



Memorial para Promoção à Classe de Professor Titular

Odenir de Almeida

Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC

Professor Associado IV

Data de ingresso na carreira: 13/01/2010

Identificadores de Autor:

ORCID: 0000-0002-2204-1087

ResearcherID (Web of Science): G-3543-2017

Scopus Author ID: 36620720400

Google Scholar:

<https://scholar.google.com/citations?user=KjkemcsAAAAJ&hl=pt-BR>

Memorial apresentado à comissão especial de avaliação para a promoção à **classe de Titular**, da carreira docente do magistério superior.

Uberlândia, fevereiro de 2026.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

A447m Almeida, Odenir de, 1974-
2026 Memorial para Promoção à Classe de Professor Titular [recurso eletrônico] / Odenir de Almeida. - 2026.

Memorial Descritivo (Promoção a Professor Titular) - Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.me.2026.506>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Professores universitários - formação. I. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Mecânica. II. Título.

CDU: 378.124

André Carlos Francisco
Bibliotecário-Documentalista - CRB-6/3408

RESUMO

Este memorial descreve a carreira profissional do professor Odenir de Almeida. O documento foi escrito com base na RESOLUÇÃO CONDIR 2017-03 da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e parte do ponto onde o professor iniciou seu curso de Engenharia Mecânica na Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP em 1994. Em seguida, avança para o período de qualificação em nível de mestrado e doutorado. Prossegue-se, então, com uma síntese da experiência vivida na área da Engenharia Aeronáutica descrevendo-se as atividades na Empresa Brasileira de Aeronáutica – EMBRAER S.A as quais serviram como referência para a sua atuação no ambiente acadêmico. Já como docente da Universidade Federal de Uberlândia em 2010, é relatado as mais relevantes atividades que o professor realizou nos últimos 16 anos, sendo estas descritas em quatro principais grupos: **ensino, pesquisa, extensão e administração e/ou gestão**. Ao final do documento, é apresentado um resumo sobre toda a produção bibliográfica, técnica e acadêmica do professor. Espera-se que, com a leitura do presente documento, seja possível verificar a relevância da trajetória profissional do referido professor ao longo do período de dezesseis anos em que esteve envolvido com o ensino superior (graduação, mestrado, doutorado, e docência).



Sumário

1. Formação Acadêmica e Inserção na Indústria Aeronáutica.....	13
1.1 Formação	13
1.1.1 Graduação.....	13
1.1.2 Mestrado	18
1.1.3 Trajetória na Indústria Aeronáutica	21
1.1.4 Doutorado	23
1.1.5 Formação no Exterior (Doutorado Sanduíche)	26
2. Trajetória na Carreira Docente - Universidade Federal de Uberlândia.....	30
2.1 Atividades de Ensino.....	30
2.1.1 Criação dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica.....	33
2.2 Atividades de Extensão	37
2.2.1 Programa de Educação Tutorial (PET).....	37
2.2.2 Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo (2012)	43
2.2.3 Projetos de Extensão junto a Empresas.....	48
2.2.4 Livro Sobre a História da Faculdade de Engenharia Mecânica.....	53
2.3 Atividades de Pesquisa	56
2.3.1 Introdução e Visão Geral da Trajetória Científica.....	56
2.3.2 Projetos de Pesquisa em Andamento – Parceria com Iniciativa Privada	111
2.3.3 Parcerias e Convênios com Universidades no Brasil e Exterior	123
2.4 Atividades Administrativas	124
2.4.1 Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica	124
2.4.2 Coordenador e Tutor do Programa de Educação Tutorial (PET).....	126
2.4.3 Coordenador dos Laboratórios de Ensino de Engenharia Aeronáutica - LEEAR	127
2.4.4 Coordenador do Programa CAPES-BRAFITEC UFU.....	128
2.4.5 Coordenador do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO)	129
2.4.6 Coordenador do Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX ^N)	130
2.4.6 Atividades de Avaliação Acadêmica e Serviço à Comunidade Científica	130
3. Métricas Gerais	132
3.1 Ensino	132

3.2 Extensão.....	134
3.3 Pesquisa.....	134
3.4 Gestão.....	137
3.5 Resumo	137
4. Síntese da Trajetória.....	138
4. Planejamento Futuro	139
5. Referências	140

Lista de Abreviações

AIAA	American Institute of Aeronautics and Astronautics
BRAFITEC	Brasil France Ingénieur Technologie
CAA	Computational Aeroacoustics
CAD	Computer Aided-Design
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CFD	Computational Fluid Dynamics
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPAERO	Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental
DIRCO	Diretoria de Comunicação
DNS	Direct Numerical Simulation
DOE	Design of Experiments
EDUFU	Editora da Universidade Federal de Uberlândia
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
EPTT	Escola de Primavera em Transição e Turbulência
ERJ	Embraer Regional Jet
EVTOL	Electric Vertical Take-off and Landing
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FCA	Fiat Chrysler Automobiles
FEA	Finite Elements Analysis
FEIS	Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
FEMEC	Faculdade de Engenharia Mecânica
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
IC	Iniciação Científica
ISVR	Institute of Sound and Vibration Research

ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
LAE	Laboratório de Aerodinâmica
LAEX ^N	Laboratório de Aerodinâmica Experimental
LEEAR	Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica
LES	Large Eddy Simulation
MEC	Ministério da Educação
MFLAB	Laboratório de Mecânica dos Fluidos
MRF	Moving Reference Frame
NDE	Núcleo Docente Estruturante
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PET	Programa de Educação Tutorial
PPC	Projeto de Conclusão de Curso
RANS	Reynolds Averaged Navier-Stokes
SEMEC	Semana da Faculdade de Engenharia Mecânica
SIEX	Sistema de Informação de Extensão
SME	Sociedade Mineira de Engenheiros
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UDF	User Defined Function
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UNESP	Universidade Estadual Paulista
USP	Universidade de São Paulo
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

Lista de Figuras

Figura 1. Alunos do Programa Especial de Treinamento da FEIS/UNESP – 1996. _____	14
Figura 2. Curva Strouhal vs Razão de forma para cilindros retangulares – $Re = 1 \times 10^3$ e evolução temporal das linhas de isovorticidade ($\phi = 10$). _____	19
Figura 3. Ensaio de certificação da aeronave ERJ-170 em La Paz na Bolívia (2004). _____	22
Figura 4. Contemporâneos na Engenharia de Sistemas de Propulsão – EMBRAER – (2006). _____	23
Figura 5. Geometria do bocal para o escoamento de jato coaxial – (a) coplanar; (b) carenagem curta. _____	25
Figura 6. Previsão de ruído a 90° para: (a) bocais coplanares; (b) bocais de carenagem curta – $VR = 1,0$. _____	25
Figura 7. Doak Laboratory e alunos do Curso de Aeroacústica Industrial no ISRV. _____	26
Figura 8. Reportagem sobre o Curso de Engenharia Aeronáutica e uma das primeiras aulas ministradas. _____	31
Figura 9. Criação e estruturação dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica – LEEAR (2014). _____	34
Figura 10. Dependências dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica – LEEAR – Parte I. _____	36
Figura 11. Dependências dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica – LEEAR – Parte II. _____	37
Figura 12. Ação realizada junto à comunidade do Bairro Élisson Pietro – Projeto ABC do Glória (2017). _____	38
Figura 13. Realização da XVIII Semana da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC/UFU. _____	42
Figura 14. Edição da Semana da Faculdade de Engenharia Mecânica – SEMEC (UFU, 2017). _____	42
Figura 15. Destaque na imprensa do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo (2012). _____	44
Figura 16. Delegação brasileira em missão à França para treinamento na área Aeronáutica e Aeroespacial (2012). _____	44
Figura 17. Foto da Delegação em frente a DASSAULT AVIATION Mérignac – Bordeaux, França. _____	46
Figura 18. Delegação na linha de montagem da aeronave Super Puma EC-225 na EUROCOPTER em Marseille. _____	46
Figura 19. Cerimônia de Encerramento do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo – GIFAS, Paris (13/07/12). _____	47
Figura 20. Foto da Delegação no dia da Formatura – Trocadero, Paris, França (2012). _____	48
Figura 21. Gerador eólico projetado por alunos dos 3 cursos da Faculdade de Engenharia Mecânica. _____	49
Figura 22. Componentes (partes) fabricadas do Gerador Eólico. _____	49

Figura 23. Cerimônia de Premiação – Projeto Sustentabilidade Radix 2015.	50
Figura 24. Cerimônia de Premiação – 23º Prêmio SME de Ciência, Tecnologia e Inovação.	50
Figura 25. Bandeira Nacional com dimensões de 15 × 30 metros na sede da Algar S.A – Uberlândia-MG.	51
Figura 26. Montagem do aparato experimental para ensaios com uma bandeira em escala reduzida (LAEX).	52
Figura 27. Padrões de movimentação da bandeira em função do regime de vento constante e rajadas simuladas (LAEX).	52
Figura 28. Solução estabilizadora com resultados eficazes na contenção do enrolamento da Bandeira Nacional.	53
Figura 29. Relatos Sobre a História da Faculdade de Engenharia Mecânica: FEMEC 50 Anos (EDUFU).	54
Figura 30. Universidades brasileiras envolvidas no Projeto Aeronave Silenciosa (2009 – 2011).	58
Figura 31. Análise computacional do problema de interação jato subsônico e placa plana.	60
Figura 32. Montagem experimental do bocal de testes e anemometria de fio-quente no DOAK Lab (ISVR).	62
Figura 33. Distribuição de velocidade na linha central do jato para diferentes números de Mach e comparação com dados da literatura.	62
Figura 34. Ferramentas semi-empíricas para a predição do ruído de jatos subsônicos.	65
Figura 35. Montagem final e vista isométrica do túnel de vento do CPAERO (galpão da FABE Ltda).	70
Figura 36. Áreas de atuação do CPAERO através da utilização do túnel de vento.	71
Figura 37. Canteiro de obras para construção do prédio do túnel de vento – CPAERO/UFU/FEMEC – Campus Glória.	71
Figura 38. Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX ^N) – Túnel de Vento TV-60 Zephyr – Campus Glória (2020).	73
Figura 39. Modelos em escala reduzida (esquerda) e anemômetro de fio quente (direita) – LAEX ^N (2020).	74
Figura 40. Detalhes dos túneis de vento de menor porte – LAEX ^N .	74
Figura 41. - Coeficiente de pressão C_p para o veículo base (esquerda) e configuração otimizada (direita).	78
Figura 42. Comportamento da esteira no plano médio ($Y=0$ m) na região traseira do veículo para (acima) configuração de referência e (abaixo).	78
Figura 43. Ensaio de visualização do escoamento através da técnica de flowviz (com e sem retrovisor)	79
Figura 44. Processo de geração de uma pá de gerador eólico tendo como base uma semente do cerrado.	82

Figura 45. (a) Domínio estático e domínio rotativo em torno de um modelo de HAWT (b) Pá. _____	83
Figura 46. Aparato experimental utilizado para medir o desempenho aerodinâmico das pás bioinspiradas (LAEX). _____	83
Figura 47. Conceito de estrutura integrada para esse projeto. _____	86
Figura 48. Esquema da montagem experimental no LAE-1 com modelo B777 em escala 1:6. _____	87
Figura 49. Descrição dos principais componentes do trem de pouso dianteiro do B777 (após simplificação). _____	87
Figura 50. Conjunto completo do modelo (fuselagem e trem de pouso dianteiro) e suas principais dimensões em [mm]. _____	88
Figura 51. Perfis de velocidade na esteira do NLG medidos com sonda de Pitot de 7 furos. _____	89
Figura 52. Variação do espectro de ruído do microfone dentro da cavidade principal do trem de pouso dianteiro. _____	89
Figura 53. Mapas ruído para as medições laterais ($M = 0,10$). _____	90
Figura 54. Medições com um único microfone em diferentes locais do túnel de vento. _____	92
Figura 55. (a) Descrição do conjunto de microfones; (b) Antena de microfones (LAE-1). _____	92
Figura 56. Melhoria da parede lateral e corretores de canto com a aplicação de espuma de melamina (painel branco). _____	93
Figura 57. Comparação da medição do ruído de fundo antes e depois das modificações acústicas no LAE-1. _____	93
Figura 58. Grupo de estudo - Ensaios em túnel de vento de um modelo hipersustentador 30P30N (Twente, 2020). _____	95
Figura 59. Atividades realizadas durante campanha de ensaios do hipersustentador 30P30N. _____	96
Figura 60. Sequência de desenvolvimento da pesquisa. _____	100
Figura 61. Perfil aerodinâmico laminar geral projetado (3609) para o presente estudo. _____	100
Figura 62. Asas retas e enflechadas instaladas na seção de testes do túnel de vento LAE-1. _____	101
Figura 63. Distribuição da pressão ao longo da corda da asa reta (STR) e enflechada (SWE). _____	102
Figura 64. Técnica de Termografia e processamento da imagem para detecção da frente de transição da camada limite. _____	103
Figura 65. Comparação da transição entre asa enflechada e asa reta para diferentes Re e $\alpha = 2^\circ$. _____	105
Figura 66. Departamento de Engenharia Mecânica TU-DELFT e recepção pelos professores Mario Kotsonis e Lourenço Tércio de Lima do AWEP (2023). _____	109
Figura 67. Infraestrutura e equipamentos dedicados à medição aeroacústica (cima) e túnel de vento (baixo). _____	110

Figura 68. Fluxograma geral para os 36 meses de desenvolvimento do projeto.	112
Figura 69. Reforma do mezanino do Laboratório de Aerodinâmica Experimental – LAEX.	115
Figura 70. Bancada para ensaios de hélices em escala reduzida – Detalhe 1.	116
Figura 71. Bancada para ensaio de hélices em escala reduzida – Detalhe 2.	116
Figura 72. Bancada para ensaio de hélices em escala reduzida – Detalhe 3	117
Figura 73. Bancada para ensaios de hélices em escala reduzida acoplada ao túnel de vento TV-60 Zephyr – LAEX.	117
Figura 74. Cerimônia de constituição da parceria e início das atividades de pesquisa – FEMEC (2025).	118
Figura 75. Abordagem computacional (CFD) para 80 modificações de carroceria de um SUV.	119
Figura 76. Comparação entre resultados da IA e CFD para campos de velocidade e pressão – evolução do arrasto.	120
Figura 77. Quantificação do erro absoluto entre IA e CFD.	120
Figura 78. Readequação do mezanino do LAEX para computação científica com suporte da Applus+ IDIADA.	121
Figura 79. Bloco 1DCG – Campus Glória.	128
Figura 80. Marca institucional – CPAERO (versão português).	130
Figura 81. Citações, em artigos científicos de autoria do Prof. Odenir de Almeida, nos últimos 16 anos.	135
Figura 82. Percentual de dedicação atual no âmbito de atividades da UFU.	137

Lista de Tabelas

Tabela 1. Síntese da Formação acadêmica e experiência na indústria. _____	27
Tabela 2. Relação das disciplinas ministradas na FEMEC/UFU. _____	32
Tabela 3. Atividades de orientação em trabalhos de conclusão de curso, mestrado e doutorado. _____	33
Tabela 4. Laboratórios de Ensino criados no Contexto do REUNI para o Curso de Engenharia Aeronáutica da UFU. _____	35
Tabela 5. Descrição dos professores e técnicos que usufruíram da estrutura do LEEAR. _____	35
Tabela 6. ΔC_d para Teste Físico vs Simulação (Escala 1:5) para diferentes configurações. _____	79
Tabela 7. Parâmetros aerodinâmicos de sementes versus turbina moderna. _____	84
Tabela 8. Localização da frente de transição da camada limite ao longo da corda: $450.000 \leq Re \leq 655.000$. _____	106

1. Formação Acadêmica e Inserção na Indústria Aeronáutica

Esta seção pretende descrever os três períodos iniciais de formação profissional, sendo eles a graduação, o mestrado e o doutorado. Serão detalhadas tanto as áreas de formação quanto a produção científica realizada e documentada na plataforma Lattes do CNPq. Logo após será descrita a trajetória profissional como engenheiro atuando no setor aeronáutico do Brasil e posterior ingresso no magistério superior.

