necessidades científicas e operacionais.

Nesse cenário, o uso de supercomputadores de classe petascale e exascale tornou-se indispensável. Arquiteturas híbridas compostas por CPUs (Central Processing Unit) multicore e GPUs (Graphics Processing Unit) de última geração têm se consolidado como padrão, permitindo a execução de modelos atmosféricos com resoluções cada vez mais finas. A aceleração em GPUs, apoiada por frameworks como CUDA (Compute Unified Device Architecture), HIP (Heterogeneous-computing Interface for Portability) e SYCL (System-wide Compute Language), oferece ganhos de performance significativos, sobretudo em rotinas intensivas de álgebra linear e transformadas espectrais. Além disso, o uso

de bibliotecas paralelas como MPI (Message Passing Interface) e OpenMP (Open Multi-Processing) garante escalabilidade em milhares de nós computacionais, permitindo que modelos como o WRF e o MPAS-A sejam executados em malhas globais com resolução de poucos quilômetros.

O modelo MPAS-A, em particular, destaca-se por sua formulação em malhas de Voronoi e volumes finitos, o que o torna mais adequado a arquiteturas modernas. Ao contrário do WRF, cuja grade estruturada apresenta limitações em regiões de fronteira, o MPAS-A permite variação dinâmica de resolução espacial, integrando domínios globais e regionais sem necessidade de aninhamento explícito. Essa característica, combinada à otimização para execução em GPUs, torna o MPAS-A uma das principais apostas para simulações atmosféricas na era exascale.

Outro avanço relevante é o uso de refinamento de malha adaptativo (AMR – Adaptive Mesh Refinement), técnica que concentra maior resolução espacial em regiões de interesse (por exemplo, frentes de tempestades, ciclones tropicais ou áreas urbanas), otimizando o uso de recursos computacionais. Isso exige algoritmos sofisticados de balanceamento de carga e comunicação eficiente entre processos, especialmente em clusters com centenas de milhares de núcleos.

Paralelamente, observa-se a crescente integração da Inteligência Artificial (IA) ao ecossistema de modelagem climática. Redes neurais convolucionais, transformers e modelos generativos têm sido incorporados como emuladores de parametrizações físicas – acelerando cálculos de processos complexos, como convecção de nuvens, radiação ou microfísica atmosférica – ou ainda como ferramentas de correção de vieses estatísticos em previsões de longo prazo. Frameworks como DeepMind GraphCast e NVIDIA FourCastNet já demonstram que abordagens

híbridas, combinando simulação física com aprendizado profundo, podem alcançar previsões mais rápidas e precisas, reduzindo custos computacionais em ordens de magnitude.

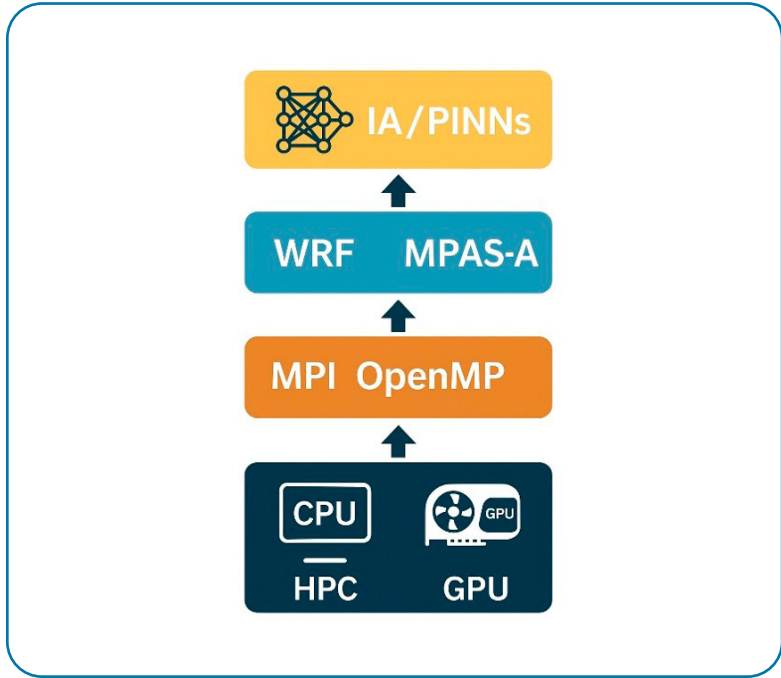
A modelagem atmosférica, tradicionalmente baseada na resolução numérica das ENS em supercomputadores, vem sendo complementada por novas abordagens de aprendizado de máquina com física-informada, como as PINNs (Physics-Informed Neural Networks). Enquanto os modelos climáticos convencionais utilizam discretizações de malha (diferenças finitas, volumes finitos ou elementos finitos) e demandam elevado custo computacional para capturar a dinâmica em múltiplas escalas, as PINNs incorporam diretamente as equações diferenciais parciais como restrições no processo de treinamento da rede neural. Dessa forma, é possível aproximar soluções atmosféricas de forma mais eficiente, conciliando dados observacionais e leis físicas

fundamentais. A integração entre a modelagem atmosférica e as PINNs abre caminho para redução de custos de simulação, aceleração de previsões em tempo quase real e maior capacidade de assimilação de dados heterogêneos, como séries temporais de satélites e estações meteorológicas, sem perder a consistência física. Essa sinergia tem potencial para transformar tanto a previsão de curto prazo quanto as projeções climáticas de longo prazo, oferecendo um novo paradigma híbrido entre HPC e IA (ver Figura 5).

Por fim, os desafios computacionais não se limitam apenas ao poder de processamento. Aspectos como eficiência energética, escalabilidade I/O (entrada e saída de dados), paralelismo heterogêneo e tolerância a falhas tornam-se críticos em ambientes exascale, onde o volume de dados pode ultrapassar petabytes por simulação. Nesse contexto, técnicas de checkpointing eficiente, compressão de dados e armazenamento distribuído são fundamentais para viabilizar a operação contínua de modelos atmosféricos em supercomputadores modernos.

Em suma, o avanço da modelagem atmosférica está intrinsecamente ligado ao progresso em HPC e IA. A combinação de algoritmos numéricos otimizados, arquiteturas heterogêneas de processamento e técnicas baseadas em IA não apenas expande os limites do que é possível simular, mas também redefine a forma como ciência e engenharia lidam com a incerteza climática, abrindo caminho para previsões mais precisas, rápidas e aplicáveis em tempo real.

Figura 5 > Estrutura computacional moderna para simulação atmosférica.



6. Conclusões e perspectivas

Este trabalho demonstrou a relevância da modelagem atmosférica multiescala (macro, meso e microescala) como ferramenta estratégica para compreender processos climáticos e otimizar o uso de fontes renováveis de energia. A aplicação das Equações de Navier–Stokes em diferentes resoluções mostrou-se fundamental para traduzir fenômenos globais em informações regionais e locais, permitindo tanto o mapeamento do potencial energético quanto a mitigação de riscos associados a extremos climáticos. Destacou-se que modelos como o WRF e o MPAS-A, aliados a técnicas de *downscaling* dinâmico e estatístico, constituem instrumentos robustos para o planejamento energético sustentável, em especial nas áreas de energia solar e eólica.

No campo da computação científica, evidenciou-se que o avanço em HPC é indissociável do progresso da modelagem atmosférica. O uso de arquiteturas híbridas com CPUs e GPUs, associado a paradigmas de paralelismo massivo e refinamento adaptativo de malha, tem ampliado a capacidade de simulação em resoluções cada vez mais detalhadas. Além disso, a crescente integração da IA, em particular das PINNs, desponta como alternativa disruptiva para acelerar previsões, reduzir custos e incorporar múltiplas fontes de dados observacionais com maior consistência física.

Como perspectivas, destacam-se:

- i) A consolidação de modelos híbridos HPC–IA, capazes de equilibrar eficiência computacional e fidelidade física;
- ii) O aprimoramento de técnicas de assimilação de dados multiescala, incorporando observações de satélites, radares meteorológicos e sensores urbanos;
- iii) A expansão de estudos de complementaridade energética entre fontes solar, eólica e hidrelétrica, visando maior estabilidade da matriz elétrica;
- iv) O desenvolvimento de modelos urbanos integrados, aplicando CFD e LES para projetar cidades resilientes, energeticamente eficientes e adaptadas a cenários climáticos extremos;

v) A viabilização de simulações em escala exascale, com ênfase em eficiência energética, tolerância a falhas e redução do consumo computacional.

Finalmente, salienta-se que a convergência entre ciências atmosféricas, HPC e IA não apenas redefine os limites da previsão climática, mas também fornece os alicerces para uma matriz energética mais resiliente e sustentável. O fortalecimento dessa integração será decisivo para enfrentar os desafios impostos pelas mudanças climáticas e garantir segurança energética nas próximas décadas.

Referências

IPCC, Climate Change: Synthesis Report, 2023. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee e J. Romero (eds.)]. Geneva, 184pp.

Jimenez, P.A., Hacker, J.P., Dudhia, J., Haupt, S.E., Ruiz-Arias, J.A., Gueymard, C.A., Thompson, G., Eidhammer, T., Deng, A., 2016. WRF-Solar: Description and Clear-Sky Assessment of an Augmented NWP Model for Solar Power Prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society* 97, 1249–1264,

Łukaszewicz, G., Kalita, P., 2016. Navier–Stokes Equations: An Introduction with Applications. Springer, 390pp.

Moreira, D.M., Vilhena, M.T., 2009. Air Pollution and Turbulence: Modeling and Applications. Boca Raton: CRC Press, 356pp.