1.1 Formação

A formação de um docente do magistério superior, a meu ver, é semeada na graduação e passa muito pelas mãos de professores dedicados, conscientes do seu papel de transmitir conhecimento, afeição pelo conteúdo ensinado e, sobretudo, postura como ser humano. Essa semente, se bem lançada, aliada à terra ávida por conhecimento do aluno, transformará em força pujante que o lançará rumo a um caminho de possibilidades quase que infinitas.

1.1.1 Graduação

Iniciei a graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS/UNESP em março de 1994. Já naquela época o projeto pedagógico do curso de Engenharia Mecânica tinha como missão formar engenheiros com sólida base científica e tecnológica, capacidade de conceber, projetar e operar sistemas mecânicos complexos, com visão crítica, ética e compromisso social. Enfatizava também a integração entre ensino, pesquisa e extensão, o uso de ferramentas computacionais ora em crescimento no ambiente universitário à época, a formação multidisciplinar e a aprendizagem continuada, em consonância com as Diretrizes Curriculares Nacionais e com os referenciais internacionais de formação em engenharia.

De fato, a FEIS/UNESP permitiu a mim e, colegas, uma formação ampla provendo ensino de qualidade com professores bem qualificados, acesso a laboratórios de pesquisa, visitas técnicas realizadas ao longo de 5 anos de graduação, programas de extensão como o Programa Especial de Treinamento (PET) – como era conhecido naquela época – e um ambiente muito agradável de convívio, onde os professores eram facilmente acessados e estavam em permanente contato com os alunos. Assim, logo nos primeiros semestres do curso, participei de processo seletivo e fui selecionado como aluno bolsista no PET (CAPES) Mecânica da FEIS/UNESP. Aqui, é importante destacar que o **Programa PET (Programa Especial de Treinamento)**, mantido pela CAPES na década de 1990, foi uma das principais políticas brasileiras de formação acadêmica de excelência na graduação, estruturando grupos tutoriais altamente seletivos com forte integração entre ensino, pesquisa e extensão. O programa concedia bolsas a estudantes e docentes

tutores, visando formar lideranças científicas, estimular a iniciação científica precoce e preparar recursos humanos qualificados para a pós-graduação e a carreira acadêmica. Nesse período, o PET consolidou-se como um instrumento estratégico da CAPES para fortalecer o sistema nacional de ciência e tecnologia a partir da graduação, antecedendo e complementando outras políticas de fomento, como o PIBIC.

Através do PET, como aluno bolsista CAPES, me envolvi com a pesquisa acadêmica através de Iniciações Científicas (IC), junto aos professores do ciclo básico, nas áreas de **Matemática Aplicada e Desenho Técnico**. Além disso, como parte das atividades do programa PET, estávamos envolvidos com o ensino e extensão em várias ações junto à própria comunidade acadêmica através da criação e apresentação de minicursos para os alunos da graduação da FEIS/UNESP bem como ações junto à comunidade fora da FEIS/UNESP, com por exemplo a realização e apresentação de um programa cultural de música na rádio comunitária de Ilha Solteira ou mesmo a ida a escolas públicas para divulgação de assuntos técnicos e culturais. A Figura 1 apresenta os alunos do PET Engenharia Mecânica da FEIS/UNESP em 1996.



Figura 1. Alunos do Programa Especial de Treinamento da FEIS/UNESP – 1996.

Abaixo seguem listadas as pesquisas realizadas no ciclo básico do curso de graduação em Engenharia Mecânica pela FEIS/UNESP:

1) Computação Gráfica versus Ensino de Desenho

Orientadora: Prof.^a Edmar Maria Lima Lopes

2) Equações Diferenciais Aplicadas à Corpos Submersos

Orientador: Prof. Luís Antônio Fernandes

3) Teoria de Controle Aplicada à Dinâmica de Corpos Submersos

Orientador: Prof. Luís Antônio Fernandes

4) Uma Nova Abordagem sobre o Ensino de Desenho e Computação Gráfica

Orientadora: Prof.^a Edmar Maria Lima Lopes

5) Técnicas Avançadas em Modelagem Tridimensional com o Autocad R-12 for Windows e 3dstudio 4.0

Orientadora: Prof.^a Edmar Maria Lima Lopes

Listo também na sequência, alguns cursos e palestras ministrados por mim ao longo do curso de graduação, como parte das atividades de ensino e extensão realizadas através do PET:

FLUENT 5.0 - Numerical Modeling and User Interface

Instituição: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Período: 28 de agosto a 02 de setembro de 2000.

Estudo do Escoamento ao Redor de Cilindros

Instituição: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Período: 12 de agosto de 1999.

Os 5s e o Controle da Qualidade

Instituição: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Período: 14 de maio de 1998.

A Segunda Guerra Mundial (1939-1945)

Instituição: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Período: 16 de setembro de 1997.

O Aspecto Ecológico Do Lixo

Instituição: Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS) Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Período: 28 de outubro de 1996.

Sem dúvida, a participação no Programa Especial de Treinamento foi uma faísca para o acendimento de um desejo de se tornar professor universitário.

A graduação transcorreu de maneira natural e sem tropeços (**nenhuma reprovação**) ao longo de uma extensa estrutura curricular. Já no ciclo específico, me envolvi com pesquisas mais aplicadas, como por exemplo:

6) Análise de Estruturas utilizando um Software Comercial de Elementos Finitos – Ansys

Orientador: Prof. Amarildo Tabone Paschoalini

E na sequência, já perto da conclusão do curso, me envolvi com grande interesse nas atividades realizadas no Laboratório de Mecânica dos Fluidos, na época coordenados pelos Professores Sérgio Said Mansur e Edson Del Rio. Nesse laboratório eram desenvolvidas pesquisas relacionadas ao estudo da fluidodinâmica de corpos rombudos (principalmente cilindros), através do uso de túneis de água e instrumentação via anemometria de fio quente. Nessa época, iniciava-se também um laboratório de mecânica dos fluidos computacional (CFD) com a compra de máquinas e licenças do software comercial ANSYS Fluent® em sua versão 5.0. Assim, o envolvimento com os profissionais desse laboratório e principalmente a atração pelo estudo da Mecânica dos Fluidos, desenvolvidos até o momento, conduziu-me ao processo de aceleração da conclusão do curso de graduação e a busca por uma formação complementar através do programa de mestrado da própria FEIS/UNESP.

Dos dez semestres previstos para se concluir o curso de graduação, foi possível cursar todas as disciplinas e atividades extras (como o PET, estágio, educação física – obrigatório na época), sem quaisquer reprovações, no prazo de nove semestres e meio. O título de engenheiro mecânica foi obtido em dezembro de 1998. Já no início de 1999, a inscrição no Programa de Pós-graduação da FEIS/UNESP foi deferida como aluno **bolsista FAPESP**. O trabalho de mestrado foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Fluidos, sob a supervisão do Prof. Sérgio Said Mansur.

Durante a graduação os seguintes trabalhos foram publicados em reuniões de iniciação científica e congressos:

ALMEIDA, O.; FERNANDES, L. A., Teoria de Controle Aplicada à Dinâmica de um Corpo Submerso. In: 6º Simpósio de Iniciação Científica da USP-Exatas, 1998, São Carlos. Anais do 6º Simpósio de Iniciação Científica da USP-Exatas, 1998. p. 223-223.

ALMEIDA, O.; LOPES, E. M. L., Técnicas em Modelagem Tridimensional com o AutoCAD R-12 for Windows e 3DStudio 4.0. In: VI Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1998, Ilha Solteira. Anais da VI Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1998. p. 7-7.

ALMEIDA, O.; LOPES, E. M. L., Uma Nova Abordagem sobre o Ensino de Desenho e Computação Gráfica - Relato Crítico sob o Ponto de vista do Aluno. In: VIII Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 1998. Anais do VIII Congresso de Iniciação Científica da UNESP. p. 121-121.

ALMEIDA, O.; LOPES, E. M. L., Técnicas Avançadas em Modelagem 3D com o AutoCAD R-12 for Windows e 3DStudio 4.0. In: 6º Simpósio de Iniciação Científica da USP-Exatas, 1998, São Carlos. Anais do 6º Simpósio de Iniciação Científica da USP-Exatas, 1998. p. 239-239.

ALMEIDA, O.; LOPES, E. M. L., O Ensino de Desenho e Informática Gráfica. In: V Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1996, Ilha Solteira. Anais da V Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1996. p. 2-2.

ALMEIDA, O., Teoria de Controle Aplicada a Dinâmica de um Corpo Submerso. In: V Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1996, Ilha Solteira. V Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1996. p. 4-4.

ALMEIDA, O.; LOPES, E. M. L., Computação Gráfica versus Ensino de Desenho. In: IV Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1995, Ilha Solteira. Anais da IV Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1995. p. 3-3.

ALMEIDA, O.; FERNANDES, L. A., Equações Diferenciais Aplicadas à Corpos Submersos. In: IV Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1995, Ilha Solteira. Anais da IV Reunião de Iniciação Científica da FEIS/UNESP, 1995. p. 2-2.

ALMEIDA, O.; LOPES, E. M. L., Uma Nova Abordagem sobre o Ensino de Desenho e Computação Gráfica - Relato Crítico sob o Ponto de vista do Aluno. In: X Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica, 1998, Málaga - Espanha. Actas del X Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica, Málaga - Espanha, 1998. p. 367-375.

1.1.2 Mestrado

O mestrado foi iniciado oficialmente no primeiro semestre de 1999, como aluno regular, porém desde o segundo semestre de 1998 eu já estava envolvido nas atividades de pesquisa correlata ao tema principal. O foco da pesquisa era o desenvolvimento de simulações de grandes escalas (LES) para o problema do escoamento ao redor de cilindros. Como elemento de inovação, foi sugerido detalhar a fluidodinâmica do desenvolvimento da camada limite, bolhas de recirculação, separação e recolamento, bem como esteira de vórtices emitidas por cilindros retangulares com diferentes razões de aspecto. A dissertação final recebeu o título de: **“Simulação Numérica de Grandes Escalas do Escoamento Transicional ao Redor de Cilindros de Base Quadrada e Retangular”**, sob a orientação do Prof. Dr. Sérgio Said Mansur.

Apesar do trabalho ser de natureza numérica, com o uso do software ANSYS Fluent® e programação em *User Defined Functions* (UDF's), também foi possível realizar vários experimentos – através do uso do túnel de água vertical – sobre o escoamento ao redor de cilindros o que alavancou algumas publicações sobre o tema.

Em linhas gerais, o desenvolvimento do trabalho de mestrado incorporou os seguintes conhecimentos e habilidades:

- Utilizar a metodologia de Simulação de Grandes Escalas para representar o escoamento turbulento ao redor de corpos cilíndricos de base quadrada e retangular;
- Estudar a influência da forma geométrica do obstáculo sólido sobre a dinâmica do escoamento e o comportamento da curva Strouhal \times Reynolds;
- Analisar as características turbulentas do escoamento e as instabilidades geradas em torno dos obstáculos, para altos números de Reynolds;

Embora a maior ênfase do trabalho concentrou-se na análise do escoamento adiabático e isotérmico, alguns resultados preliminares envolvendo troca de calor foram, também, apresentados, numa tentativa de relacionar a dinâmica de geração de vórtices ao processo de convecção térmica entre a superfície do cilindro e o fluido circundante. Como exemplo, a Figura 2 apresenta alguns resultados relevantes obtidos no contexto da dissertação de mestrado.

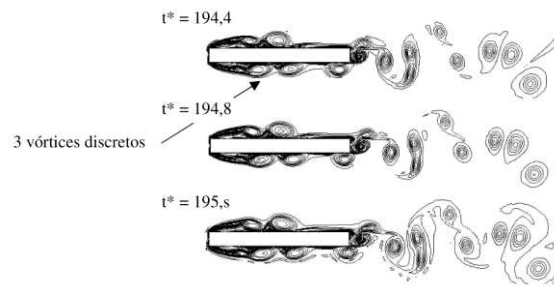
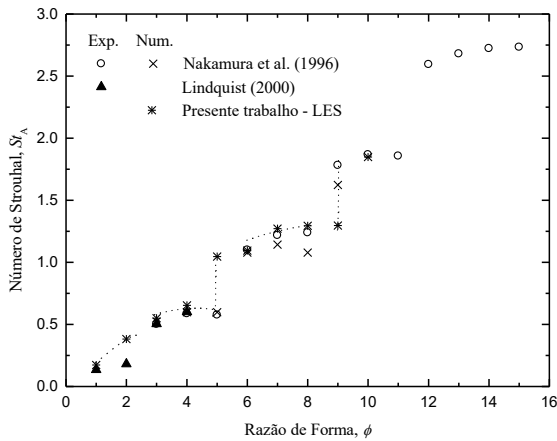


Figura 2. Curva Strouhal vs Razão de forma para cilindros retangulares – $Re = 1 \times 10^3$ e evolução temporal das linhas de isovorticidade ($\phi = 10$).