Pedruzzi, R., Silva, A.R., Santos, T.S., Araujo, A.C., Weyll, A.L.C., Kitagawa, Y.K.L., Ramos, D.N.S., Souza, F.M., Narciso, M.V.A., Araujo, M.L.S., Medrado, R.C., Camilo Junior, W.O., Neto, A.T., Carvalho, M., Bezerra, W.R., Costa, T.T., Melo Filho, J.B., Santos, A.A.B., Moreira, D.M., 2023. Review of Mapping Analysis and Complementarity Between Solar and Wind Energy Sources. *Energy* 283C, 129045.

Shin, U., Park, S., Skamarock, W., Lee, G., Lim, K., Joh, M., 2025. Comparison of Numerical Characteristics in the Regional Model for Prediction across Scales (MPAS) and Weather Research and Forecasting (WRF) Models Using Low-Level Wind Analysis du-

ring Heavy Snowfall Episodes over Complex Terrain. *Monthly Weather Review* 153, 471–490.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., 2008. A Time-split Nonhydrostatic Atmospheric Model for Weather Research and Forecasting Applications. *Journal of Computational Physics* 227, 7, 3465–3485.

Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Duda, M.G., Fowler, L.D., Park, S.-H., Ringler, T., 2012. A Multiscale Nonhydrostatic Atmospheric Model Using Centroidal Voronoi Tessellations and C-grid Staggering. *Monthly Weather Review* 140, 3090–3105.

Zhang, L., Xu, Y., Meng, C., Li, X., Liu, H., Wang, C., 2020. Comparison of Statistical and Dynamic Downscaling Techniques in Generating High-Resolution Temperatures in China from CMIP5 GCMs. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 59, 207–235.



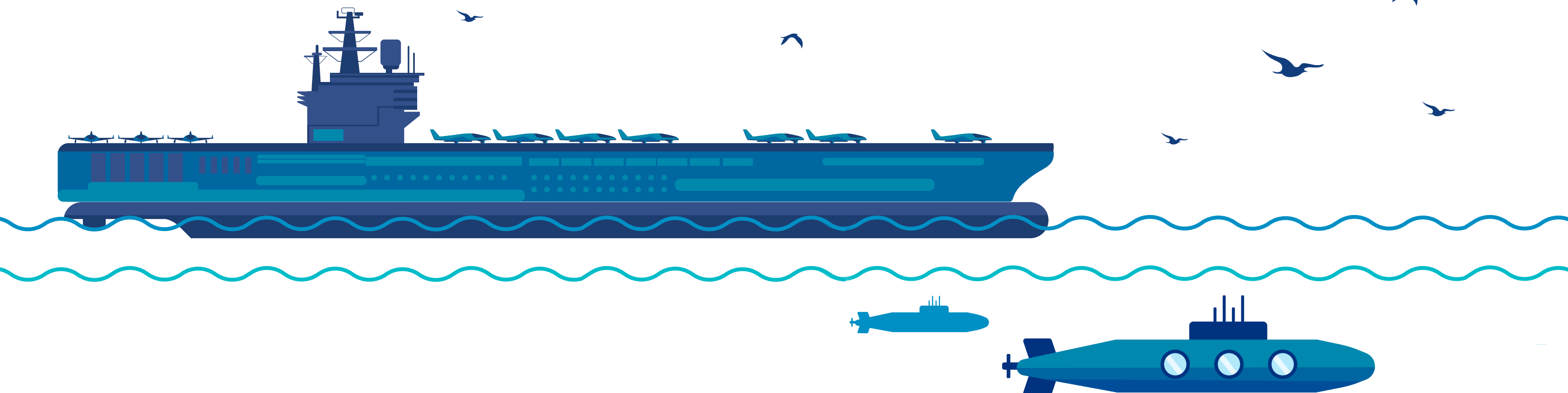
metamateriais e a disrupção na evolução do poder naval

Renato M. Cotta^{1,2} | Priscila Amara¹ | Mauricio da Silveira¹ | Carolina Cotta² | Kleber M. Lisboa³

¹Grupo de Tecnologia de Materiais e Química - Instituto de Pesquisas da Marinha > IPqM
Centro Tecnológico da Marinha no Rio de Janeiro > CTMRJ
Diretoria Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha - DGDNTM

²Laboratório de Nano e MicroFluidica e Microssistemas > LabMEMS
Engenharia Mecânica – POLI & COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro > UFRJ

³Laboratório de Ciências Térmicas - LATERMO, Mechanical Eng. Dept., TEM/PGMEC,
Universidade Federal Fluminense >UFF, Niterói, RJ, Brazil.
Email: cotta@mecanica.coppe.ufrj.br | renato.cotta@marinha.mil.br



1. Introdução

Metamateriais são materiais não existentes na natureza, projetados e fabricados com materiais convencionais, mas em arranjos e dimensões apropriadas para reproduzir determinados efeitos físicos desejados, ao resultarem em propriedades físicas efetivas incomuns, não possíveis de serem obtidos nas propriedades de materiais naturais. Um exemplo emblemático é a idéia da invisibilidade, que historicamente intrigou o homem, despertou sua imaginação e motivou diversas obras de ficção científica. Entretanto, na realidade, os materiais existentes na natureza não permitiriam que esse efeito ótico ou outros efeitos anômalos fossem reproduzidos. O conceito de metamaterial, ou seja, um material projetado para ter propriedades físicas artificiais, combinando materiais naturais em diferentes geometrias, arranjos e dimensões, só teve suas bases teóricas estabelecidas em 1967, a partir do trabalho do físico ucraniano Victor Georgievich Veselago (versão traduzida para inglês publicada em 1968 [1]), que verificou a hipótese de permissividade e permeabilidade simultaneamente negativas. Somente cerca de trinta anos mais tarde, em 1996 [2], o físico inglês Sir John Pendry e colaboradores demonstraram esse conceito experimentalmente. Mas foi somente no trabalho de 2006, em um artigo publicado na revista Science [3], “Controlling Electromagnetic Fields”, que Sir Pendry demonstrou como os campos eletromagnéticos podem ser redirecionados em torno de um objeto, tornando-

-o invisível em um dado comprimento de onda, assim introduzindo a teoria que seria conhecida como ótica transformacional. Hoje, as equações da chamada ótica transformacional formam a principal ferramenta de modelagem matemática para projeto de metamateriais em diferentes áreas físicas, mostrando como combinações de materiais naturais com propriedades bem conhecidas, graças a uma micro ou nanoestruturação adequada, podem desviar e controlar a propagação eletromagnética, acústica, do escoamento de fluidos ou do fluxo de calor. A partir desse trabalho houve uma grande concentração de esforços científicos e tecnológicos no desenvolvimento de modelagens, simulações, técnicas de fabricação e inovações envolvendo metamateriais em diversas aplicações. Tem crescido acentuadamente tanto os trabalhos de cunho mais científico, como as inovações em diferentes aplicações, em campos tão diversos quanto eletromagnetismo, ótica, acústica, piezoeletricidade, mecânica dos fluidos e transferência de calor. Uma busca recente no Google Scholar empregando o termo “metamaterials” resultou em cerca de 374.000 documentos (de 1967 até 15/10/2025), incluindo artigos em periódicos, congressos e patentes (e excluindo citações), com uma evolução anual mostrada na Figura 1 abaixo. Claramente, o tema sai de menos de 2.000 documentos por ano antes de 2006, chegando a mais de 20.000 documentos por ano em 2021, e crescendo continuamente até um máximo aparente em 2023, mas com tendência de retorno do crescimento em 2025.

Documents on Metamaterials
(Google Scholar 2000 - 2025*)

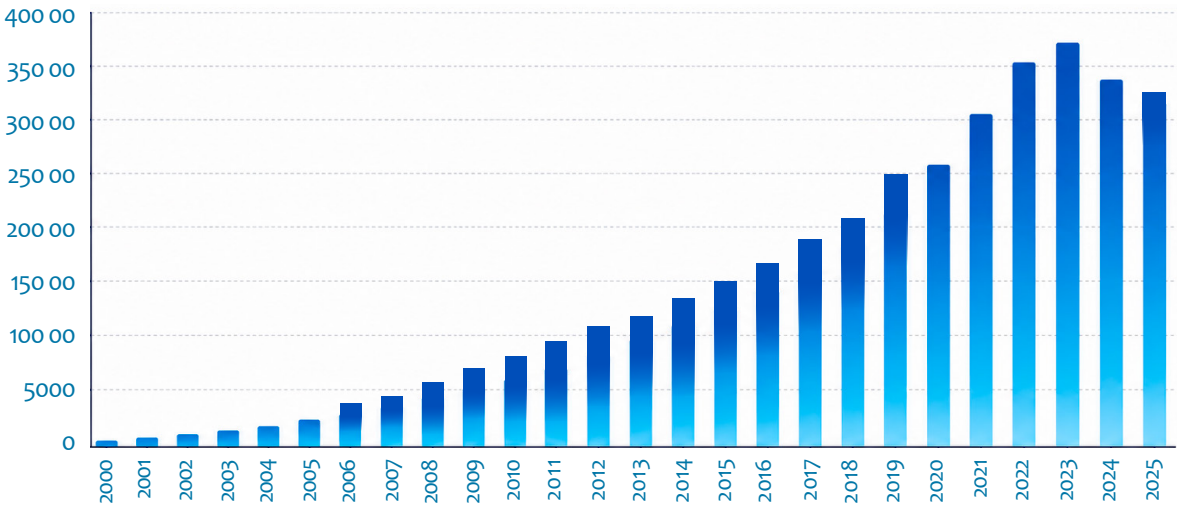


Figura 1 > Documentos (incluindo patentes) com o termo “metamaterials” encontrados pelo Google Scholar por ano, de 2000 a 2025* (em 2025 dados parciais até 15/10/2025).

Focando apenas no biênio 2024-2025, são mais de 3420 artigos com a palavra “metamaterial” apenas no título, segundo o Google Scholar, dos quais 224 são classificados como artigos de revisão. A revisão de todo esse material seria um trabalho muito árduo, mas podemos citar alguns artigos que apresentam sínteses recentes e abrangentes [4-12].

2. Inovação e mercado

Os metamateriais podem ser definidos como materiais funcionais de alta performance, que conferem uma grande liberdade de projeto com inúmeras oportunidades de inovação. Nos últimos anos tivemos grandes descobertas nesse campo, que agora está atingindo um ponto de inflexão quando essa compreensão acumulada e as ferramentas de projeto e fabricação disponíveis começam a oferecer soluções efetivamente. As aplicações de metamateriais representarão um mercado multibilionário nas próximas décadas com avanços de produtos em radar e lidar para veículos autônomos, antenas de telecomunicações, redes 5G, revestimentos diversos, amortecimento de vibração, carregamento sem fio de baterias, prevenção de ruído e muito mais. Existem já mais de 30 desenvolvedores de produtos de metamateriais em todo o mundo, que receberam acima de US\$ 300 milhões em inves-

timentos recentes, à medida que o mercado de metamateriais se acelera, após os anos iniciais de desenvolvimento mais lento. Alguns dos principais atores neste mercado promissor são a Metamaterial Technologies Inc., JEM Engineering LLC, Kymeta Corporation, Microwave Measurement Systems LLC, Applied EM, Inc., Teraview, Alps Electric Co., Ltd, PARC, Echodyne, Phoebus optoelectronics, entre outras. Um relatório recente [13] prevê o mercado de metamateriais em ~ US\$ 1,1 bilhão em 2025, crescendo para ~ US\$ 6,2 bilhões em 2035. As áreas de maior interesse são mobilidade, comunicações, imageamento, energia, meio ambiente, saúde, aeroespacial e defesa. A projeção é que o segmento aeroespacial e de defesa detenha 26,3% da receita do mercado em 2025, Figura 2, consolidando-se como a principal indústria de uso final. O crescimento é impulsionado pela demanda por materiais leves, de alta resistência e multifuncionais que aprimoram o desempenho e a eficiência de sistemas em aeronaves, satélites e plataformas de defesa. A projeção em [13] é que o segmento de metamateriais eletromagnéticos detenha 32,2% da receita do mercado em 2025, consolidando-se como o principal tipo de material. Seu crescimento é impulsionado pela capacidade de controlar e manipular ondas eletromagnéticas, o que é fundamental para aprimorar o desempenho de antenas, comunicações sem fio e aplicações de radar.

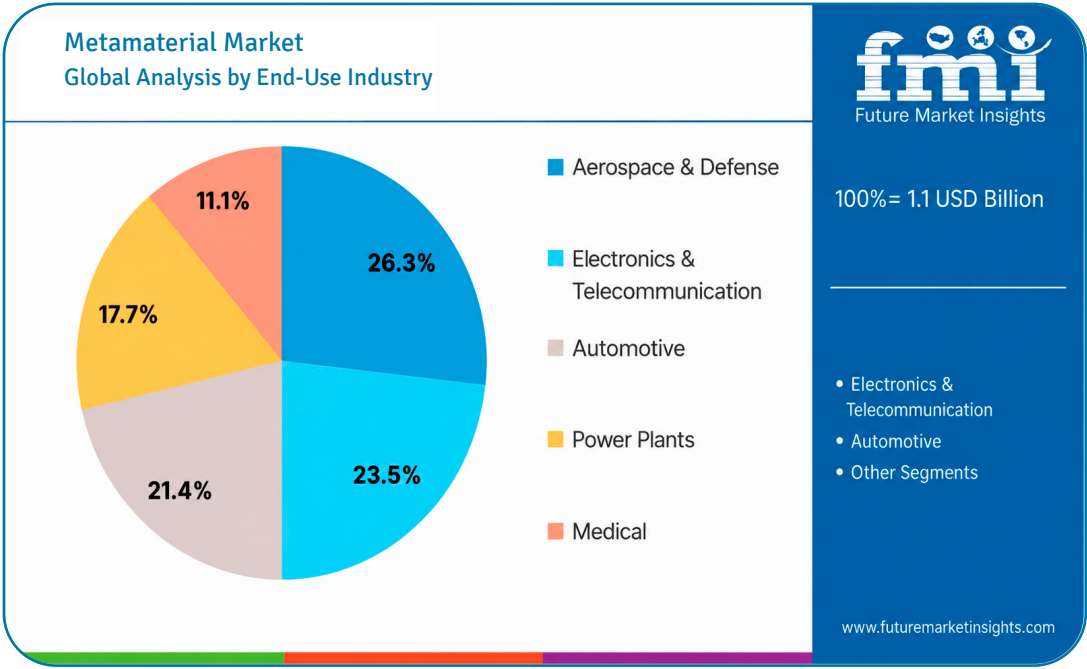


Figura 2 > Mercado de metamateriais por segmento em 2025. Fonte: ref. [13]

O Office of Naval Research (ONR), principal agência de estímulo à pesquisa na área Naval nos EUA, possui um importante programa que apoia a pesquisa básica em metamateriais ópticos e acústicos para controlar a propagação de luz e som em uma ampla faixa de frequência [14]. Este programa apoia o interesse da Marinha americana em ciência e tecnologia avançada para plataformas navais. A Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), a North Atlantic Treaty Organization (NATO), o Naval Group (França) e outras grandes empresas de defesa em todo o mundo estão muito atentos e engajados em desenvolvimentos nesta área. Por exemplo, há participação do Naval Group Research na análise de revestimentos para reduzir ruído irradiado e reflexão acústica de cascos [15]. O trabalho aborda os conceitos de metamateriais acústicos aplicados a plataformas navais.

3. Aplicações no poder naval

Os principais tipos de metamateriais com aplicação no Poder Naval abrangem diferentes domínios físicos — acústico, hidrodinâmico, piezoelétrico, térmico e eletromagnético, — cada um com aplicações operativas, ligadas aos requisitos de furtividade, sensoriamento e eficiência energética. As tecnologias relacionadas se encontram em diferentes níveis de maturidade (TRLs) e algumas inovações chegaram ao cenário operacional em níveis precoces de maturidade. A seguir apresentamos um resumo das potenciais aplicações em cada tipo de metamaterial.

Os **metamateriais acústicos** representam uma das aplicações mais promissoras para o Poder Naval [15], pois permitem controlar, redirecionar e/ou absorver ondas sonoras, ações antes impossíveis de serem alcançadas com materiais convencionais. Se empregados em revestimentos de casco de submarinos e embarcações de superfície, esses materiais podem reduzir significativamente, seja pela absorção ou pelo redirecionamento, a reflexão de ondas de sonar ativo, tornando o navio muito mais furtivo. Além disso, esses materiais podem ser usados internamente para

isolar vibrações mecânicas e minimizar o ruído estrutural proveniente de motores, hélices e equipamentos, diminuindo a assinatura acústica irradiada para o mar. Outras aplicações incluem estruturas fonônicas, que filtram frequências indesejadas; protetores contra choques submarinos e sensores acústicos aprimorados, com maior sensibilidade e seletividade. Os metamateriais acústicos têm impacto direto na guerra antissubmarino (ASW), na camuflagem subaquática e com elevado impacto na proteção e discrição das forças navais, sendo uma tecnologia de valor estratégico para marinhas modernas.

Os **metamateriais hidrodinâmicos** são projetados para manipular o escoamento da água ao redor de cascos e superfícies submersas, permitindo uma redução significativa do arrasto e do ruído hidrodinâmico, e, assim, aumentar a eficiência energética e a furtividade dos meios navais [16]. Por meio de microestruturas e texturas inspiradas em geometrias fonônicas e biomiméticas, esses materiais podem controlar localmente a turbulência, suprimir vórtices e ajustar a camada limite do fluido, diminuindo o consumo de combustível e ampliando o alcance operacional de submarinos, navios de superfície e, mais recentemente, de drones subaquáticos ou de superfície. Além disso, podem ser empregados para reduzir cavitação em hélices e lemes, prolongando a vida útil de componentes e diminuindo a assinatura acústica associada à propulsão. Em aplicações avançadas, superfícies hidrodinâmicas ativas com metamateriais adaptativos podem a princípio modificar suas propriedades em tempo real, otimizando o desempenho conforme o regime de navegação ou a necessidade de criar diversão e camuflagem acústica dos meios navais. Assim, os metamateriais hidrodinâmicos têm o potencial de revolucionar o desempenho, a discrição, a apresentação no cenário e a eficiência das plataformas navais de próxima geração.

Os **metamateriais piezoelétricos** combinam propriedades estruturais e funcionais que permitem converter energia mecânica em elétrica (e vice-versa) de ma-

neira controlada e altamente eficiente, oferecendo ao Poder Naval múltiplas aplicações estratégicas [17]. Em cascos de submarinos e navios, podem ser utilizados para absorver vibrações e ondas de choque, ao mesmo tempo em que geram energia elétrica a partir do movimento ou das oscilações induzidas pelo mar, alimentando sensores embarcados ou sistemas de monitoramento autônomos. Em estruturas inteligentes, permitem o controle ativo de vibrações e ruídos, reduzindo assinaturas acústicas e aumentando o conforto e a discrição operacional. Além disso, metamateriais piezoelétricos podem compor superfícies sensoriais distribuídas, capazes de detectar impactos, deformações ou alterações de pressão, funcionando como uma “pele inteligente” para embarcações. Em nível tático, essa tecnologia favorece o desenvolvimento de sistemas de vigilância subaquática passiva, revestimentos energeticamente autossuficientes e plataformas navais mais leves, furtivas e eficientes.