Durante o mestrado, também foi possível aprofundar nos estudos na área de turbulência dos fluidos, com a participação na **1ª Escola de Primavera em Transição e Turbulência (EPTT)** realizada em 1998 no Instituto Militar de Engenharia (IME) no Rio de Janeiro, organizada pela ABCM. O evento iniciou a tradição de incentivar estudos sobre estabilidade, transição e turbulência, promovendo o intercâmbio de conhecimentos teóricos, numéricos e experimentais entre academia e setor industrial. Também nessa época participei do **projeto institucional CAPES de cooperação interinstitucional (PROCAD / MINTER / DINTER / projetos de pesquisa cooperativos)** entre a FEIS/UNESP e a FEMEC/UFU. Essa cooperação integrou atividades de pesquisa, formação de recursos humanos e intercâmbio de docentes e discentes de pós-graduação, contribuindo para o fortalecimento dos programas de Engenharia Mecânica das duas instituições, particularmente nas linhas de escoamentos complexos, transferência de calor e simulação numérica/experimental.

A dissertação de mestrado foi defendida e aprovada em fevereiro de 2001. Em março do mesmo ano, foi solicitada a matrícula no doutorado do **programa de pós-graduação** da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) da Universidade Federal de Uberlândia.

Durante a pós-graduação (mestrado) os seguintes trabalhos foram publicados em congressos:

ALMEIDA, O.; VIEIRA, E. R.; MANSUR, S. S., Strouhal Number Determination of a Semi-circular Cylinder at Different Attack Angles. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 2001, Uberlândia. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 2001.

ALMEIDA, O.; MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Numerical Study of Vortex Shedding Process from Rectangular Cylinders with Side Ratio Between 1 and 4. In: VIII Congresso

Latinoamericano de Transferencia de Calor y Matéria, LATCYM, 2001, Vera Cruz. VIII Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Matéria, LATCYM, 2001.

ALMEIDA, O.; MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Numerical Simulations of the Laminar and Turbulent Vortex Shedding from Rectangular Cylinders. In: 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, 2001, Uberlandia. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 2001.

ALMEIDA, O.; LINDQUIST, C.; MANSUR, S. S.; VIEIRA, E. R.; SILVEIRA NETO, A. , Numerical and Experimental Visualisation of Square Cylinder Wakes. In: Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM 2000, 2000, Natal. Anais CD-ROM do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM 2000, 2000.

ALMEIDA, O.; MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Numerical Simulation of the Flow Around a Square Cylinder at Low-Reynolds Number: The Domain Size Influence. In: 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Térmica e Ciências - ENCIT 2000, 2000, Porto Alegre. Anais CD-ROM do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Térmica e Ciências - ENCIT 2000, 2000.

ALMEIDA, O.; LINDQUIST, C.; MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Estudo Numérico e Experimental do Escoamento ao Redor de Cilindros de Base Quadrada: Influência da Razão de Bloqueio. In: 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Térmica e Ciências - ENCIT 2000, 2000, Porto Alegre. Anais CD-ROM do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Térmica e Ciências - ENCIT 2000, 2000.

LINDQUIST, C.; **ALMEIDA, O. ;** MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Estudo Numérico e Experimental do Escoamento ao Redor de Cilindros Retangulares: Influência da Razão de Forma. In: 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Térmica e Ciências - ENCIT 2000, 2000, Porto Alegre. Anais CD-ROM do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia Térmica e Ciências - ENCIT 2000, 2000.

ALMEIDA, O.; MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Investigation of Numerical Parameters in Computation of Flow Past Around Square Cylinders. In: 9º Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica - IV Congreso Nacional de Energía, Valparaíso, 2000, Valparaíso. Anais CD-ROM 9º Congreso Chileno de Ingeniería Mecánica - IV Congreso Nacional de Energía, Valparaíso, 2000.

ALMEIDA, O.; MANSUR, S. S.; SILVEIRA NETO, A. , Numerical Analysis of the 2d Turbulent Vortex Shedding Flow Around A Square Cylinder. In: II Escola de Primavera em Transição e Turbulência, 2000. Anais da II Escola de Primavera em Transição e Turbulência.

1.1.3 Trajetória na Indústria Aeronáutica

Ao longo das atividades de mestrado, o interesse pela área de Mecânica dos Fluidos e pelas técnicas experimentais e numéricas foi aumentando gradativamente e a participação em congressos também permitiu o contato com profissionais da indústria que trabalhavam com aplicações específicas, como o caso da aerodinâmica de aeronaves. No ENCIT 2000, realizado em Porto Alegre, tive a oportunidade de conhecer engenheiros da **Empresa Brasileira de Aeronáutica – EMBRAER S.A**, os quais também tiveram contato com os resultados da minha dissertação de mestrado. Na época a EMBRAER iniciava a fabricação e o desenvolvimento das aeronaves a jato de transporte regional, também conhecidos com ERJ's com aeronaves de 70 a 90 assentos, hoje denominadas de família E1. Para um projeto tão ousado como esse, a EMBRAER necessitava de mão de obra qualificada em diversas áreas, sendo uma delas a **Mecânica dos Fluidos Computacional (CFD)**, pagando salários bastante atrativos além de benefícios (plano de saúde, assistência odontológica, clube social, participação nos lucros e resultados).

Naqueles meses subsequentes, tive que tomar uma decisão importante pois já tinha família para sustentar (esposa e filha). A proposta de trabalhar em uma das 3 maiores fabricantes de aeronaves do mundo era quase que irrecusável. Aliava-se o fato de que iria trabalhar com aquilo que tinha aprendido durante o mestrado, além do desafio de fazer parte de um momento histórico na aviação mundial conjuntamente com o orgulho de trabalhar em uma empresa brasileira de grande envergadura. Desta forma, decidi suspender as minhas atividades de doutorado na Universidade Federal de Uberlândia e seguir uma trajetória indústria aeronáutica brasileira. Fiz isso de maneira consciente, acordada com a minha família, todavia sem afastar ou cessar a vontade de continuar os estudos no formato de um doutorado, o qual poderia ser viabilizado no **Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA** em São José dos Campos – SP.

Portanto, entre julho de 2001 e janeiro de 2010 atuei como engenheiro de desenvolvimento de produtos na Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. (EMBRAER), desempenhando atividades nas áreas de **Propulsão (2001-2006)** e **Desenvolvimento Tecnológico (2006-2010)**. Essa etapa constituiu um período fundamental de formação tecnológica avançada, no qual tive contato direto com problemas complexos de engenharia aeronáutica em ambiente industrial de alta exigência técnica, regulatória e de segurança.

Minhas atividades envolveram o desenvolvimento e a integração de sistemas propulsivos, a realização de simulações numéricas e ensaios experimentais em aerodinâmica e aeroacústica, bem como a avaliação de ruído externo de aeronaves. Essa experiência permitiu a aplicação prática de métodos computacionais e experimentais em escala industrial, complementando e aprofundando a formação adquirida no mestrado. A Figura 3 ilustra a minha participação e coordenação em uma das

campanhas de ensaio em voo da aeronave ERJ-170 (à época) – **Ensaio de Decolagem em Alta Altitude (*High Altitude Takeoff*)** – como parte dos requisitos para a certificação de desempenho dessa aeronave. O ensaio foi realizado no Aeroporto de El Alto em La Paz, Bolívia em 2004.



Figura 3. Ensaio de certificação da aeronave ERJ-170 em La Paz na Bolívia (2004).

A vivência industrial foi decisiva para a definição da temática do meu doutorado, direcionando minha atuação para aeroacústica, interação fluido-estrutura e aerodinâmica experimental. A experiência acumulada na EMBRAER influenciou posteriormente a criação de linhas de pesquisa, infraestrutura experimental e projetos de cooperação universidade–indústria ao longo de minha carreira acadêmica.

Esse período consolidou minha visão integrada entre ciência fundamental, engenharia aplicada e inovação tecnológica, que tem orientado minha atuação como pesquisador, orientador e coordenador de laboratórios na Universidade Federal de Uberlândia. Sou e serei eternamente grato por essa experiência na indústria aeronáutica brasileira. Muitas pessoas me apoiaram e me ajudaram nessa jornada ao longo de 10 anos na EMBRAER e, para não listar nomes, expresso a minha gratidão através da Figura 4.



Figura 4. Contemporâneos na Engenharia de Sistemas de Propulsão – EMBRAER – (2006).

1.1.4 Doutorado

Conforme mencionado, a escolha de ir para a indústria aeronáutica foi consciente e motivada pela oportunidade de ter uma formação tecnológica avançada, pela transferência de conhecimento academia-indústria e possibilidade de realizar pesquisa aplicada e inovação. Nesse contexto, a empresa possibilitou um horário dedicado semanalmente para o desenvolvimento de um tema de tese motivado por demandas tecnológicas reais da EMBRAER, permitindo a minha matrícula no Programa de Pós-graduação do Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA.

O doutorado em Engenharia Mecânica foi realizado no **Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)** entre 2004 e 2009, tendo como período regular 2006-2009, em paralelo às atividades desempenhadas como engenheiro de desenvolvimento de produtos na EMBRAER. O tema da tese foi diretamente relacionado a desafios tecnológicos relevantes para a indústria aeronáutica naquela época, permitindo a integração entre pesquisa acadêmica avançada e aplicações industriais de alta complexidade. Na época, um dos grandes desafios era a certificação de ruído das aeronaves ERJ-170 e ERJ-190, devido ao peso e ao posicionamento dos motores *turbofan's* embaixo das asas, o que poderia elevar os níveis de ruído devido ao jato de ar dos motores nas fases de proximidade com a comunidade (pouso e decolagem). O tema proposto, portanto, foi o estudo da aeroacústica de jatos coaxiais para aplicação em motores *turbofan*, sob a orientação do Prof. João Roberto Barbosa, vinculado ao **Centro de Referência em Turbinas a Gás** do ITA. Portanto, a pesquisa teve como abordagem a modelagem e análise do ruído gerado por escoamentos turbulentos compressíveis — um dos principais desafios tecnológicos da indústria aeronáutica moderna, especialmente em

face das regulamentações ambientais internacionais. Desta forma, os objetivos específicos foram abordados assim:

- Subsidiar o desenvolvimento do Programa de Desempenho de Turbinas a Gás, fornecendo informações sobre a aeroacústica de jatos coaxiais.
- Descrever, implementar e validar um método semiempírico mais recente para a previsão do ruído de jatos coaxiais.
- Descrever e implementar um modelo matemático para a previsão do ruído de jatos coaxiais através do uso de métodos semiempíricos e de análise de aerodinâmica computadorizada (CAA) baseados nas equações de Lilley, utilizando o método baseado em números aleatórios de estados aleatórios (RANS). Abordagens bidimensionais e tridimensionais são consideradas para fornecer uma ferramenta rápida para prever o ruído de jatos com essas configurações.
- Compreender os parâmetros utilizados na definição do termo fonte, como escala de tempo, escala de comprimento e velocidade de convecção, e verificar o efeito desses parâmetros na previsão do ruído de jatos coaxiais. A dependência da frequência desses parâmetros é avaliada e modificações são propostas para o modelo acústico.
- Avaliar os efeitos da anisotropia da turbulência no jato e seus efeitos na previsão do ruído.
- Avaliar os efeitos da intensidade da fonte dipolar na previsão do ruído devido ao escoamento primário aquecido em uma configuração real de motor.
- Estudar as variáveis do escoamento do jato coaxial, como velocidade e relação de área, e sua influência no ruído total.
- Comparar os resultados numéricos com dados experimentais para um sistema de bocal de exaustão real e, conseqüentemente, fornecer uma ferramenta geral para ser usada no projeto.

A Figura 5 ilustra os principais bocais coaxiais utilizados na pesquisa.

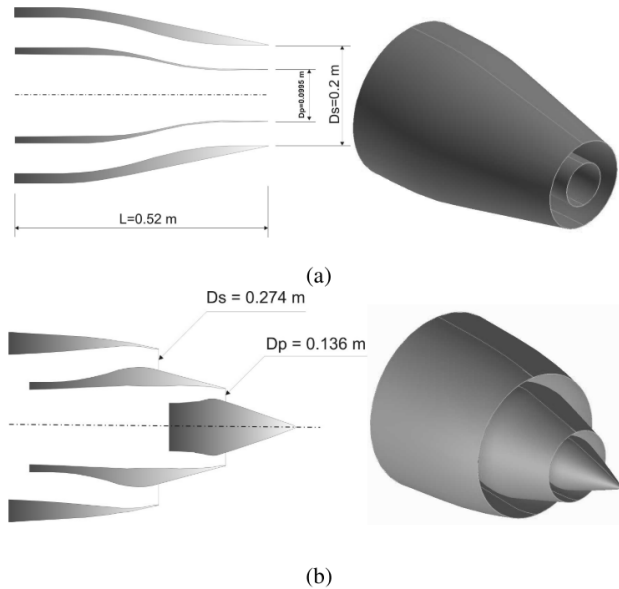


Figura 5. Geometria do bocal para o escoamento de jato coaxial – (a) coplanar; (b) carenagem curta.

Complementando, através da Figura 6 são ilustrados alguns resultados aeroacústicos relevantes obtidos e com possível aplicação na indústria.

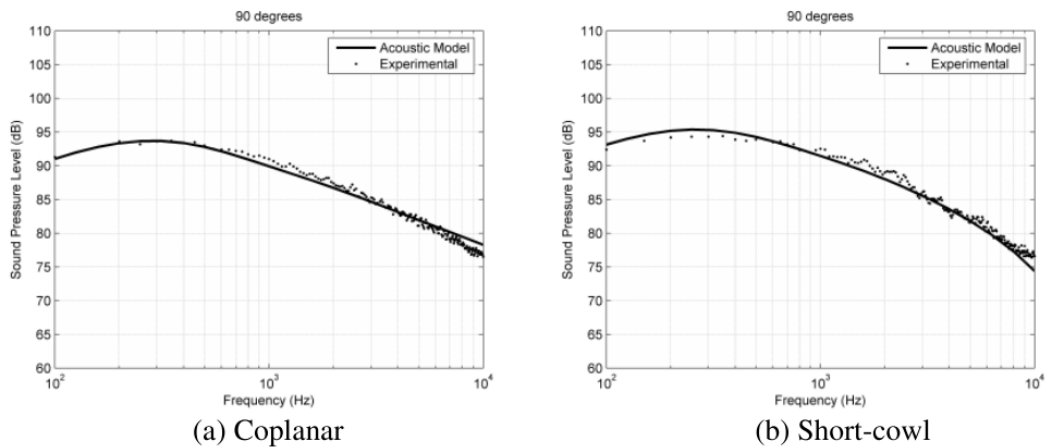


Figura 6. Previsão de ruído a 90° para: (a) bocais coplanares; (b) bocais de carenagem curta – VR = 1,0.

O doutorado foi desenvolvido **em paralelo às atividades profissionais na indústria aeronáutica**, em um contexto de forte interação entre academia e setor produtivo. Devido ao “gap” de conhecimento nesta área no Brasil, foi estabelecida também uma parceria com universidades no exterior, bem como treinamento especializado com cursos de aeroacústica realizados no **Institute of Sound and Vibration (ISVR)** da Universidade de Southampton no Reino Unido, bem como a participação em eventos como a conferência em aeroacústica do CEAS/AIAA (*Council of European Aerospace Societies*) e *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA)*. Essa configuração

possibilitou o desenvolvimento de pesquisa aplicada em ambiente industrial, com acesso a dados, infraestrutura e problemas reais de engenharia, ao mesmo tempo em que garantiu rigor científico, originalidade e contribuição acadêmica.

A interação contínua entre universidade e indústria durante o doutorado foi decisiva para a consolidação de minha formação científica independente e orientou posteriormente a criação de linhas de pesquisa, laboratórios experimentais e projetos de cooperação universidade–indústria ao longo de minha carreira acadêmica.

1.1.5 Formação no Exterior (Doutorado Sanduíche)

Durante o doutorado neste contexto industrial, tive a oportunidade de receber uma bolsa CAPES para a realização de estágio sanduíche de 12 meses no **Institute of Sound and Vibration Research (ISVR), na Universidade de Southampton, Reino Unido (2008)**, um dos centros de excelência mundial em aeroacústica e vibrações. Nesse período sabático, desenvolvi atividades de pesquisa em aeroacústica de jatos turbulentos, sob a orientação do Prof. Dr. Rod Self, aprofundando a análise experimental e teórica de mecanismos de geração de ruído em escoamentos compressíveis, em interação com pesquisadores de referência internacional na área. Durante esse período, consegui finalizar a modelagem numérica de jatos coaxiais com o foco na determinação do ruído gerando resultados importantes no contexto da pesquisa e aplicação aeronáutica. Ao longo de 12 meses também tive a oportunidade de visitar a **Empresa Rolls-Royce** motores aeronáuticos em Derby, UK e a **QinetiQ** em Farnborough, uma empresa de P&D e engenharia avançada em defesa, aeroespacial, testes e avaliação, sensores, simulação, materiais, aerodinâmica/aeroacústica, onde foram coletados resultados experimentais para a validação da modelagem numérica. A Figura 7 ilustra um dos laboratórios utilizados no ISVR bem como colegas em um curso de formação em aeroacústica industrial ministrado por vários professores daquele instituto à época.

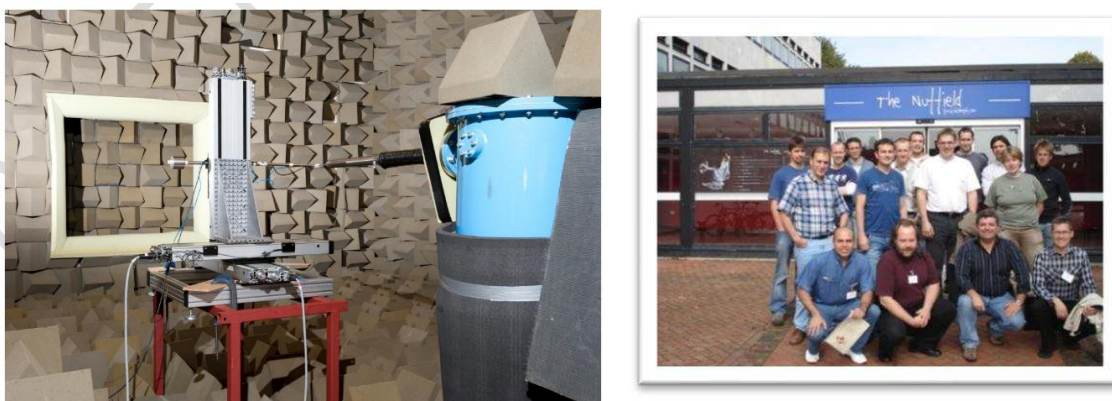


Figura 7. Doak Laboratory e alunos do Curso de Aeroacústica Industrial no ISRV.

A experiência no ISVR foi fundamental para a consolidação da minha formação científica em aeroacústica, permitindo contato com metodologias avançadas de instrumentação, processamento de sinais e modelagem física, além de fortalecer a perspectiva internacional da minha atuação acadêmica e científica.

O doutorado cujo título foi “***Aeroacoustics of Dual-stream Jets with Application to Turbofan Engines***” foi defendido no dia 26 de junho de 2009.

Abaixo, através da Tabela 1 apresento uma síntese da minha formação acadêmica

Tabela 1. Síntese da Formação acadêmica e experiência na indústria.

Nível	Instituição	Área	Ano	Observações
Graduação	FEIS/UNESP	Eng. Mecânica	1998	
Mestrado	FEIS/UNESP	Eng. Mecânica	2001	
Indústria	EMBRAER	Eng. Aeronáutica	-	Engº de desenvolvimento de produto e Engº de P&D
Doutorado	ITA	Eng. Aeronáutica	2009	Sanduiche ISVR/University of Southampton (2008)

Por fim, é importante contextualizar as publicações realizadas entre 2001 e 2010, período que contempla a atuação como engenheiro na EMBRAER S.A e a formação de doutorado. As seguintes publicações são listadas:

AFLALO, B. S.; **ALMEIDA, O.**; BARBOSA, J. R., CFD and CAA Analysis of Single Stream Isothermal Jets with Noise Suppression Devices. In: 16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2010, Stockholm. 16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2010.

ALMEIDA, O.; SILVEIRA NETO, A.; BARBOSA, J. R.; SELF, R. H., Turbulence as Sound Source in Subsonic Jets. In: VII Escola de Primavera de Transição e Turbulência, 2010, Ilha Solteira. EPTT2010 VII Escola de Primavera de Transição e Turbulência, 2010.

Silva, T. A.; Ferreira, F. G. T.; **ALMEIDA, O.**; SILVEIRA NETO, A., Direct Sound Computation of a Flow Past a Square Cylinder at Low Mach and Low Reynolds Numbers. In: 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Uberlândia. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010.

ALMEIDA, O.; Silva, T. A.; SILVEIRA NETO, A., Analysis of a Single Subsonic Jet Interacting with a Flat Plate. In: 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Uberlândia. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010.

SILVA, C. R. I.; LINDQUIST, C.; **ALMEIDA, O.**; VIEIRA, E. R.; MANSUR, S. S., Experimental Characterization of the Flow Around Non-Circular Cylinders and Spheres. In: 13th

Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010, Uberlândia. 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, 2010.

ALMEIDA, O.; BARBOSA, J. R.; SELF, R. H.; AZARPEYVAND, M., Revisiting the Role of Anisotropy for Jet Noise Modeling. In: 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2009, Miami. 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2009.

SILVA, C. R. I.; **ALMEIDA, O.**; MENEGHINI, J. R., Numerical and Empirical Approaches for Jet Noise Reduction: Investigation of Co-flow Effects. In: 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2009, Miami. 15th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2009.

SANTANA, L. D.; SOUZA, L. F.; ALMEIDA, O.; SOUZA, F. J., Comparison of Different Formulation and Boundary Conditions for Computational Aeroacoustics. In: 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2008, Reno. 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 2008.

AFLALO, B. S.; **ALMEIDA, O.**; BARBOSA, J. R., Aeroacoustics Analysis of Single Jet with Noise Suppression Devices. In: 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2008, Belo Horizonte. Proceedings of ENCIT 2008, 2008.

SILVA, C. R. I.; **ALMEIDA, O.**, Investigation of an Axis-symmetric Subsonic Turbulent Jet Using Computational Aeroacoustics Tools. In: 13th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2007, Rome. 13th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2007.

SILVA, C. R. I.; **ALMEIDA, O.**; MANSUR, S. S., Aeroacoustics Analysis of the Flow from Single Nozzles Operating at Subsonic Speeds. In: 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasilia. 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007.

ALMEIDA, O.; SOUZA, F. J., Evaluation of Boundary Conditions for Aeroacoustics. In: 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasilia. 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007.

ALMEIDA, O.; SILVA, C. R. I., Validation of Radiated Sound from a Mach 0.75 Jet. In: 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007, Brasília. 19th International Congress of Mechanical Engineering, 2007.

ALMEIDA, O.; SOUZA, F. J., An Overview of High-resolution Schemes for Aeroacoustics. In: 11th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2006, Curitiba. 11th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2006.

TOMITA, J. T. ; BRINGHENTI, C.; POZZANI, D.; BARBOSA, J. R.; JESUS, A. B.; **ALMEIDA, O.**; OLIVEIRA, Guilherme Lara de., Overview on Nacelle Design. In: 18th International Congress of Mechanical Engineering, 2005, Ouro Preto. Proceedings of COBEM 2005, 2005.

OLIVEIRA, Guilherme Lara de; SANTOS, Luis Carlos de Castro; TRAPP, Luis Gustavo; **ALMEIDA, O.**, Conjugate heat transfer methodology for aircraft pylon analysis. In: 21st AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2003, Orlando. 21st AIAA Applied Aerodynamics Conference, 2003.

ALMEIDA, O.; OLIVEIRA, Guilherme Lara de; TRAPP, Luis Gustavo, CFD Analysis of Suppression Effects in a Commercial Aircraft's Turbofan Engine. In: 9th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences, 2002, Caxambu. ENCIT 2002, 2002.

BRODT, Claudio Sade; OLIVEIRA, Guilherme Lara de; **ALMEIDA, O.**, A Design Methodology for Civil Subsonic Nacelles Based on CFD. In: FLUENT User's Group Meeting, UGM, 2002, New Hampshire. FLUENT User's Group Meeting, UGM, 2002.

2. Trajetória na Carreira Docente - Universidade Federal de Uberlândia

Minha carreira docente foi desenvolvida integralmente na Universidade Federal de Uberlândia ao longo dos últimos 16 anos (2010-2026), envolvendo atividades integradas de ensino, pesquisa, extensão e gestão acadêmica. Nesse período, atuei na consolidação da área de **Aerodinâmica Experimental e Computacional** no âmbito do **Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica**, contribuindo para a formação de recursos humanos qualificados, implantação de infraestrutura laboratorial e fortalecimento da inserção científica e tecnológica da instituição.

Tudo começa em 2009 quando a Universidade Federal de Uberlândia criou, no âmbito do **Programa REUNI**, o curso de graduação em Engenharia Aeronáutica, que começou a ser oferecido pela Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) no primeiro semestre de 2010. Em 2009 aconteceu o primeiro concurso público na área de Termo fluidos para a contratação de professores. Após a realização do concurso fui contemplado com uma das vagas e pude efetivar a minha transferência para a UFU em **13 de janeiro de 2010** quando tomei posse efetivamente do cargo.

Gostaria de ressaltar que durante os anos de qualificação no programa de doutorado, fui me aproximando cada vez mais do meio acadêmico, tanto através de universidades no Brasil como a FEIS/UNESP, Universidade Nacional de Brasília (UNB), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) e a própria Universidade Federal de Uberlândia. Essa proximidade acentuou a minha vontade de atuar no ensino superior e, após a conclusão do doutorado, abriu-se essa oportunidade para a realização desse sonho.

A seguir, a trajetória na carreira docente será apresentada de forma estruturada, organizada em partes temáticas correspondentes aos eixos de atuação acadêmica, a saber: **ensino, pesquisa, extensão e gestão acadêmica**. Essa organização permite evidenciar, de maneira integrada e analítica, as contribuições ao longo desses 16 anos de atuação na Universidade Federal de Uberlândia, destacando a evolução das atividades, o impacto institucional e a consolidação de uma linha de atuação acadêmica e científica.

2.1 Atividades de Ensino

As atividades de ensino constituem um dos eixos centrais da minha atuação docente, abrangendo principalmente disciplinas na graduação, desenvolvimento de material didático, orientação acadêmica e inovação pedagógica. Ao longo de 16 anos de atuação na Universidade Federal de Uberlândia, busquei integrar fundamentos teóricos, métodos experimentais e computacionais, bem como problemas reais de engenharia,

contribuindo para a formação de engenheiros e pesquisadores com sólida base científica e tecnológica.

Inicialmente, a vaga do concurso prestado previa apenas ministrar disciplinas voltadas para o Curso de Engenharia Aeronáutica, recentemente criado na UFU à época. Porém, a realidade é que o docente precisa auxiliar as coordenações dos cursos de graduação e ministrar aquelas disciplinas que apresentem demanda imediata. Isso se fez necessário junto aos Cursos de Engenharia Mecânica e Mecatrônica. Assim, iniciei a disciplina de **Fundamentos de Aeronáutica I** junto ao Curso de Engenharia Aeronáutica e logo em seguida as disciplinas de **Transferência de Calor I** (teórica e experimental) e **Mecânica dos Fluidos** (teórica e experimental) nos anos iniciais da minha trajetória na UFU. A Figura 8 ilustra reportagem sobre a criação do Curso de Engenharia Aeronáutica e uma das primeiras aulas ministradas.



Figura 8. Reportagem sobre o Curso de Engenharia Aeronáutica e uma das primeiras aulas ministradas.

A Tabela 2 – na página seguinte - apresenta o quadro de disciplinas ministradas na UFU ao longo desses 16 anos de atuação:

O quadro de disciplinas ministradas – Tabela 2 - ao longo da carreira docente evidencia uma atuação contínua e estruturante na formação em Engenharia Mecânica e principalmente em Engenharia Aeronáutica, abrangendo tanto disciplinas básicas quanto disciplinas avançadas e optativas especializadas. Nos primeiros anos, atuei em disciplinas fundamentais da Engenharia Mecânica, como Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, contribuindo para a formação dos fundamentos físico-matemáticos dos estudantes. A partir da consolidação do curso de Engenharia Aeronáutica, passei a atuar de forma sistemática em disciplinas nucleares, como **Fundamentos de Aeronáutica I**, **Aerodinâmica Aplicada** e **Aeroacústica**, ministradas de maneira recorrente ao longo de mais de uma década, o que demonstra continuidade, aprofundamento temático e compromisso com a formação curricular.

Tabela 2. Relação das disciplinas ministradas na FEMEC/UFU.