Os **metamateriais térmicos** permitem o controle avançado da condução, convecção e radiação de calor, possibilitando aplicações estratégicas no Poder Naval voltadas tanto à camuflagem térmica quanto à gestão energética de embarcações e sistemas navais [9-11]. Esses materiais podem ser projetados para manipular fluxos de calor de forma direcional, criando zonas de isolamento ou dissipação seletiva que dificultam a detecção por sensores infravermelhos inimigos. Além disso, podem ser empregados em revestimentos inteligentes de cascos e compartimentos eletrônicos, prevenindo o superaquecimento de sistemas sensíveis e otimizando o desempenho de equipamentos sob condições extremas. Outra aplicação promissora envolve o armazenamento e redistribuição térmica em sistemas de propulsão e energia, aumentando a eficiência global da plataforma. Assim, os metamateriais térmicos integram funções de camuflagem, proteção e eficiência energética, tornando-se um elemento crucial na evolução das tecnologias navais de próxima geração.

Os **metamateriais eletromagnéticos** são projetados para manipular ondas eletromagnéticas — como ra-

dar, micro-ondas e luz visível — de maneiras antes impossíveis de se realizar com materiais convencionais, oferecendo ao Poder Naval capacidades únicas em furtividade, comunicação e guerra eletrônica [18]. Quando aplicados como revestimentos de cascos, mastros e antenas, permitem reduzir drasticamente a seção reta radar (RCS) de embarcações e aeronaves navais, tornando-as praticamente invisíveis a sistemas de detecção inimigos. Além disso, podem ser utilizados para melhorar a eficiência de antenas, permitindo comunicações seguras e direcionais, com menor consumo de energia e maior taxa de transferência de informações, e em dispositivos de camuflagem ativa, que adaptam sua resposta eletromagnética conforme o ambiente. Em sistemas defensivos, metamateriais podem redirecionar, absorver ou distorcer ondas incidentes, protegendo sensores e radares contra interferência ou ataque eletrônico. Também se destacam em guiagem de ondas em sensores, radares e sistemas ópticos, aumentando a precisão e o alcance. Assim, os metamateriais eletromagnéticos representam um multiplicador de poder estratégico, ampliando a superioridade tecnológica, furtividade e capacidade de guerra eletrônica das forças navais modernas.

Os metamateriais possuem um **caráter dual intrínseco**, pois suas propriedades de manipulação de ondas — sejam elas acústicas, eletromagnéticas, térmicas ou mecânicas — permitem aplicações de interesse tanto militar quanto civil, com ganhos em eficiência, segurança e sustentabilidade. No âmbito naval, por exemplo, revestimentos acústicos furtivos empregados em submarinos podem ter equivalentes civis em revestimentos antivibração e antirruído para embarcações de pesquisa, plataformas offshore e navios de cruzeiro, reduzindo a poluição sonora submarina que afeta a fauna marinha. Metamateriais hidrodinâmicos desenvolvidos para redução de arrasto e cavitação em submarinos também têm aplicação direta em navios mercantes e pesqueiros, melhorando a eficiência energética e reduzindo emissões. Já os metamateriais térmicos utilizados para camuflagem e gerenciamento térmico em sistemas navais podem

ser empregados em infraestruturas civis inteligentes, veículos elétricos, centros de dados e edifícios autossustentáveis, otimizando o consumo energético e a dissipação de calor. No caso dos metamateriais eletromagnéticos, estes podem operar em diversas frequências, dependendo do comprimento de onda operacional e da aplicação. Assim, podem ser utilizados em comprimentos de onda específicos, incluindo ondas de rádio, micro-ondas, terahertz, infravermelho e luz visível. Por isso, proporcionam uma multifuncionalidade que possibilita uma infinidade de aplicações [19]. Da mesma forma, metamateriais piezoelétricos que captam vibrações para gerar energia em estruturas navais podem alimentar sensores autônomos, boias oceanográficas, sistemas de monitoramento ambiental ou dispositivos médicos implantáveis. Assim, o desenvolvimento de metamateriais com enfoque dual reforça a sinergia entre inovação civil e em defesa, impulsionando setores como energia, transporte, infraestrutura e meio ambiente, e favorecendo o avanço tecnológico com benefícios tanto estratégicos quanto sociais.

4. Pesquisas em andamento na marinha e colaboradores

Uma etapa crucial no desenvolvimento de um metamaterial específico envolve a modelagem e simulação das geometrias e arranjos complexos desses meios heterogêneos multicomponentes. Igualmente importante é a avaliação experimental e a consequente identificação e confirmação de propriedades físicas efetivas, via problema inverso correspondente, a partir da fabricação, mais recentemente, por impressão 3D dos metamateriais projetados. O grupo de pesquisas liderado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na tradicional parceria com a Marinha do Brasil, destaca-se pelo desenvolvimento de métodos híbridos analítico-numéricos e respectivas ferramentas computacionais em diferentes aplicações, incluindo mais recentemente o estudo de metamateriais [20-21]. Embora a origem desses desenvolvimentos tenha

sido a área de Fenômenos de Transporte, ao longo dos anos tem sido progressivamente empregados em outras áreas das Ciências Físicas e da Engenharia. A Universidade Federal Fluminense (UFF) é uma colaboradora próxima nesta e outras iniciativas, bem como a Université de Reims, URCA, na França, com apoio da FAPERJ. Aplicações de caráter dual estão sendo abordadas, como brevemente descrito a seguir.

I. Colheita de energia de correntes por metamateriais piezoelétricos

Correntes em rios e mares oferecem uma fonte de energia em geral pouco considerada, que podem se tornar viáveis para sistemas de emergência em regiões inóspitas ou isoladas e oferecer alternativas para micro-geração em redes de sensoriamento em sistemas passivos [22-24]. Metamateriais piezoelétricos oferecem uma janela de oportunidades na concepção de micro-geradores piezoelétricos mais flexíveis e com geometria e arranjos otimizados para colheita de energia [25]. O projeto em andamento visa o desenvolvimento de metamateriais piezoelétricos impressos em 3D usando compósitos piezo-poliméricos. Esses metamateriais podem ser integrados em protótipos de coletores de energia de vibração de sistemas navais e marítimos. O desenvolvimento de fontes de micro-energia sustentáveis para dispositivos pequenos e portáteis, como redes de sensores sem fio, seria de grande interesse. Embora as piezocerâmicas monolíticas ofereçam altos coeficientes de acoplamento, não podem ser conformadas a superfícies curvas, são geralmente frágeis, tornando-as quebradiças e densas devido ao uso de cerâmicas à base de chumbo. Para resolver essas limitações, uma alternativa é o uso de dispositivos piezoelétricos compostos que consistem em fase piezocerâmica ativa embutida em uma matriz polimérica. A principal aplicação potencial é a captação de energia de correntes de água, compatível com o princípio de acoplamento eletromecânico piezoelétrico. Por exemplo, a captação de energia de correntes naturais pode ser particularmente benéfica

ao permitir uma rede de sensores autônomos para identificação e monitoramento de desastres ambientais e para coleta e transmissão de dados de biodiversidade em locais remotos. O IPqM tem longa experiência da fabricação de sensores piezoelétricos, incluindo geometrias curvas como na utilização em transdutores hidroacústicos em sonares na MB, e agora avalia a fabricação dos metamateriais piezoelétricos compostos de cerâmica e polímero.

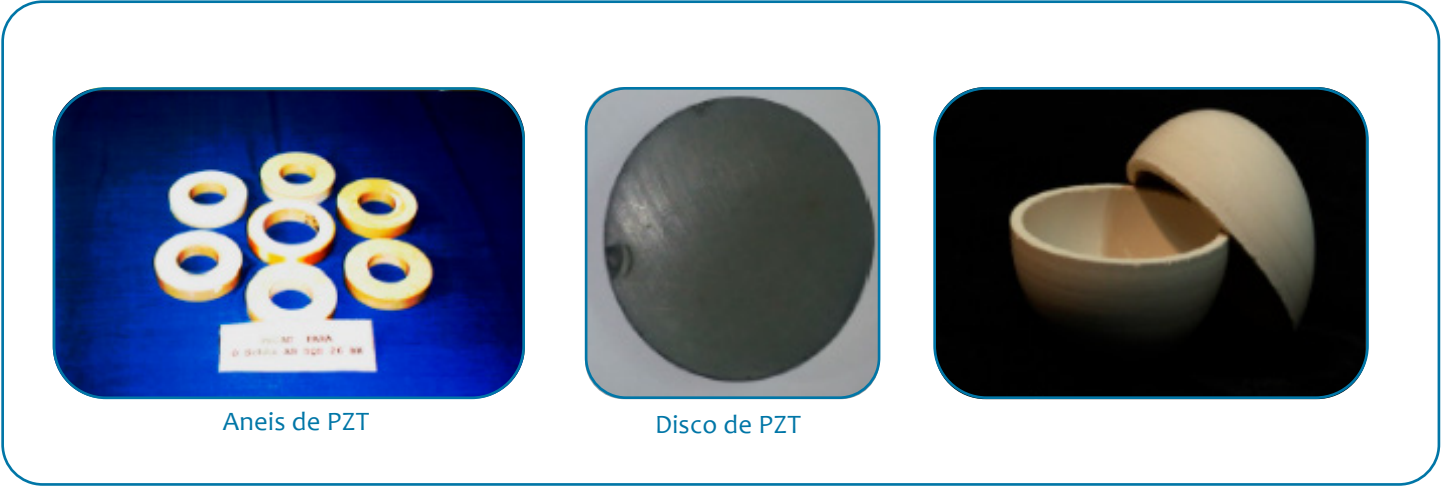


Figura 3 – Diferentes formas geométricas de cerâmicas piezoelétricas (PZT) fabricadas no IPqM por prensagem isostática, usinagem, sinterização e polarização.