Disciplina	Curso	Período
Mecânica dos Fluidos	Eng ^a Mecânica / Mecatrônica	2010 - 2012
Transferência de Calor I	Eng ^a Mecânica	2010
Transferência de Calor II	Eng ^a Mecânica	2010
Fundamentos de Aeronáutica I	Eng ^a Aeronáutica	2011 - 2025
Introdução à Engenharia Aeronáutica	Eng ^a Aeronáutica	2013 - 2014
Aerodinâmica Aplicada	Eng ^a Aeronáutica	2013 - 2026
Aeroacústica	Eng ^a Aeronáutica	2014 - 2026
Aerodinâmica de Veículos Automotivos (optativa)	Eng ^a Aeronáutica	2015, 2016, 2018, 2020, 2022, 2024
Homologação de Aeronaves	Eng ^a Aeronáutica	2018
Tópicos Especiais em Engenharia Aeronáutica I	Eng ^a Aeronáutica	2022
Fundamentos de Energia Eólica		
Tópicos Especiais em Engenharia Aeronáutica IV	Eng ^a Aeronáutica	2025
Projeto de Hélices para Propulsão Aeronáutica		
Fundamentos de Aeronáutica	Eng ^a Aeronáutica	2026
Projeto de Conclusão de Curso	Eng ^a Aeronáutica	2011 - 2026

Além das disciplinas obrigatórias, ministrei disciplinas optativas e tópicos especiais, como **Aerodinâmica de Veículos Automotivos**, **Fundamentos de Energia Eólica** e **Projeto de Hélices para Propulsão Aeronáutica**, refletindo a incorporação de temas emergentes, a interface com a indústria e a atualização permanente do conteúdo programático. Essa atuação no ensino permitiu a integração entre fundamentos teóricos, métodos experimentais e computacionais, além da articulação com atividades de pesquisa e extensão, contribuindo de forma sistemática para a formação de engenheiros e pesquisadores qualificados ao longo de 16 anos de atuação docente.

Ao longo desse período, também atuei de forma contínua no acompanhamento e orientação de estudantes na disciplina de **Projeto de Conclusão de Curso (PCC)**, orientando trabalhos nas áreas de aerodinâmica, aeroacústica, mecânica dos fluidos e sistemas propulsivos. Essas atividades permitiram a integração entre ensino, pesquisa e aplicação tecnológica, estimulando os estudantes a desenvolverem projetos com base científica sólida e, em muitos casos, alinhados às linhas de pesquisa do grupo e às demandas da indústria. A orientação de trabalhos de conclusão de curso contribuiu, assim, para a formação de engenheiros com capacidade de investigação, inovação e atuação profissional qualificada.

Além da graduação, atuar em programa de pós-graduação é sempre um dos objetivos do docente que executa pesquisas e que tem o interesse na orientação. Apesar de não estar oficialmente credenciado ao programa de pós-graduação da FEMEC, ao longo desse período realizei a coorientação de dissertações de mestrado e de doutorado. A Tabela 3 quantifica as atividades de orientação já realizadas e atuais.

Tabela 3. Atividades de orientação em trabalhos de conclusão de curso, mestrado e doutorado.

Orientação / Co-orientação	Quantidade	Situação
Trabalhos de Conclusão de Curso	35	Concluídos
Mestrado	5	Concluídos
Doutorado	1	Concluídos
Mestrado em andamento	4	Em andamento

É importante salientar que a atuação contínua e sistemática na orientação de trabalhos de conclusão de curso deu origem a dissertações de mestrado e publicações científicas. Em síntese, as atividades de ensino desenvolvidas caracterizam-se por continuidade, abrangência temática e integração com pesquisa e extensão, envolvendo disciplinas fundamentais e avançadas na graduação, bem como a orientação sistemática de trabalhos de conclusão de curso. Essa atuação contribuiu para a consolidação da formação em Aeronáutica na instituição, para a qualificação de recursos humanos e para a articulação entre fundamentos teóricos, métodos experimentais e aplicações tecnológicas, refletindo um compromisso permanente com a excelência acadêmica e a formação de engenheiros e pesquisadores.

2.1.1 Criação dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica

Nos primeiros anos de implantação do Curso de Engenharia Aeronáutica da Universidade Federal de Uberlândia, atuei diretamente na liderança das atividades organizacionais e estruturantes do curso, na condição de Coordenador (ver seção de Atividades de Gestão). Nesse período, foi necessário um esforço institucional intenso e continuado para a concepção, planejamento, especificação técnica e aquisição de equipamentos, bens permanentes e materiais de consumo destinados à criação de uma infraestrutura laboratorial abrangente. Essa estrutura foi projetada para atender integralmente às disciplinas específicas do curso, garantindo a formação experimental dos estudantes em aerodinâmica, propulsão, estruturas, sistemas e demais áreas nucleares da Engenharia Aeronáutica. O processo envolveu a elaboração de projetos de laboratórios, definição de prioridades pedagógicas, interação com fornecedores, planejamento orçamentário e execução de compras públicas, consolidando uma base física e instrumental essencial para a consolidação acadêmica do curso e sua acreditação junto aos órgãos reguladores.

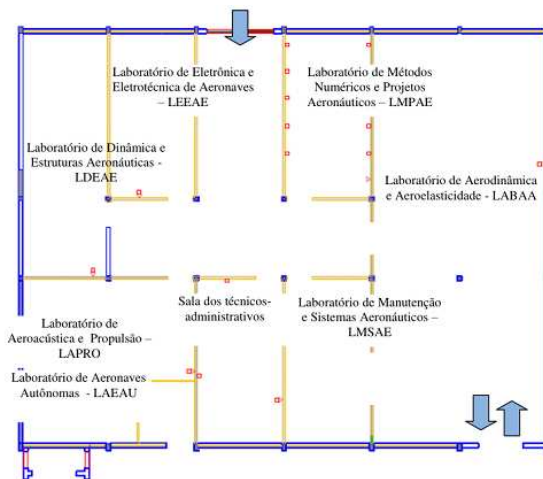
Nesse contexto, vale ressaltar que o **REUNI (Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais)** foi instituído em **2007 (Decreto nº 6.096/2007)** e teve como objetivo central **expandir o acesso ao ensino superior público federal com qualidade e eficiência acadêmica**. Esse programa representou um marco na consolidação e expansão da Universidade Federal de Uberlândia, promovendo a ampliação do acesso ao ensino superior, a interiorização de

campi, a diversificação da oferta acadêmica e o fortalecimento da infraestrutura de ensino, pesquisa e extensão. Nesse contexto, a expansão institucional viabilizada pelo REUNI esteve diretamente associada à consolidação da carreira docente aqui desenvolvida, permitindo a ampliação das atividades de ensino de graduação, a estruturação de novas disciplinas e laboratórios, bem como a intensificação de ações extensionistas voltadas à integração universidade–sociedade. A política de expansão também favoreceu a formação de recursos humanos qualificados e a inserção da universidade em redes nacionais e internacionais de pesquisa, reforçando seu papel estratégico no desenvolvimento científico, tecnológico e socioeconômico regional e nacional.

No contexto do Curso de Engenharia Aeronáutica, os seguintes laboratórios de ensino foram efetivamente criados e tiveram uma estrutura básica de equipamentos, insumos e espaço físico alocados para o pleno funcionamento. Foi um trabalho árduo, realizado entre os anos de 2011 e 2014 que resultou em boa parte da estrutura e equipamentos que temos hoje. Esses laboratórios foram incluídos em uma estrutura funcional e nomeados de **LEEAR – Laboratórios de Ensino de Engenharia Aeronáutica**, sob a minha coordenação, sendo o espaço físico alocado no Bloco 1A – conforme exposto na Figura 9.



(a) Bloco 1A



(b) Layout do LEEAR

Figura 9. Criação e estruturação dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica – LEEAR (2014).

A cerimônia de inauguração foi conduzida por mim no dia 12/05/2014 tendo como ouvintes o diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica – Prof. Dr. Domingos Alves Rade - comunidade UFU representada pelo reitor e pró-reitores bem como os alunos do Curso de Engenharia Aeronáutica da FEMEC, naquela ocasião. A Tabela 4 lista os principais laboratórios montados nessa estrutura física do LEEAR.

A Tabela 5, apresenta a descrição dos professores (docentes) e auxiliares técnicos (técnicos administrativos) que usufruíram do espaço físico do LEEAR até 2019.

Tabela 4. Laboratórios de Ensino criados no Contexto do REUNI para o Curso de Engenharia Aeronáutica da UFU.

Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica (LEEAR)	Laboratório de Aerodinâmica e Aeroelasticidade - LABAA
	Laboratório de Aeronaves Autônomas – LAEAU
	Laboratório de Dinâmica e Estruturas Aeronáuticas - LDEAE
	Laboratório de Aeroacústica e Propulsão - LAPRO
	Laboratório de Métodos Numéricos e Projetos de Aeronaves - LMPAE
	Laboratório de Eletrônica e Eletrotécnica de Aeronaves - LEEAE
	Laboratório de Manutenção e Sistemas Aeronáuticos - LMSAE

Tabela 5. Descrição dos professores e técnicos que usufruíram da estrutura do LEEAR.

Nome	Qualificação	Disciplinas	Uso médio semanal
Odenir de Almeida Área de Aerodinâmica & Aeroacústica	Prof., Dr.	FEMEC43011 FEMEC43012 FEMEC43071 FEMEC43092	8h/semana
Roberto Mendes Finzi Neto Área de Eletrônica & Eletrotécnica	Prof., Dr.	FEMEC33051 FEMEC33071	4h/semana
Aldemir Ap. Cavalini Jr. Área de Estruturas	Prof., Dr.	FEMEC43084 FEMEC43061 + (optativas)	4h/semana
Ruham Pablo Reis Área de Materiais e Processos de Fabricação	Prof., Dr.	FEMEC43040	2h/semana
Giuliano Gardolinski Venson Área de Projetos e Manutenção Aeronáutica	Prof., Msc.	FEMEC43085 FEMEC43090 FEMEC43091 FEMEC43072	6h/semana
Domingos Alves Rade Área de Projetos Estruturas Aeronáuticas	Prof., Dr.	FEMEC43073	2h/semana
Thiago Guimarães Área de Projetos Estruturas Aeronáuticas	Prof., Msc.	FEMEC43080 FEMEC43082 FEMEC43050 FEMEC43060	6h/semana
Leonardo Sanches Área de Projetos Estruturas Aeronáuticas	Prof., Dr.	FEMEC43081 FEMEC43093 + (optativas)	4h/semana
Francisco José de Souza Área de Mecânica dos Fluidos Computacional	Prof., Dr.	FEMEC43083 + (optativas)	2h/semana
Luiz Eduardo Quirino	Técnico-Administrativo	Suporte técnico	40h/semana
Reinaldo Tomé Paulino	Técnico-Administrativo	Suporte técnico	40h/semana

Ainda, como coordenador do LEEAR (conjuntamente com a coordenação do curso), tinha que atender às demandas de equipamentos, materiais e ferramentas necessárias à execução das aulas práticas previstas no plano de ensino da(s) disciplina(s) listadas na Tabela 5, propor melhorias nas atividades didáticas, zelar pelos equipamentos e o seu uso correto e auxiliar na reparação deles, quando necessário e pertinente.

Embora o processo de implantação da infraestrutura laboratorial tenha sido marcado por elevada carga de trabalho técnico, administrativo e institucional, exigindo dedicação contínua ao longo de vários anos, os resultados obtidos justificam plenamente o esforço empreendido. A consolidação de laboratórios de ensino modernos e plenamente operacionais possibilitou a oferta de uma formação experimental robusta, alinhada às melhores práticas nacionais e internacionais, contribuindo decisivamente para a qualidade da graduação, para a formação de recursos humanos altamente qualificados e para o fortalecimento das atividades de pesquisa e extensão do curso. Esse conjunto de ações estruturantes constituiu um marco fundamental na consolidação do **Curso de Engenharia Aeronáutica da UFU** e representa um legado institucional duradouro para a Universidade. As Figuras 10 e 11, respectivamente, ilustram imagens dos respectivos laboratórios montados no interior do Bloco 1A da UFU à época.



Figura 10. Dependências dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica – LEEAR – Parte I.



Figura 11. Dependências dos Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica – LEEAR – Parte II.

2.2 Atividades de Extensão

Ao entrar no ensino superior, temos a real visão da abrangência da carreira, uma vez que temos que atuar no tripé de sustentação **Ensino, Pesquisa e Extensão**. Ou seja, é esperado do docente – conforme contrato de trabalho - uma atuação contundente em cada uma dessas frentes buscando-se sempre o equilíbrio. Assim sendo, eu sempre enxerguei como além do necessário, importante a ação docente em **atividades de extensão** no âmbito da Universidade Federal de Uberlândia.

2.2.1 Programa de Educação Tutorial (PET)

Assim, as atividades de extensão foram conduzidas de forma articulada às atividades de ensino e pesquisa, envolvendo projetos, ações e parcerias com o setor produtivo e a sociedade. Nesse contexto, considero que um dos eixos estruturantes das atividades de extensão foi a **tutoria do Programa de Educação Tutorial (PET)** da Faculdade de Engenharia Mecânica entre os anos de 2010 (logo no início da minha carreira docente) e 2019.

Através da tutoria contínua de 12 estudantes dos cursos de graduação em **Engenharia Mecânica, Mecatrônica e Aeronáutica**, foram desenvolvidos vários projetos de

extensão voltados à interação com o setor produtivo e a sociedade local. Nesse período, foram realizadas ações de formação técnica, inovação e divulgação científica, envolvendo estudantes de graduação em atividades integradas de ensino, pesquisa e extensão. As atividades do PET permitiram a aproximação entre universidade e indústria, universidade e setor público (escolas municipais e estaduais e organizações não-governamentais), bem como a aplicação do conhecimento em problemas reais de engenharia, contribuindo para a formação de recursos humanos com perfil crítico, empreendedor e socialmente comprometido. As atividades envolveram dezenas de estudantes ao longo dos anos e resultaram em projetos com impacto direto na formação profissional e na interação universidade–sociedade.

Na sequência apresento os alguns dos principais projetos de extensão realizados nesse período de 9 anos (2010 – 2019) no contexto do Programa de Educação Tutorial (PET):

Parceira com o Centro de Voluntariado Universitário (CVU) - Campus Glória

Descrição: O projeto ABC do Glória visou a transformação social pelo apoio ao aprendizado escolar e incentivo à leitura. Esse projeto foi criado pelos voluntários da ONG Centro de Voluntariado Universitário (CVU), com inauguração em abril de 2016. O objetivo do projeto é estimular e incentivar crianças e adolescentes do Assentamento do Glória ("Bairro Élisson Prieto") a terem perspectivas amplas do âmbito social a partir do amparo escolar realizado pela equipe do projeto. São realizadas atividades de alfabetização, ensino de Língua Portuguesa e Matemática, além de ações literárias, em todos os finais de semana do período escolar, em um espaço construído pelos próprios moradores impactados e estruturado pela equipe de trabalho. O projeto, hoje, atinge diretamente 20 crianças. Na época, eu coordenava 4 a 6 estudantes em aulas didáticas, pequenas palestras e roda de conversa com os alunos beneficiados pelo projeto. A atividade foi executada mensalmente pelo período de um ano. A Figura 12 ilustra uma dessas ações realizadas em 2017.



Figura 12. Ação realizada junto à comunidade do Bairro Élisson Pietro – Projeto ABC do Glória (2017).

PET Social

Descrição: A proposta do PET Social consiste na realização de atividades com alunos do quinto ano do ensino fundamental, com o propósito de incentivar os alunos de escolas do ciclo básico a aplicarem engenharia no seu dia a dia, levando a eles coisas simples que pudessem auxiliá-los nessa tarefa. A atividade ocorreu na Escola Estadual Joaquim Saraiva, em Uberlândia, de forma dinâmica com os alunos, em que se foi exposto um vídeo educativo, chamado “Donald no país da Matemática”, que relaciona as diversas aplicações da matemática no nosso cotidiano.

Mobilidade Urbana

Descrição: O aumento da frota veicular promove alterações na operação e gestão do sistema viário, que tem sido adequado ao uso mais eficiente do automóvel, em detrimento dos demais modos. Esse processo acentua ainda mais a desigualdade nas cidades, já que o automóvel, em geral, passa a ser o modo mais eficiente e ágil nos deslocamentos da população, assim como colabora para a intensificação dos impactos ambientais nas áreas urbanas, pois, o uso do transporte individual, principalmente o por automóveis e/ou motocicletas, aumentam os níveis de poluição sonora ou do ar. Posto esses fatos, o Grupo PET da Faculdade de Engenharia Mecânica resolveu abordar tal temática como uma atividade de extensão e propõe para 2014 um estudo e monitoramento do trânsito na cidade de Uberlândia.

Apresentação da Faculdade de Engenharia Mecânica a estudantes do ensino médio

Descrição: O grupo PETMEC apresentou didaticamente a Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC) e seus laboratórios, que se encontram nas dependências da Universidade Federal de Uberlândia, aos estudantes do ensino médio de da Escola INEI/COC de Uberlândia e Escola Estadual do Prata/MG. Nessa atividade foram apresentados os laboratórios: LAPROSOLDA (Laboratório de Soldagem), LAR (Laboratório de Automação e Robótica), MFLAB (Laboratório de Mecânica dos Fluidos), LMEST (Laboratório de Mecânica de Estruturas) e LTAD (Laboratório de Tecnologia em Atrito e Desgaste). A atividade teve como principal objetivo fomentar o interesse e a motivação dos estudantes em ingressar nos cursos oferecidos pela FEMEC (Engenharia Aeronáutica, Engenharia Mecânica e Engenharia Mecatrônica). Assim, a apresentação foi dividida da seguinte maneira: 1) Apresentação dos cursos oferecidos pela FEMEC; 2) Descrição das atividades extracurriculares realizadas na FEMEC; 3) Apresentação do mercado atual para a engenharia; 4) Visita aos laboratórios da FEMEC.

Semana Cultural: IV Semana do Meio Ambiente

Descrição: A IV Semana do Meio Ambiente ocorreu nos dias 1 a 5 de junho de 2012, as atividades foram distribuídas entre os dias da semana, conforme explicitado abaixo. No dia 01/06 (Sexta-Feira) das 17h00 às 21h00, foi realizado a abertura do evento no Anfiteatro do Bloco 2A, Campus Umuarama. No dia 02/06 (Sábado) das 14h00 às 17h00, foi apresentado um documentário e um debate com o professor João Custódio Fernandes Cardoso. No dia 03/06 (Domingo), o evento foi realizado durante todo o dia no Parque do Sabiá contendo atividades como: - Caminhada Ecológica, na qual os alunos participaram de um passeio em torno do parque; - Passeio monitorado pelo PET Educação Física; - Gincanas; - Oficina de origami ministrada pelo grupo PETMEC - Oficina de construção de um sofá de garrafas PET ministrada pelo PET Matemática; - Oficina de construção de um vaso de papel ministrada pelo PET Medicina junto com o PET Engenharia Química.

Curso de Informática Básica - Inclusão Digital

Descrição: O curso de Inclusão Digital consistiu na realização de aulas teóricas e práticas de informática básica, ministradas por integrantes do grupo PET da Faculdade de Engenharia Mecânica (PETMEC) com o apoio do PET Engenharia Civil. As aulas ocorreram aos sábados no período matutino no Laboratório I do bloco 1B da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o qual foi concedido pela Universidade. Público-alvo: Pessoas de idade entre 18 e 65 anos que não possuem conhecimento algum na área de informática (comunidade externa).

PET na Rede Pública

Descrição: A elaboração da atividade se deu através da confecção de um método de ensino para alunos de terceiro ano do Ensino Médio da Rede Pública de Ensino, conforme é detalhado a seguir: a) A atividade consistiu na realização de aulas teóricas e aulas de exercícios de física, elaboradas em datashow, com apostila específica confeccionada pelos petianos; b) Elas foram ministradas aos sábados no período matutino na Escola Estadual Messias Pedreiro por integrantes do grupo PETMEC; c) Foi elaborada uma apostila, sendo está dividida em capítulos contendo: Eletrostática, Eletrodinâmica, Eletromagnetismo e Física Moderna, sendo os assuntos citados no cronograma presentes na apostila para melhor acompanhamento do público alvo. O material didático ainda continha exercícios para que os alunos praticassem em sala de aula e pudessem praticar em casa o que foi aprendido durante as aulas. d) Foi disponibilizada uma apostila para cada participante do curso; e) O curso foi ministrado de acordo com as inscrições feito na escola Messias Pedreiro, atendendo, assim 20 participantes. Todavia em alguns momentos os inscritos primariamente não compareceram, mas suas vagas foram

preenchidas por outros alunos da E.E. Messias Pedreiro que ao ficarem sabendo das aulas tiveram interesse e participaram mesmo com o projeto já em andamento; f) A carga horária total foi de quarenta horas consolidando o conteúdo e contribuindo, desta forma para um desenvolvimento melhor dos alunos que estão se preparando para o vestibular.

Curso de Informática Básica - Inclusão Digital

Descrição: O curso de Inclusão Digital consistiu na realização de aulas teóricas e práticas de informática básica para a comunidade extra-UFU, ministradas pelo grupo PET da Faculdade de Engenharia Mecânica (PETMEC) com o apoio do PET Engenharia Civil. As aulas ocorreram aos sábados no período matutino no Laboratório I do bloco 1B da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o qual foi concedido pela Universidade.

III Semana Cultural: A história da aviação

Descrição: A Semana Cultural teve por objetivo proporcionar um enriquecimento cultural aos alunos, mediante a abordagem de temas, que comumente estão fora da grade curricular convencional. A III Semana Cultural propôs-se a trabalhar a temática da História da Aviação por meio de apresentações lúdicas e oficinas práticas acerca das evoluções registradas no contexto histórico da aviação brasileira e mundial. Os membros do PETMEC apresentaram os principais registros da aviação nos seguintes tópicos: Introdução e Primórdios, Aviação Moderna e os Grandes Acidentes. As apresentações, realizadas pelos próprios petianos, foram realizadas com o auxílio de datashow e ilustradas com vídeos referentes a cada um dos tópicos abordados. Ao final dos três dias de apresentações, os alunos foram convidados a participarem de uma oficina para a construção de dois modelos de aviões feitos com papel, do tipo planadores e de velocidade. A ideia era fazer com que o grupo praticasse as teorias expostas sobre cada modelo durante o curso. Público-alvo: Alunos do 1º Ano do Ensino Médio da Escola Estadual Lourdes de Carvalho - Uberlândia MG.

Outra atividade de extensão de muita relevância no contexto acadêmico, coordenada por mim, foi a realização de 10 edições (2010 – 2019) da **Semana da Engenharia Mecânica (SEMEC)**, evento acadêmico-científico de caráter extensionista voltado à integração universidade–sociedade. Durante esse período, atuei como tutor do Programa de Educação Tutorial (PET), contribuindo diretamente para a organização, planejamento e execução das atividades técnicas, científicas e de interação com o setor produtivo. Nesses eventos tínhamos uma comunidade de cerca de 100 a 200 alunos por edição, com o oferecimento de minicursos, palestras, visitas técnicas e mesas redondas onde participavam membros de universidades e iniciativa privada. As Figuras 13 e 14 ilustram

uma dessas edições em 2017, e a estrutura organizacional do evento, contemplando atividades ao longo de uma semana inteira.




SEMEC 2017
XVIII SEMANA DA FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Figura 13. Realização da XVIII Semana da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC/UFU.

SEMEC 2017 XVIII SEMANA DA FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA					
HORARIO DE INICIO	SEGUNDA	TERÇA	QUARTA	QUINTA	SEXTA
7:00				VISITAS TÉCNICAS	
8:00	CREDENCIAMENTO	PALESTRA	MINICURSO		MESAS REDONDAS
9:00	ABERTURA SOLENE	PALESTRA	INTERVALO		INTERVALO
10:00	PALESTRA	PALESTRA	MINICURSO		PALESTRA DE FECHAMENTO
10:30	PALESTRA	PALESTRA	MINICURSO		
11:00	PALESTRA	PALESTRA	MINICURSO		
12:00	INTERVALO	INTERVALO	INTERVALO		
13:30	PALESTRA	PALESTRA	MINICURSO		
14:30	PALESTRA	PALESTRA	MINICURSO		
15:30	INTERVALO	INTERVALO	INTERVALO		
16:00	PALESTRA		MINICURSO		

realização:



colaboração:



Figura 14. Edição da Semana da Faculdade de Engenharia Mecânica – SEMEC (UFU, 2017).

As atividades de extensão desenvolvidas no âmbito do Programa de Educação Tutorial, entre 2010 e 2019, demandaram intensa dedicação organizacional, planejamento contínuo e acompanhamento sistemático dos estudantes dos cursos de Engenharia Mecânica, Mecatrônica e Aeronáutica. O papel exercido como tutor e participante envolveu a concepção, coordenação e execução de projetos acadêmicos, tecnológicos e sociais, com alocação significativa de carga horária extracurricular e atenção permanente à formação científica, profissional e cidadã dos discentes. Essas ações contribuíram de maneira estruturante para a **integração ensino–pesquisa–extensão**, para o fortalecimento da cultura acadêmica na Faculdade de Engenharia Mecânica e para a formação de lideranças estudantis, consolidando um ambiente de aprendizagem ativa e de forte impacto institucional e social.

2.2.2 Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo (2012)

No âmbito das atividades de extensão e interação universidade–sociedade, destaco a minha participação como tutor escolhido para coordenar um grupo de 20 alunos no **Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo 9ª Edição – França**, no ano de 2012. O Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo é um programa de capacitação que foi executado pela Assessoria de Relações Internacionais (órgão vinculado à Secretaria Geral da Governadoria) através da **Superintendência de Relações Internacionais do Governo de Minas Gerais**. O programa visou fundamentalmente o desenvolvimento do capital humano em áreas estratégicas, de forma a contribuir para o aumento da capacidade competitiva do estado e da sociedade. Estas áreas eram definidas pelo Governo do Estado com base em seu plano de desenvolvimento integrado. O treinamento é realizado conjuntamente com outras unidades subnacionais de diversos países que possuem reconhecido expertise na área definida – Figura 15.

Nesta 9ª Edição o programa recebeu a denominação “Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo” – Edição França/2012 – Módulo Universitário, Projeto Conexão Toulouse: Transpondo as Fronteiras do Conhecimento, tendo como objetivo principal prover a capacitação na área de **Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial**. Como polo de referência, foi escolhida a região de Toulouse na França, onde durante 1 (um) mês a equipe participante do programa, pode ter contato direto com empresas do setor aeroespacial, bem como acesso a visitas dedicadas nos sítios de montagem de satélites e aeronaves de transporte civil. Destaca-se ainda, as visitas ao centro de pesquisa espacial da França e a escola de aviação civil. Durante todo o programa, os alunos tiveram contato direto com profissionais do setor, através de palestras e tutoramento nas visitas e treinamentos – Figura 16.

Inscrições ao Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo vão até 18 de abril

Alunos de Engenharia Aeronáutica e Aeroespacial vão participar de intercâmbio na França

As universidades interessadas em indicar alunos para participar da 9ª edição do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo têm até 18 de abril para encaminhar as propostas para a Assessoria de Relações Internacionais da Secretaria Geral da Governadoria. Serão selecionadas instituições de ensino superior instaladas em Minas Gerais que possuam cursos de graduação e pós-graduação nas áreas de Engenharia Mecânica, de Produção, Aeroespacial, Aeronáutica, Mecânica Aeronáutica e de Controle e Automação.

As escolas selecionadas deverão indicar alunos matriculados nos três últimos semestres da graduação. Eles farão intercâmbio no Institut Aéronautique et Spatial (IAS), com sede em Toulouse (França), de 18 de junho a 14 de julho deste ano.

A lista de alunos deverá ser encaminhada para o e-mail jovensmineiros@governo.mg.gov.br ou para a Secretária Geral da Governadoria – Cidade Administrativa, Prédio Gerais, 13º andar, Belo Horizonte, CEP: 31630-900.

Em Turim, o governador Anastasia discutiu os resultados de edições anteriores

PARCERIA - Para Maria Antônia Vieira Martins Starling, estudante de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), a participação na 8ª edição do programa, em 2010, no Instituto Politécnico de Turim (Polito) na Itália, foi en-



Maria Antônia Starling (C) durante visita técnica em 2010, no Itália

riquecedora. "O aprendizado que tive foi muito bom para meu currículo", comentou.

No último dia 5, o governador Antonio Anastasia se reuniu, em Turim, com o reitor do Polito, Mar-

co Gilli, para discutir os resultados das cinco edições realizadas em parceria com o Instituto.

O Polito é parceiro do Governo de Minas no projeto de intercâmbio de estudantes e de servidores

mineiros, que se capacitam em áreas estratégicas para o desenvolvimento do Estado. Pelo programa, também já foram enviados estudantes para intercâmbio em Cingapura, na Ásia.

Figura 15. Destaque na imprensa do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo (2012).



Figura 16. Delegação brasileira em missão à França para treinamento na área Aeronáutica e Aeroespacial (2012).