II. Redução de arrasto hidrodinâmico de corpos submersos com metamateriais

Tendo como ponto de partida a ótica transformacional proposta por Leonhardt (2006) [26] e Pendry et al. (2006) [3], Urzhumov & Smith (2011) [27] conceberam a manipulação do escoamento de fluidos em torno de corpos tridimensionais a partir de um manto (cloak) de invisibilidade. Por usar conceitos trazidos da ótica transformacional, foi necessário restringir a análise a escoamentos cujos modelos apresentam invariância a estas transformações, como aqueles em meios porosos anisotrópicos, permitindo o controle local

da permeabilidade espacialmente variável. Nestas condições, foi possível eliminar a esteira a jusante e compensar o arrasto viscoso, com possíveis repercussões para a redução de arrasto e propulsão subaquática [27-29]. Uma validação experimental do metamaterial hidrodinâmico foi reportada por Park et al. (2019) [16] usando microestruturas sólidas dispostas de maneira a criar um meio artificial que guia o escoamento em torno do objeto, controlando-o passivamente.

No projeto de metamaterial hidrodinâmico liderado pela UFF, busca-se ampliar a aplicabilidade dos metamateriais originalmente concebidos por

Urzhumov & Smith (2011) [27] e Park et al. (2019) [16] para números de Reynolds finitos, típicos de condições reais em cascos e corpos rombudos. A extensão envolve substituir a camuflagem ideal por estruturas multicamadas que regulam localmente a resistência ao escoamento, almejando o aprimoramento de métricas práticas de desempenho, como a redução de arrasto e a supressão de esteira para furtividade. Análises de estabilidade linear e global integradas com o Método dos Elementos Espectrais (SEM) [30], implementado no código aberto Nektar++, deverão ser usadas para atrasar a separação da camada limite em corpos rombudos e, por consequência, reduzir a esteira à jusante do objeto. Análises inversas visando a prescrição de um escoamento desejado e a obtenção de estruturas multicamadas que as tornam possíveis são bastante custosas do ponto de vista computacional, exigindo a solução numérica das equações governantes diversas vezes. Recentemente, as chamadas redes neurais infor-

mas por física (PINN) foram propostas como um método de solução de equações diferenciais parciais usando inteligência artificial, com o potencial de eliminar a assimetria de esforço computacional entre a solução direta e inversa das equações governantes [31]. Portanto, em um segundo momento, um modelo de redes neurais será treinado usando simulações de alta resolução obtidas com o Método dos Elementos Espectrais; uma vez de posse deste modelo, espera-se recuperar as microestruturas capazes de produzir o escoamento mais próximo daquele idealizado inicialmente, desprovido de qualquer perturbação em relação ao escoamento incidente.

Os veículos submarinos autônomos, como o VSA do IPqM, Figura 4, desenvolvido para aprimorar as operações de Contramedidas de Minagem (CMM) dos Navios-Varredores, oferecem um grande desafio ao projeto de metamateriais hidrodinâmicos para redução de arrasto e do ruído hidrodinâmico.

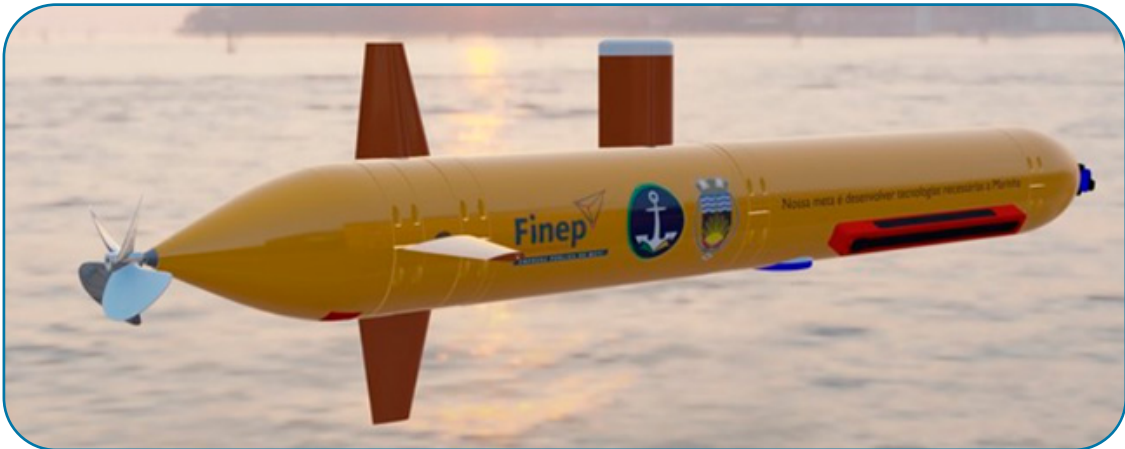


Figura 4: Veículo Submarino Autônomo (VSA), Instituto de Pesquisas da Marinha, IPqM-CTMRJ, financiado pela FINEP. Foto: Divulgação Marinha do Brasil

III. Concentradores de fluxo de calor para colheita de energia térmica

A recuperação de energia térmica em diferentes processos é um tema de interesse crescente na engenharia, em particular para processos de alta exergia (High-grade thermal energy). O calor rejeitado a altas temperaturas em geral é reutilizado na própria planta, enquanto o calor rejeitado a baixas temperaturas é dissipado para o meio ambiente, sem reutilização. O Protocolo de Kyoto assinado em 1997, e efetivamente aplicado em 2005, gerou um conjunto de leis e orientações para redução de emissão de gases de efeito estufa na grande maioria dos países, que tem levado à valorização do reaproveitamento de calor rejeitado a baixas temperaturas (low-grade thermal energy) em processos secundários.

A teoria da ótica transformacional foi expandida para sistemas de difusão em 2008 [32-33], o que gerou a crescente pesquisa atual em metamateriais térmicos. Em [32] foi demonstrado que a ótica transformacional se aplicava à condução de calor em regime permanente, pela invariância das equações de difusão sob transformação das coordenadas espaciais, e em [33] esse conceito foi estendido a materiais de base com condutividade térmica anisotrópica. A extensão

da termodinâmica transformacional para difusão em regime transiente veio a seguir [34], como também as primeiras demonstrações experimentais de metamateriais térmicos tanto em regime permanente quanto transiente [35-37]. Os três exemplos principais do uso de metamateriais no gerenciamento térmico incluem escudos térmicos, que protegem uma área do fluxo de calor difusivo transiente, os concentradores térmicos, que focam o fluxo térmico em uma pequena área, e os inversores térmicos, que alteram a direção do gradiente térmico em uma área. Por exemplo, os metamateriais térmicos podem ajudar a dissipar calor de maneira mais efetiva e evitar pontos quentes locais em circuitos de semicondutores avançados, como dispositivos 2.5D e 3D.

No presente tema, liderado pela UFRJ, foi proposto um sistema de recuperação térmica de painéis fotovoltaicos de alta concentração (HCPV) com emprego de concentradores de fluxo de calor baseados em metamateriais [38-39], como ilustrado na Figura 5. Um desafio para os metadispositivos térmicos é que eles exigem parâmetros constitutivos heterogêneos e anisotrópicos que são difíceis de modelar, simular e fabricar, especialmente para aplicações de grande escala. Essas dificuldades são contornadas pelo uso das metodologias teóricas híbridas [20-21].



Figura 5: Metamaterial térmico para concentração de calor proveniente de quatro micro-trocadores de calor simulando as células fotovoltaicas [38]

IV. Radomes Inteligentes com desempenho multi-banda

Uma importante aplicação dos metamateriais eletromagnéticos está nas estruturas que protegem as unidades de antena de radar contra intempéries, denominadas de radome, Figura 6. No caso de navios civis, esses radomes contribuem para uma comunicação segura e contínua, garantindo a recepção e a transmissão de sinais mesmo sob condições climáticas extremas. No âmbito do Poder Naval, os radomes são indispensáveis para assegurar a operação eficiente dos sistemas de radar, vigilância, defesa e rastreamento de alvos, especialmente em ambientes marítimos adversos. Para isso, o material utilizado na constituição dessa estrutura deve apresentar características dielétricas que permitam a passagem das ondas eletromagnéticas, de modo a minimizar o impacto na interação entre a antena e o ambiente, preservando assim o desempenho da antena. Em circunstâncias especiais, para atender aos requisitos

de comunicação multibanda, deseja-se que o radome possa fornecer duas ou mais bandas de frequência independentes. Para este propósito, diferentes estruturas e métodos, tais como os metamateriais em superfícies seletivas em frequência (FSS – *Frequency Selective Surface*) têm sido investigados para construção de radomes a fim de prover características de banda dupla ou multibanda [19,40-43]. Tais estruturas configuram-se como radomes de alto desempenho, nos quais podem ser incorporados materiais e tecnologias inteligentes para aprimorar sua funcionalidade. Por meio de ajustes dinâmicos na transparência eletromagnética, é possível otimizar o desempenho do radar sob variadas condições, assim como promover o gerenciamento da interferência eletromagnética, garantindo uma recepção e transmissão de sinal mais limpas. Dessa forma, a utilização desses metamateriais em dispositivos, sensores e diversos componentes eletrônicos permite conduzir sinais com menor perda de energia, resultando em equipamentos mais econômicos e compactos.