Nesse um mês que a delegação ficou na França, várias visitas a empresas e treinamentos dedicados foram realizados. Abaixo uma síntese das visitas técnicas a empresas, instituições científicas e centros de pesquisa:

As visitas técnicas ocorreram na região de **Toulouse (Occitânia)**, principal polo aeroespacial europeu, e incluíram:

Indústria aeronáutica e espacial

- **Airbus (EADS Airbus)** – centro de montagem e engenharia aeronáutica
- **Airbus Defence and Space / Astrium** – divisão espacial
- **Safran Group** (incluindo Snecma/Turbomeca) – motores aeronáuticos
- **Thales Alenia Space** – sistemas espaciais e satélites
- **Latécoère** – estruturas aeronáuticas
- **Liebherr Aerospace** – sistemas aeronáuticos
- **Daher-Socata** – fabricante de aeronaves leves e componentes
- **Rockwell Collins / Collins Aerospace** – aviônicos
- **ATR (Avions de Transport Régional)** – aeronaves regionais
- **Intespace** – simulação e testes espaciais
- **MBDA** (em alguns roteiros complementares) – sistemas aeroespaciais

Essas empresas compõem o cluster **Aerospace Valley**, maior polo aeroespacial da Europa, com centenas de empresas e dezenas de milhares de engenheiros e pesquisadores.

Instituições científicas e centros de pesquisa

- **ISAE-SUPAERO (Institut Supérieur de l’Aéronautique et de l’Espace)**
- **CNES (Centre National d’Études Spatiales)** – agência espacial francesa
- **ONERA (Office National d’Études et de Recherches Aérospatiales)**

Essas instituições mantêm parcerias estruturantes com Airbus, Thales, Safran, Daher e Dassault, integrando ensino, pesquisa e inovação industrial.

A Figura 17 ilustra a foto oficial de uma dessas visitas, tirada em frente a fachada de um dos prédios principais da **DASSAULT AVIATION Mérignac**.



Figura 17. Foto da Delegação em frente a DASSAULT AVIATION Mérignac – Bordeaux, França.

A Figura 18 ilustra uma das fotos oficiais da Delegação em visita a linha de montagem da aeronave Super Puma EC-225 na **EUROCOPTER** em Marseille.



Figura 18. Delegação na linha de montagem da aeronave Super Puma EC-225 na EUROCOPTER em Marseille.

Por fim, na sede da GIFAS (*Groupement des Industries Françaises Aéronautiques et Spaciales*) em Paris, aconteceu a cerimônia de encerramento do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo – 9ª Edição. Os membros da Delegação foram recebidos

pelos Senhores Michel Reynes (Diretor do IAS) e Didier Feriol, participando de uma cerimônia de entrega de diplomas e fotos.

As Figuras 19 e 20 ilustram algumas fotos da cerimônia e entrega dos diplomas. Após término da cerimônia a Delegação juntamente com o Sr. Michel Reynes (IAS) foram para um almoço num típico restaurante marroquino, situado na região de Trocadero em Paris. Após esse evento, declararam-se por encerrada as atividades do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo – 9ª edição.



Figura 19. Cerimônia de Encerramento do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo – GIFAS, Paris (13/07/12).

A participação como tutor na 9ª edição do Programa Jovens Mineiros Cidadãos do Mundo – Módulo Universitário “Conexão Toulouse: Transpondo as Fronteiras do Conhecimento”, representou uma experiência formativa de grande relevância para minha trajetória acadêmica e docente. A imersão em um dos mais avançados polos aeroespaciais do mundo, com interação direta com universidades, centros de pesquisa e empresas líderes do setor, contribuiu de maneira decisiva para a consolidação de uma visão sistêmica sobre a formação em Engenharia Aeronáutica, a **integração universidade-indústria** e os processos de inovação tecnológica. Essa experiência internacional fortaleceu minha atuação no Curso de Engenharia Aeronáutica da UFU, refletindo-se na estruturação de disciplinas, na orientação de estudantes e na promoção de uma cultura de internacionalização acadêmica, ampliando o impacto formativo e institucional das atividades de ensino, pesquisa e extensão desenvolvidas ao longo da carreira.



Figura 20. Foto da Delegação no dia da Formatura – Trocadero, Paris, França (2012).

2.2.3 Projetos de Extensão junto a Empresas

Algumas atividades de extensão foram desenvolvidas em colaboração com o setor produtivo, orientadas à transferência de conhecimento científico e tecnológico, à formação de recursos humanos altamente qualificados e ao fortalecimento da interação universidade–indústria. Três projetos extensionistas foram concebidos e executados em parceria com empresas dos setores aeronáutico, energia e telecomunicações, envolvendo estudantes de graduação em atividades de inovação, ensaios experimentais, desenvolvimento de metodologias computacionais e suporte tecnológico especializado. Essas ações contribuíram simultaneamente para a solução de problemas técnicos reais enfrentados pelas empresas parceiras e para a formação de engenheiros com perfil inovador, consolidando o papel da universidade como agente de desenvolvimento tecnológico e socioeconômico regional e nacional. Na sequência são apresentados esses projetos extensionistas:

Projeto e Construção de um Gerador Eólico de Baixo Custo

Descrição: O presente projeto de extensão foi desenvolvido em parceria com a **Empresa Radix** em Minas Gerais e teve como objetivo o projeto e construção de um gerador de energia baseado na movimentação dos ventos (eólico). O diferencial deste projeto esteve relacionado a busca de um sistema de baixo custo e para uso doméstico, o qual pode ser implantado numa fase de testes na própria Universidade de Uberlândia (UFU) e posteriormente em escolas ou instituições de apoio social. O projeto contou com a

participação de 12 alunos da graduação (alunos do PET e agregados) sob a minha orientação, tendo como suporte a coorientação de outros professores em áreas como Mecânica dos Fluidos e Estruturas. Ao longo de 12 meses de trabalho os alunos foram capazes de projetar e fabricar todas as partes mecânicas do gerador – Vide Figuras 21 e 22. Esse projeto foi devidamente registrado no SIEX-UFU (Sistema de Informação de Extensão) da Pró-reitoria de Extensão.

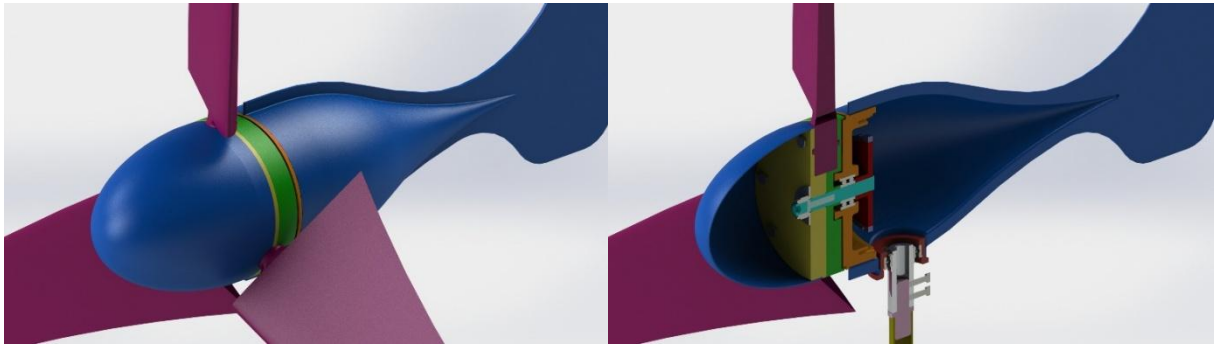


Figura 21. Gerador eólico projetado por alunos dos 3 cursos da Faculdade de Engenharia Mecânica.



Figura 22. Componentes (partes) fabricadas do Gerador Eólico.

É importante destacar que na época esse projeto teve forte destaque no âmbito da Universidade e recebeu um prêmio de inovação concedido pela Empresa Radix e um contrato financeiro para a execução das partes físicas do gerador – Figura 23.

Ainda, no mesmo ano o projeto recebeu uma menção honrosa pela **Sociedade Mineira de Engenheiros (SME)** no 23º Prêmio SME de Ciência, Tecnologia e Inovação, em cerimônia realizada na sede da SME em Belo Horizonte – MG – Figura 24.



Figura 23. Cerimônia de Premiação – Projeto Sustentabilidade Radix 2015.



Figura 24. Cerimônia de Premiação – 23º Prêmio SME de Ciência, Tecnologia e Inovação.

Validação da turbulência de túnel de vento para calibração de sensores anemométricos para geração de energia eólica

Descrição: O presente projeto de extensão foi desenvolvido em parceria com a **Empresa FANTR (Fan Technology Resources Ltda)** do estado de São Paulo e teve como objetivo realizar uma consultoria técnica para o projeto de um túnel de vento pela empresa, para a calibração de sensores anemométricos para geração de energia eólica a ser instalado futuramente na cidade de Natal-RN. Esse projeto envolveu atividades de caracterização metrológica do túnel de vento, modelagem e controle da turbulência, desenvolvimento de protocolos de calibração, análise de incerteza e validação experimental, com aderência às normas IEC e ISO aplicáveis ao setor eólico. As atividades contribuíram para a melhoria da confiabilidade de medições anemométricas e para a redução de incertezas na estimativa de desempenho energético de aerogeradores, fortalecendo a interface universidade-indústria no setor de energias renováveis. Esse projeto foi devidamente registrado no SIEX-UFU (Sistema de Informação de Extensão) da Pró-reitoria de Extensão.

Estudo aerodinâmico através de ensaios em túnel de vento para estabilização de bandeira nacional (ALGAR S.A)

Descrição: O presente projeto de extensão foi desenvolvido em parceria com a **Empresa Algar Tech** e teve como objetivo realizar uma análise aerodinâmica em túnel de vento para estabilização da bandeira do Brasil em exposição pública frente à sede da Algar S/A Empreendimentos na Granja Marileusa, Uberlândia-MG. Este projeto teve como objetivos principais:

- 1) Definir um modelo em escala reduzida para o estudo aerodinâmica da estabilidade de uma bandeira com dimensões de 15x30 metros;
- 2) Analisar as características aerodinâmicas e estabilidade da bandeira em exposição na sede da Algar S/A via uso do túnel de vento TV-60 do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental da UFU (CPAERO);
- 3) Propor soluções físicas (dimensionamento e configuração) para o problema;
- 4) Testar as novas soluções no TV-60 e ampliar a solução para uma escala maior;
- 5) Testar em campo a solução final proposta.

Como metodologia, o túnel de vento foi utilizado para permitir ensaios em escala reduzida de problemas de engenharia de médio e grande porte. Foram utilizadas diferentes configurações e equipamentos para as medidas como um sistema de anemometria de fio-quente, tubos de Pitot, gravação por imagem e técnicas de visualização para a caracterização do escoamento passante pela bandeira. Diferentes modelos em escala foram devidamente testados e analisados, buscando-se a melhor configuração em termos de estabilidade da bandeira.

A Figura 25 apresenta a bandeira nacional, em escala real, montada em frente à sede da Algar S/A Empreendimentos na Granja Marileusa, Uberlândia-MG.



Figura 25. Bandeira Nacional com dimensões de 15 x 30 metros na sede da Algar S.A – Uberlândia-MG.

A Figura 26 permite a visualização de uma das configurações de ensaio utilizada para os ensaios – escala 1:100.

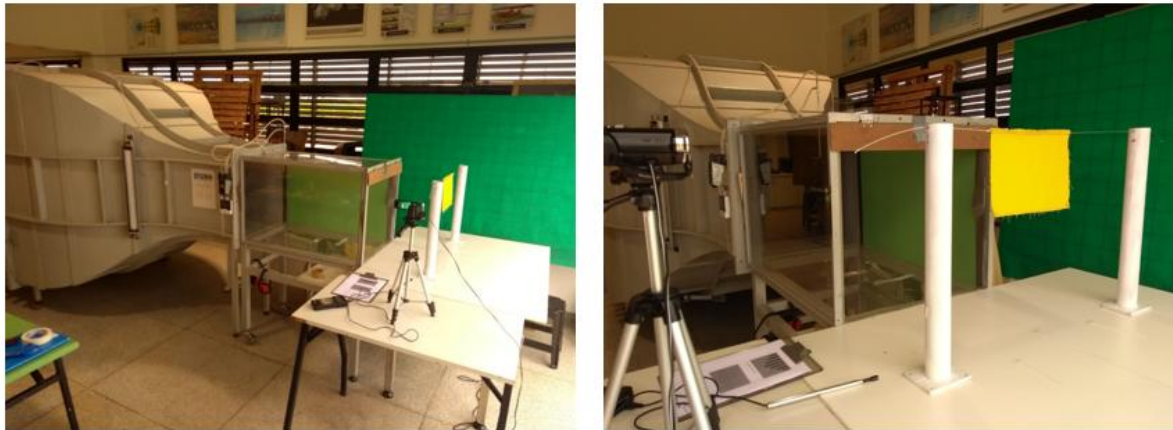


Figura 26. Montagem do aparato experimental para ensaios com uma bandeira em escala reduzida (LAEX).

Através dos resultados em diferentes condições de vento e com a simulação do efeito de rajadas de vento, foi possível identificar padrões para a movimentação da bandeira, como elevação vertical, dobradura na parte mediana, dobradura de pontas alternadas, formação de onda transversal e padrões de completo enrolamento – Figura 27.

Resultados - Fase #2:

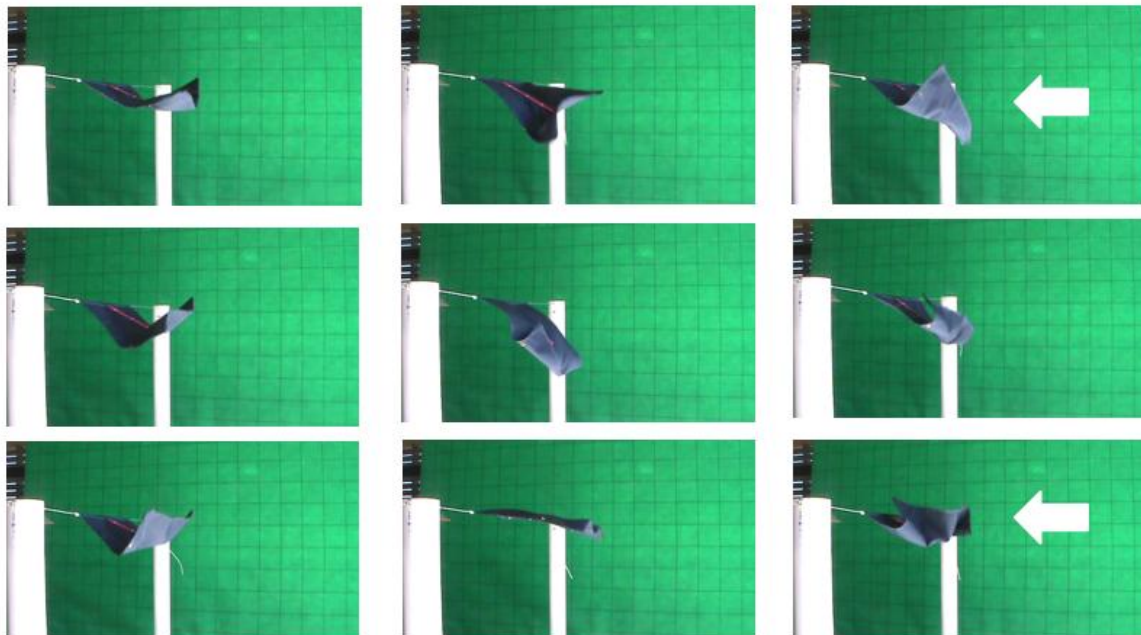


Figura 27. Padrões de movimentação da bandeira em função do regime de vento constante e rajadas simuladas (LAEX).