Figura 6. Radome instalado no Navio-Aeródromo Multipropósito (NAM) Atlântico A140

Foto: Divulgação Marinha do Brasil



O avanço dos radomes inteligentes com desempenho multibanda abre portas para inovações que podem transformar tanto o ambiente naval quanto civil. Cada vez mais, pesquisadores buscam criar materiais que consigam se ajustar de maneira automática às diferentes situações enfrentadas por sistemas de comunicação e radar. Assim, em vez de dependerem de soluções estáticas, esses radomes do futuro poderão adaptar seu funcionamento conforme as necessidades do momento, tornando a operação mais eficiente e confiável em qualquer cenário.

5. PERSPECTIVAS FUTURAS

O ambiente operacional moderno é caracterizado pela constante e acelerada aplicação de inovações tecnológicas, muitas das quais são geradas em ambientes não controlados por forças estatais. Com isso, a aplicação de metamateriais no ambiente militar representa um desafio dinâmico para a aplicação

do Poder Naval em favor das atividades constitucionais. É esperado, então, que, nos próximos anos, o foco da pesquisa vise desenvolver a materiais multifuncionais, estruturas capazes de integrar simultaneamente propriedades acústicas, térmicas, eletromagnéticas e mecânicas. Isso permitirá desenvolver embarcações com furtividade multimodal, isto é, invisíveis não apenas ao sonar, mas também ao radar e aos sensores infravermelhos.

Em uma outra importante vertente de pesquisa e desenvolvimento dos metamateriais, estima-se que surjam metamateriais adaptativos ou reconfiguráveis, com capacidade de alterar suas propriedades em tempo real mediante estímulos elétricos, magnéticos ou térmicos. Dominar essa capacidade e desenvolver métodos de reconhecimento da presença desses tipos de materiais no ambiente operacional será essencial para missões em ambientes variáveis, como zonas costeiras rasas ou águas polares, onde a resposta acústica e térmica do meio muda rapidamente.

O campo da sustentabilidade também se faz pertinente ao desenvolvimento de metamateriais. A aplicação de polímeros biodegradáveis e a manufatura aditiva serão fundamentais para a sustentabilidade das tecnologias desenvolvidas, pois possibilitarão reparos rápidos e produção local, em cenários de operação avançada. As tendências emergentes na área da Defesa têm se pautado, nos últimos anos, não só nos aspectos de conectividade e letalidade, mas também na autonomia, sustentabilidade e contramedida.

Especial atenção deve ser dada ao desenvolvimento, treinamento e aplicação da inteligência artificial (IA) e da computação quântica nos projetos de metamateriais. Tem sido observado a aplicação, com sucesso, de modelos de aprendizado de máquina e algoritmos evolutivos para gerar automaticamente geometrias otimizadas para dispersão de ondas, absorção sonora ou controle térmico, reduzindo drasticamente o tempo de desenvolvimento e experimentação.

No campo da descoberta de novos metamateriais por design reverso, onde o engenheiro define o comportamento desejado e o algoritmo propõe a estrutura física correspondente, o uso da IA tem larga e fundamental aplicação. A IA também poderá ser usada no controle adaptativo de impressão 3D e na verificação de qualidade em tempo real de metamateriais fabricados por técnicas aditivas (essenciais para geometrias complexas).

Observando a evolução das pesquisas em metamateriais, é possível afirmar que, a médio prazo, o uso de metamateriais poderá redefinir completamente o Poder Naval, criando plataformas navais mais furtivas, eficientes e inteligentes, capazes de operar com mínima detecção e máxima autonomia em ambientes complexos e hostis. Em termos estratégicos, países como Estados Unidos, França, China e Reino Unido já incorporam os metamateriais aos seus planejamentos e programas de investimentos em tecnologias de emprego marítimo e no Poder Naval, contando, para tal, com o apoio de instituições como o ONR, o Naval Group, o DARPA e laboratórios de P&D da OTAN.. O Brasil precisa urgentemente congrega esforços de

diferentes grupos de pesquisa no país para juntos acompanharmos e inovarmos nesse campo tão estratégico e dual. A título de exemplo, a comunidade de Ciência Mecânicas no país reúne uma série de iniciativas de especialistas em metamateriais mecânicos [44-46] que devem ser coordenadas e fomentadas.

6. BIBLIOGRAFIA

1. V.G. Veselago, The Electrodynamics of Substances with Simultaneously Negative Values of ϵ and μ , **Soviet Physics Uspekhi**, V.10, no. 4, pp.509-514, 1968.

2. J.B. Pendry, J.W. Holden, J. Stewart, I. Youngs, Extremely low frequency plasmons in metallic mesostructures. **Phys. Rev. Lett.**, V.76, p.4773, 1996.

3. J.B. Pendry, D. Schurig, D.R. Smith, Controlling Electromagnetic Fields, **Science**, V.312, no.5781, pp. 1780-1782, 2006.

4. J. Sun, J. Zhou, Metamaterials: The Art in Materials Science, **Engineering**, V. 44, pp. 145-161, 2025.

5. J. Gu, W. Zhao, C. Zeng, L. Liu, J. Leng, Y. Liu, Construction of mechanical metamaterials and their extraordinary functions, **Composite Structures**, V.356, p.118872, 2025.

6. A. T. Matei, A.I. Vişan, G.F. Popescu-Pelin, Design and Processing of Metamaterials, **Crystals**, V. 15, no.4, p.374, 2025.

7. Z. Gao, Y. Lei, Z. Li, J. Yang, B. Yu, X. Yuan, Z. Hou, J. Hong, S. Dong, Artificial piezoelectric metamaterials, **Progress in Materials Science**, V.151, p. 101434, 2025.

8. C. Qian, I. Kaminer, H. Chen, A guidance to intelligent metamaterials and metamaterials intelligence, **Nature Communications**, V.16, pp.1-23, 2025.

9. C. Fana, C.L. Wu, Y. Wang, B. Wang, J. Wang, Thermal metamaterials: From static to dynamic heat manipulation, **Physics Reports**, V.1077, pp.1-111, 2024.

10. W. Sha, M. Xiao, Y. Wang, M. Huang, Q. Li, L. Gao, Topology optimization methods for thermal metamaterials: A review, **Int. Journal of Heat and Mass Transfer**, V. 227, p. 125588, 2024.

11. C. Zhu, E.A. Bamidele, X. Shen, G. Zhu, B. Li, Machine Learning Aided Design and Optimization of Thermal Metamaterials, **Chem. Rev.**, V.124, pp.4258-433, 2024.

12. G. Boafu, D.K. Biswal, Advances in functional metamaterials: bridging mechanical, acoustic innovations with multifunctionality and adaptive responses, **Results in Engineering**, V.28, p.107367, 2025.

13. https://www.futuremarketinsights.com/reports/metamaterial-market?utm_source, consulta realizada em 15-10-2025.

14. **Office of Naval Research**, ONR, Division 331, Advanced Naval Platforms, Metamaterials Program, US Navy, 2022. <https://www.onr.navy.mil/en/Science-Technology/Departments/Code-33/All-Programs/331-advanced-naval-platforms/metamaterials>

15. C. Croenne, J.O. Vasseur, L. Roux, C. Audoly, A.-C. Hladky, A review of acoustic metamaterials for naval and underwater defense applications: From historical concepts to new trends, **Acta Acustica**, V.9, p.24, 2025.

16. J. Park, J.R. Youn, Y.S. Song, Hydrodynamic Metamaterial Cloak for Drag-Free Flow. **Phys. Rev. Lett.**, V. 123, p.074502, 2019.

17. J. Zhao, N. Hu, J. Wu, W. Li, Z. Zhu, M. Wang, Y. Zheng, H. Dai, A review of piezoelectric metamaterials for underwater equipment, **Front. Phys.**, V.10, p.1068838, 2022.

18. C. Guan, S. Su, B. Wang, J. Zhong, J. Chen, F. Sun, L. Zhan, Electromagnetic stealth technology: A review of wave-absorbing structures, **Materials & Design**, V.253, p. 113891, 2025.

19. F. Alves, L. Pimental, D. Grbovic, et al., MEMS terahertz-to-infrared band converter using frequency se-

lective planar metamaterial, **Sci. Rep.**, V. 8, p.12466, 2018.

20. R.M. Cotta, C.P. Naveira-Cotta, M. Lachi, and A.E.H. Bruno, Integral Transform of Heat Conduction in Anisotropic Heterogeneous Media: Application to Thermal Metamaterials, Proc. of the **8th Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC)**, ASTFE, pp.1795-1798, College Park, MD, March 26th-29th, 2023.

21. R.M. Cotta, M. Lachi, C.P. Naveira-Cotta, and A.E.H. Bruno, Integral Transform Solution of Heat Conduction in Anisotropic Heterogeneous Media, **Computational Thermal Sciences**, Memorial Issue of Prof. Darrel Pepper, Vol.16, pp.65-90, 2024.

22. A. Jbaily, R.W. Yeung, Piezoelectric devices for ocean energy: a brief survey, **J. Ocean Eng. Mar. Energy**, V.1, pp.101-118, 2015.

23. M. Safaei et al., A review of energy harvesting using piezoelectric materials: State-of-the-art a decade later (2008-2018), **Smart Mater. Struct.**, V.28, p.113001, 2019.

24. W. Sun et al., Low velocity water flow energy harvesting using vortex induced vibration and galloping, **Appl. Energy**, V.251, p.113392, 2019.

25. H. Cui et al., Three-dimensional printing of piezoelectric materials with designed anisotropy and directional response, **Nature Mater.**, V.18, p.234, 2019.

26. U. Leonhardt, Optical Conformal Mapping, **Science**, V. 312, pp.1777-1780, 2006.

27. Y.A. Urzhumov, D.R. Smith, Fluid Flow Control with Transformation Media, **Phys. Rev. Lett.**, V.107, p.074501, 2011.

28. P.T. Bowen, D.R. Smith, Y.A. Urzhumov, Wake control with permeable multilayer structures: The spherical symmetry case, **Physical Review E**, V. 92, p.063030, 2015.

29. D.R. Culver, E. Dowell, D. Smith, Y. Urzhumov, A. Varghese, A Volumetric Approach to Wake Reduction: Design, Optimization, and Experimental Verification, **Journal of Fluids**, p.1-15, 2016.

30. S.J. Sherwin, G. Karniadakis, **Spectral/hp Element Methods for Computational Fluid Dynamics**. Oxford University Press. 2nd ed, 2005.

31. J. Yu, L. Lu, X. Meng, G. Karniadakis, Gradient-enhanced physics-informed neural networks for forward and inverse PDE problems, **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, V.393, p.114823, 2002.

32. C.Z. Fan, Y. Gao, J.P. Huang, Shaped graded materials with an apparent negative thermal conductivity, **Appl. Phys. Lett.**, V.92, p.251907, 2008.

33. T.Y. Chen, C.N. Weng, J.S. Chen, Cloak for curvilinearly anisotropic media in conduction, **Appl. Phys. Lett.**, V. 93, p.114103, 2008.

34. S. Guenneau, C. Amra, D. Veynante, Transformation thermodynamics: cloaking and concentrating heat flux, **Opt. Express**, V. 20, p.8207, 2012.

35. S. Narayana, Y. Sato, Heat flux manipulation with engineered thermal materials. **Phys. Rev. Lett.**, V.108, p.214303, 2012.

36. S. Narayana, S. Salvatore, Y. Sato, Transient heat flux shielding using thermal metamaterials. **Appl. Phys. Lett.**, V. 102, p.201904, 2013.

37. R. Schittny, K. Kadic, S. Guenneau, S., M. Wegener, Experiments on transformation thermodynamics: Molding the flow of heat. **Phys. Rev. Lett.**, V. 110, p.195901, 2013.

38. M. Lachi, R.M. Cotta, **METATERM Project - Modelling, Design, Fabrication and Application of Ther-**

mal Metamaterials, Final Report, Programme de Mobilité Internationale FAPERJ/France, 2022.

39. A.H. Bruno, M. Lachi, J. Huilery, **Étude des métamatériaux thermiques par la méthode des éléments finis**, Rapport Stage d'Application, École Centrale Lyon, 2023.

40. N. Liu, X. Sheng, C. Zhang, D. Guo, Design of Dual-Band Composite Radome Wall With High Angular Stability Using Frequency Selective Surface, **IEEE Access**, V. 7, pp. 123393-123401, 2019.

41. S. Narayan, R.M. Jha, A Novel Metamaterial FSS-based Structure for Wideband Radome Applications, **Computers, Materials & Continua**, V.37(2), pp.97-108, 2013.

42. T. Jiang, Z. Wang, D. Li, J. Pan, B. Zhang, J. Huangfu, Y. Salamin, Low-DC voltage-controlled steering-antenna radome utilizing tunable active metamaterial, **IEEE Trans Microwave Theory Tech.**, V.60, pp.170-178, 2012.

43. R.U. Nair, R.M. Jha, Novel A-sandwich radome design for airborne applications, **Electronics Lett.**, V.43, pp.787-788, 2007.

44. J.R.F. Arruda, Manipulating elastic waves aiming at reducing vibration and noise: bandgaps, metamaterials, and topological modes, Proc. of ISMA2022, **International Conference on Noise and Vibration Engineering**, Leuven, Belgium, pp.1-26, 2022.

45. R.G.S. Junior, T.P. Sales, D.A. Rade, Optimization of Vibration Band Gaps in Damped Lattice Metamaterials, **Latin American Journal of Solids and Structures**, V.20, no.6, e493, 2023.

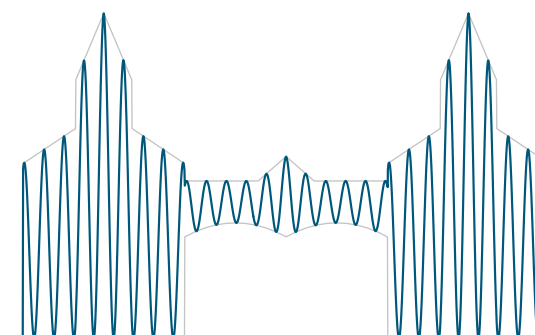
46. J. P. Norenberg, A. Cunha Jr, Nonlinear metabeam for vibration absorption and energy harvesting, Proc. of the **XLV Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering**, CILAMCE, ABMEC, pp.1-5, Maceio, Alagoas, November 11-14, 2024.

eventos

ABCM

50 ANOS

2025



XX DINAME

International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics

9|03 à 14|03|2025
Águas de Lindóia | SP

A vigésima edição do International Symposium on Dynamic Problems of Mechanics - DINAME 2025 - foi realizada no período de 9 a 14 de março de 2025 no Villa di Mantova Resort Hotel localizado na cidade de Águas de Lindóia, SP, com organização coordenada pelos Profs. Marcelo A. Trindade e Paulo S. Varoto do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP). Esta edição contou com 128 trabalhos (79 apresentações orais e 49 pôsteres) e 164 participantes de 12 países. Cinco keynote lectures foram apresentadas pelos Profs. Carlos Cesnik (U. Michigan, EUA), Daniel Rixen (TU Munich, Alemanha), Diego

Misseroni (U. Trento, Itália), Fadi Dohnal (VU Applied Sciences, Áustria) e Gaëtan Kerschen (U. Liège, Bélgica). Também foi organizado um painel de discussão cujos temas foram objeto de votação pelos participantes do evento. Com participação dos Profs. José Roberto Arruda (Unicamp), Daniel Rixen e Morvan Ouisse (FEMTO-ST Institute, França), o painel discutiu os temas de estruturas periódicas e inteligentes, de inteligência artificial, e de ciência aberta. Ainda, foram outorgados prêmios para as melhores apresentações orais e na forma de pôster realizadas por alunos e o Prêmio Hofer para jovens pesquisadores. Foi também decidido que a próxima edição do DINAME será realizada na cidade de Manaus com organização da UFAM e da UnB.



MCTI/CNPq n° 16/2024

Workshop sobre CFD e ML para Engenharia Sustentável – 2025

26|06 à 27|06|2025
Porto Alegre | RS



O **Workshop CFD s Machine Learning for Sustainable Engineering** (CFDMLSE2025) foi fruto da colaboração entre professores do Instituto de Informática, prof. Márcio Dorn, da Engenharia Mecânica, Prof. Guilherme Fiorot, e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Profa. Flávia Zinani. Estes professores formaram a comissão organizadora, junto com os alunos de pós-graduação Andreas Celada, Alexandre Tacques e Leonardo Dorneles.

O **CFDMLSE2025** foi realizado nos dias 26 e 27 de junho de 2025, no centro de eventos da Informática, UFRGS, prédio 43413.

O que motivou a colaboração e a criação do evento foi a vontade de juntar forças e expertises e descobrir como as diversas ferramentas de trabalho em informática e em engenharia podem se ajudar mutuamente. No caso, pretendemos integrar ferramentas de Aprendizado de máquina e Fluidodinâmica Computacional (CFD), com objetivos de tornar mais inteligentes os processos de simulação de escoamentos, principalmente aqueles em projetos de engenharia sustentável. Inteligentes no sentido de tornar mais rápida a tomada de decisão no que diz respeito ao proje-

to de experimentos, tornar mais eficiente o tratamento de dados resultantes das simulações, e diminuir os tempos de simulação e demanda computacional em projetos que usam CFD. Assim, foram abordados neste workshop: Aprendizado de Máquina, Programação Orientada ao Objeto, Redes Neurais Informadas pela Física, Método de Lattice-Boltzmann, além das aplicações as quais norteiam as pesquisas do grupo de professores envolvidos.

O **CFDMLSE2025** contou com 35 inscritos, mais palestrantes e comissão organizadora. O programa consta ao final deste documento.

Na sessão de abertura foram formalizados agradecimentos aos participantes, palestrantes e comissão organizadora, bem como às instituições a seguir.

Ao CNPq pelo apoio via projeto contemplado pela chamada MCTI/CNPQ N° 16/2024 - Faixa 1: Projeto em cooperação.

À Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas pelo apoio na divulgação e na gestão financeira.

À UFRGS: Instituto de Informática, Instituto de Pesquisas Hidráulicas e Escola de Engenharia, aos PPGs, laboratórios e grupos de pesquisa da comissão organizadora.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Reologia de Materiais Complexos Aplicados a Tecnologias Avançadas, pelo apoio financeiro.

Ao KIT – Karlsruhe Institute of Technology e ao OpenLB Research Group, por ser nosso parceiro na Alemanha, por aceitar receber os nossos pesquisadores nas missões de trabalho, doutorado sanduíche e pós-doutorado a serem realizadas dentro do projeto apoiado pelo CNPq, e por nos apoiar no aprendizado e desenvolvimento de ferramentas dentro do OpenLB.

Ao final do evento, os participantes receberam o certificado de participação por email e foram convidados a responder um formulário com sua apreciação sobre o **CFDMLSE2025**. As respostas foram bem positivas, como mostra o gráfico abaixo, sobre a satisfação geral com o evento.



8ª Jornada de Escoamentos Multifásicos

31|03 à 04|04|2025
São Carlos | SP



Entre os dias 31 de março e 4 de abril de 2025, a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) sediou a 8ª Jornada de Escoamentos Multifásicos (JEM 2025), reunindo 129 participantes de todo o Brasil, entre estudantes, professores, pesquisadores e representantes da indústria. A programação incluiu cursos, palestras de convidados do Brasil, França e Estados Unidos, visitas técnicas e 64 trabalhos apresentados em sessões orais e pôster.

Uma das novidades desta edição foi a realização de oficinas práticas (workshops) sobre tratamento de imagens, PIV e introdução ao LabView, que tiveram grande adesão dos participantes. O prêmio de melhor trabalho foi concedido à doutoranda Carolina Rodrigues (UTFPR/NUEM), pelo estudo “Influence of the liquid viscosity on gas-liquid vertical slug flow”. Já a Thorlabs Brasil ofereceu apoio a estudantes de fora de São Paulo, contemplando Arthur dos Reis Lemos Fontana (UFPA) e Andrei Hünemeyer Dullius (UFRJ).

Além das atividades técnicas, houve momentos de integração, como a confraternização de terça-feira e o jantar oficial de quinta-feira. A JEM 2025 contou com financiamento da FAPESP, CAPES e CNPq, além do patrocínio da Thorlabs Brasil, Láctea Científica e Grupo JAV. Com 98% de aprovação dos participantes, o evento reafirmou sua relevância na formação de novos profissionais e na consolidação da comunidade nacional em escoamentos multifásicos.



2ª Escola de Engenharia em Estruturas Inteligentes

29|07 à 01|08|2025
Brasília | DF

A Escola de Engenharia em Estruturas Inteligentes de 2025 (EEEI 2025) foi a segunda edição do evento promovido pela ABCM, realizada entre os dias 29 de julho e 1º de agosto de 2025 na Universidade de Brasília. Sob a coordenação de Aline Souza de Paula, Adriano Todorovic Fabro e Laís Bittencourt Visnadi, a escola contou com cerca de cem participantes vindos de todas as regiões do Brasil. O evento teve como propósito contribuir para a formação e motivação de jovens pesquisadores e engenheiros, estimular a troca de ideias e experiências e consolidar a presença dos conceitos relacionados às estruturas inteligentes no ensino e na pesquisa em engenharia. A programação incluiu onze módulos: Estruturas e Sistemas Inteligentes, com Valder Steffen Jr (UFU); Fundamentos da Mecânica do Contínuo, com Marcelo Savi (COPPE/UFRJ); Modelagem de Sistemas Eletromagnetomecânicos, com Alberto Paiva (UFF); Modelagem de Sistemas Termomecânicos, com Pedro Pacheco (CEFET/RJ); Materiais com Memória de Forma, com Carlos Araújo (UFG); Colheita de Energia Mecânica, com Luã

Costa (COPPE/UFRJ); Monitoramento e Controle de Sistemas, com Douglas Bueno (FEIS/UNESP); Projeto e Análise de Estruturas Compósitas, com Gabriel Candido Souza (USP); Ferramentas Computacionais, com Marcelo Trindade (USP); Introdução aos Meta-materiais e Cristais Fonônicos, com Carlos de Marqui Jr (USP/EESC); e Rotores Inteligentes, com Leonardo Sicchieri (UFU). Além das aulas, a escola promoveu uma sessão de pôsteres acompanhada de apresentações em formato de pitch, que favoreceram a interação entre estudantes e pesquisadores e incentivaram a comunicação científica. A comissão organizadora concluiu que a EEEI 2025 foi um sucesso, com impacto significativo especialmente entre estudantes de graduação e pós-graduação, consolidando-se como um espaço de aprendizado, integração e avanço da área de estruturas inteligentes no Brasil.



28th Inter. Congress of Mechanical Engineering
09/11 à 15/11/2025
Curitiba | PR

O COBEM, Congresso Internacional de Engenharia Mecânica, é o evento mais importante organizado pela ABCM. Reúne uma ampla variedade de temas relacionados às ciências e à engenharia mecânica, apresentando o trabalho dos 19 comitês técnicos da ABCM.

O COBEM 2025, realizado em Curitiba de 9 a 15 de Novembro de 2025 teve o tema “Inteligência Artificial para um Amanhã Sustentável” e ocorreu na Universidade Federal do Paraná (UFPR) sob a organização da Universidade Federal do Paraná (UFPR), da Universidade Tecnológica do Paraná (UTFPR) e da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR).

Um dos destaques do COBEM 2025 foi o Simpósio Internacional ICONNE, focado em fenômenos não lineares e caóticos. O congresso teve uma programação científica diversificada, incluindo sessões plenárias, painéis de discussão, apresentações técnicas, sessões de pôsteres, mini-cursos e eventos especiais, como o Concurso de Comunicação Científica e o Pitch Day para startups. Essas atividades foram pensadas para estimular a colaboração, promover soluções inovadoras e divulgar pesquisas de ponta na engenharia mecânica.

No COBEM 2025 celebrou-se o 50º aniversário da ABCM, homenageando sua história e o papel fundamental que desempenhou no avanço das ciências mecânicas no Brasil. Durante a cerimônia de abertura, momentos especiais homenagearam essa data comemorativa, junto a um simpósio dedicado a reconhecer as contribuições de inúmeros profissionais que ajudaram a moldar essa trajetória.

Mais do que uma simples conferência, o COBEM 2025 foi uma reunião vibrante que reuniu acadêmicos e profissionais da indústria, promovendo a troca de conhecimentos e a geração de novas ideias.



Revista ABCM Engenharia
publicação impressa | ISSN 2237-9851
Volume 28, número 1, 2025

Editoria da Revista ABCM Engenharia

Luis Mauro Moura, Editor
luis.moura@pucpr.br

A Revista **ABCM Engenharia** é uma publicação da Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas - ABCM que visa informar seus membros sobre atividades promovidas pela associação e notícias de interesse geral e ampliar a comunicação entre a Diretoria, o Comitê Editorial, os Comitês Técnico-Científicos e os associados.

Diretoria e Conselho Deliberativo

A Direção da Associação é composta pela Diretoria e pelo Conselho. Estes órgãos colegiados são constituídos por representantes dos membros da ABCM, eleitos por um período de dois e quatro anos, respectivamente.

Secretária Executiva:

Débora Estrella
Praça Tiradentes, 10/9º andar - Centro
20060-070 - Rio de Janeiro - RJ
Fone: (0 xx 21) 2221 0438 | (0 xx 21) 2509 7128
WhatsApp: (0 xx 21) 98985-6292
abcm@abcm.org.br | <http://www.abcm.org.br>

Diretoria Biênio 2023-2025

Prof. Domingos Alves Rade > ITA
Presidente
Prof. Amir Antônio Martins de Oliveira Jr. > UFSC
Vice Presidente
Prof. Francis Henrique Ramos França > UFRGS
Diretor Técnico-Científico
Prof. Aline Souza de Paula > UnB
Diretora Secretária

Prof. Fabio Toshio Kanizawa > Unicamp
Diretor Tesoureiro

Conselho 2023/2027

Efetivos
João Luiz Filgueiras de Azevedo > ITA (IAE)
José Roberto Simões Moreira > Escola Politécnica da USP
Alexandre Kupka da Silva > UFSC
Leonardo Santos de Brito Alves > UFF
Suplentes
Oscar Mauricio Hernandez Rodriguez > USP
Felipe Roman Centeno > UFRGS
José Alexander Araújo > UnB
Fábio Menegatti de Melo > PUC | Campinas

Mandato 2021/2025

Efetivos
Carolina Palma Naveira Cotta > COPPE|UFRJ
Américo B. da Cunha Jr. > UERJ
Luis Mauro Moura > PUCPR
Simone dos Santos Hoefel > UFPI
Marcelino Guedes Gomes > PIPELINE BRAZIL

Suplentes
Celso K. Morooka > UNICAMP
Fernando Marcelo Pereira > UFRGS

Comissões Permanentes

Admissão
Fabio Toshio Kanizawa > UNICAMP
Sergio Viçosa Möller > UFRGS
Katia Lucchesi Cavalca Dedini > Unicamp

Ciência e Tecnologia

Francis Henrique Ramos França > UFRGS
José Roberto de França Arruda > UNICAMP
Helcio Rangel Barreto Orlande > UFRJ

Divulgação e Publicações

Aline Souza de Paula > UnB
Leonardo Santos de Brito Alves > UFF
Samuel da Silva > UNESP

Ensino e Difusão de Pesquisa

Amir Antônio Martins de Oliveira Júnior > UFSC
André Luiz Tenório Rezende > IME
Maíra Martins da Silva > USP|SC
Pedro Teixeira Lacava > ITA
Victor Eduardo Corte Baptistella

Intercâmbio Institucional

Francis Henrique Ramos França > UFRGS
João Luiz Filgueiras de Azevedo > ITA

Renato Machado Cotta > UFRJ

Comissão Especial de Diversidade e Inserção

Aline Souza de Paula > UnB
Juliana Loureiro > COPPE|UFRJ
Marcia Mantelli > UFSC
Marina Weyl > UNIFESSPA
Wanderley Amorim > UFCG
Adriana Marques > IFSP

Diagramação

Renata Bortolucci Mothes
WhatsApp: (0 xx 51) 99216-5741

Produção

Studio 21 Comercialização, Comunicação e Marketing

Vetores

banco de imagens:
freepik | ChatGPT | Shutterstock



Associação Brasileira de
Engenharia e Ciências Mecânicas

Praça Tiradentes, 10|9º andar – Centro – 20060-070 – Rio de Janeiro|RJ
+55 21 2221 0438 | +55 21 2509 7128 | +55 21 98985-6292 | abcm@abcm.org.br