Ao final da campanha de ensaios e pós-processamento, foi possível propor 03 (três) soluções possíveis (através do uso de talas estabilizadoras) que não permitiram o enrolamento da bandeira. Das três soluções testadas, duas soluções foram as mais promissoras e mais fáceis de construir e implementar em escala real – talas laterais e cabo de aço passante.

As soluções de talas foram implementadas em escala real e se mostrou efetiva no controle passivo do enrolamento da bandeira. Segundo retorno da equipe da Algar Tech, a bandeira ficou exposta por mais de 2 meses contínuos sem enrolamento, sendo apenas retirada para fins de manutenção – Figura 28.



Figura 28. Solução estabilizadora com resultados eficazes na contenção do enrolamento da Bandeira Nacional.

2.2.4 Livro Sobre a História da Faculdade de Engenharia Mecânica

Por fim, também no âmbito das atividades de extensão, destaco a coordenação, organização e autoria do projeto editorial “**Relatos sobre a história da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC 50 anos**”, também desenvolvido no contexto do Programa de Educação Tutorial (PET), enquanto sob a minha tutoria. O projeto envolveu a mobilização e orientação de estudantes de graduação na coleta, sistematização e análise de registros históricos, depoimentos e documentação institucional, configurando-se como uma ação extensionista de preservação da memória acadêmica e difusão do conhecimento histórico-científico. A obra resultante contribuiu para a valorização da identidade institucional da FEMEC, para a formação humanística e crítica dos discentes envolvidos e para a disseminação da história da engenharia mecânica junto à comunidade universitária e à sociedade, caracterizando-se como uma ação estruturante de extensão universitária com impacto cultural e educacional.

Relatos sobre a História da Faculdade de Engenharia Mecânica: FEMEC 50 anos

- **Ano:** 2015
- **Editora:** EDUFU (Editora da Universidade Federal de Uberlândia)
- **Organização/Autoria:** Grupo PET-MEC (com participação de docentes e colaboradores da FEMEC)
- **ISBN:** 978-85-7078-394-3

O livro foi produzido por ocasião do **cinquentenário da FEMEC**, com base em pesquisa bibliográfica e resgate de depoimentos históricos, para registrar a criação, evolução, desafios e personagens marcantes da faculdade.

Ele foi lançado oficialmente durante as comemorações dos 50 anos da unidade acadêmica em 2015, como um registro institucional da trajetória da Engenharia Mecânica na UFU – Figura 29.

<https://edufu.ufu.br/catalogo/livros/relatos-sobre-historia-da-faculdade-de-engenharia-mecanica-femec-50-anos>

RELATOS SOBRE A HISTÓRIA DA FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA: FEMEC 50 anos



R\$ 50,00

Pedidos através do e-mail
livrariasm@edufu.ufu.br

ISBN: 978-85-7078-394-3

Ano: 2015

Edição: 1ª Edição

Área: História

Autor(es):

Odenir de Almeida

Idioma: Português

A Faculdade de Engenharia Mecânica (Femec) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), que completa seus 50 anos em 2015, tem muito a comemorar. Afinal, meio século de existência é uma das comprovações da excelência adquirida e do contínuo avanço técnico-científico da instituição.

Desde o início de sua criação, a engenharia em Uberlândia mostrou-se promissora, alavancando seu crescimento e promovendo a definitiva inserção da pouco conhecida cidade interiorana no que se pode considerar o círculo tecnológico do país. Atualmente, é fato que

Figura 29. Relatos Sobre a História da Faculdade de Engenharia Mecânica: FEMEC 50 Anos (EDUFU).

A coordenação do projeto editorial do livro *Relatos sobre a história da Faculdade de Engenharia Mecânica: FEMEC 50 anos* representou uma atividade extensionista de elevada complexidade organizacional e relevância institucional, demandando planejamento, mobilização de equipe, curadoria histórica e articulação com docentes, técnicos, estudantes e egressos. O esforço empreendido resultou em uma obra de referência para a memória acadêmica da FEMEC, consolidando o registro histórico da formação em engenharia mecânica na UFU e contribuindo para a valorização da

identidade institucional da unidade. Além de seu valor cultural e histórico, o projeto proporcionou significativa formação acadêmica e cidadã aos estudantes envolvidos, fortalecendo a integração ensino–pesquisa–extensão e caracterizando-se como uma ação extensionista estruturante com impacto duradouro para a comunidade universitária e para a sociedade.

2.3 Atividades de Pesquisa

2.3.1 Introdução e Visão Geral da Trajetória Científica

As atividades de pesquisa foram desenvolvidas de forma gradativa ao longo da carreira, em um contexto inicial fortemente condicionado pelas demandas institucionais associadas à implantação e consolidação do Curso de Engenharia Aeronáutica e da infraestrutura acadêmica da UFU. Nos primeiros anos de atuação, a dedicação intensiva às atividades de ensino, gestão acadêmica e estruturação de laboratórios limitou parcialmente a expansão da minha produção científica, embora tenha sido fundamental para a criação das condições estruturais necessárias ao desenvolvimento de pesquisa de alto nível. Nesse contexto, vale destacar que entre 2010 e 2015 me integrei à equipe do **Laboratório de Mecânica dos Fluidos (MFlab)**, para o qual sou muito grato pela acolhida e parceria ao longo desses anos da jornada acadêmica.

A consolidação do **Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX)** e do **Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO)**, coordenados e estruturados sob minha liderança, marcou um ponto de inflexão na trajetória científica, permitindo a intensificação das atividades experimentais e computacionais, a captação de projetos de pesquisa e a formação sistemática de recursos humanos. A partir desse período (2019), observou-se um crescimento significativo da produção científica qualificada, com ampliação do número de artigos em periódicos indexados, coorientações de mestrado e doutorado e fortalecimento de redes de colaboração científica.

A trajetória de pesquisa foi ainda fortalecida por parcerias nacionais e internacionais estratégicas, incluindo colaborações com a **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP)** e cooperações com instituições de excelência no exterior, como a **University of Twente**, na Holanda e a **Cranfield University**, no Reino Unido. Essas parcerias possibilitaram intercâmbio de pesquisadores e estudantes, desenvolvimento de projetos conjuntos, acesso a infraestrutura avançada e publicações científicas em colaboração, contribuindo para a internacionalização da pesquisa e para a inserção da UFU em redes globais de excelência.

A atuação científica concentrou-se nas áreas de **Aerodinâmica Experimental e Computacional, Aeroacústica, Mecânica dos Fluidos, Interação Fluido-Estrutura e aplicações em engenharia aeronáutica, automotiva e de energia eólica**, articulando investigação fundamental, pesquisa aplicada e transferência de conhecimento para o setor produtivo. Os projetos conduzidos contribuíram para a consolidação de infraestrutura experimental e computacional de referência, para a formação de recursos humanos altamente qualificados e para o fortalecimento da pós-graduação e da inserção institucional da UFU no cenário científico e tecnológico.

Enquanto docente e pesquisador na FEMEC as áreas de pesquisa foram concentradas conforme descrito na sequência:

(a) Aerodinâmica Experimental e Computacional

Linha dedicada à investigação de escoamentos externos e internos por meio de ensaios em túnel de vento e simulações CFD, com foco em **aplicações aeronáuticas, automotivas e energéticas**. As atividades envolveram desenvolvimento de metodologias de medição, validação experimental de modelos numéricos e análise de fenômenos aerodinâmicos complexos.

(b) Aeroacústica e Ruído Aerodinâmico

Linha voltada à caracterização e mitigação de **ruído aerodinâmico**, incluindo mapeamento de fontes sonoras, interação turbulência-estrutura e aplicações em propulsão aeronáutica e veículos terrestres. Os estudos integraram medições experimentais, modelagem numérica e técnicas de processamento de sinais.

(c) Interação Fluido-Estrutura e Vibroacústica

Pesquisa em fenômenos acoplados **fluido-estrutura**, abordando excitação aeroelástica, vibração induzida por escoamento e respostas estruturais, com aplicações em asas, hélices, aerogeradores e sistemas automotivos.

(d) Aerodinâmica de Veículos e Energia Eólica

Estudos aplicados à redução de arrasto, eficiência energética e caracterização do escoamento atmosférico, incluindo projetos de aerogeradores e análise de desempenho energético em **sistemas eólicos**.

(e) Projeto Bioinspirado e Aerodinâmica Aplicada

Exploração de conceitos **bioinspirados** em superfícies e dispositivos aerodinâmicos, visando melhoria de desempenho e controle de escoamento.

(f) Projeto, Simulação e Testes de Hélices e Sistemas Propulsivos Aeronáuticos

Linha de pesquisa dedicada ao projeto aerodinâmico e aeroacústico de hélices e **sistemas propulsivos aeronáuticos**, envolvendo concepção geométrica, modelagem teórica, simulação numérica (CFD) e validação experimental em túnel de vento e bancadas de teste. As atividades incluem análise de desempenho aerodinâmico, interação hélice-aeronave, ruído de propulsão, otimização multiobjetivo e desenvolvimento de metodologias de projeto para aplicações em aeronaves convencionais, **UAV's** e sistemas **VTOL** elétricos.

As áreas mencionadas têm produzidos resultados consistentes ao longo dos últimos anos na forma de participação em projetos de **Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)** com a iniciativa privada e com órgãos públicos de fomento à pesquisa (**FINEP e FAPEMIG**). Esses projetos são apresentados de maneira cronológica a seguir.

2009 – 2011: Projeto Aeronave Silenciosa (FAPESP 06/52568-7) – EMBRAER S.A

O projeto **Aeronave Silenciosa**, financiado pela FAPESP (Processo 06/52568-7) em parceria com a EMBRAER S.A., teve como objetivo central o avanço do conhecimento científico e tecnológico em aeroacústica aplicada à redução de ruído aeronáutico, um dos desafios críticos para a aviação civil moderna. O projeto inseriu-se no contexto de demandas regulatórias cada vez mais restritivas sobre emissões sonoras, especialmente em operações de aproximação e decolagem, e buscou integrar métodos experimentais, numéricos e de projeto aerodinâmico com foco na mitigação de fontes de ruído.

As atividades de pesquisa envolveram o estudo dos mecanismos fundamentais de geração de ruído em componentes aeronáuticos, com ênfase em dispositivos hipersustentadores, fuselagem, trem de pouso e interações aeroacústicas entre escoamento turbulento e superfícies sólidas. Foram empregadas técnicas avançadas de medição em túnel de vento, instrumentação acústica de alta fidelidade e métodos de processamento de sinais para caracterização espectral e espacial das fontes sonoras. Paralelamente, modelos numéricos baseados em CFD acoplado a métodos aeroacústicos foram desenvolvidos e validados, permitindo a análise preditiva do ruído e a avaliação de estratégias de mitigação.

O projeto também contemplou o desenvolvimento e avaliação de conceitos inovadores de design aeroacústico, incluindo geometrias otimizadas, tratamentos passivos de superfícies e soluções de integração aerodinâmica, visando reduzir o impacto sonoro sem penalizar o desempenho aerodinâmico. A interação universidade-indústria foi um componente estratégico, permitindo a transferência de conhecimento para a EMBRAER e contribuindo para a formação de recursos humanos altamente qualificados em aeroacústica, aerodinâmica experimental e simulação numérica. As seguintes universidades participaram efetivamente desse projeto – Figura 30.

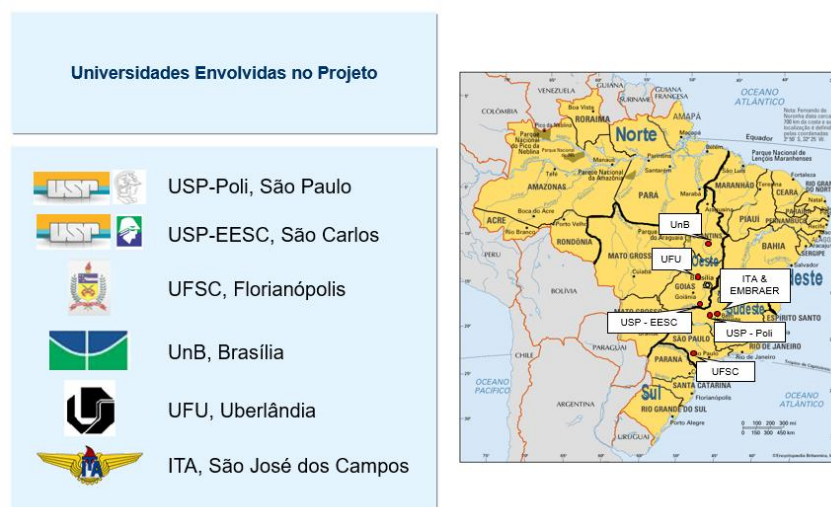


Figura 30. Universidades brasileiras envolvidas no Projeto Aeronave Silenciosa (2009 – 2011).

É importante também destacar o convênio institucional firmado entre o **ISVR (*Institute of Sound and Vibration*)** e a UFU (FEMEC), para o desenvolvimento de ferramentas numéricas e de uma bancada experimental para ensaios acústicos de modelos em escala reduzida. Nesta fase, a equipe técnica, sob a minha orientação contemplava 7 estudantes sendo 2 doutorandos, 3 mestrandos e 2 alunos de iniciação científica.

Como resultados, o projeto gerou publicações científicas, capacitação de estudantes de graduação e pós-graduação, consolidação de infraestrutura laboratorial e fortalecimento da competência nacional em aeroacústica aeronáutica. Além disso, contribuiu para o posicionamento estratégico da pesquisa brasileira em temas de ruído aeronáutico, alinhando-se às tendências internacionais de desenvolvimento de aeronaves mais silenciosas e ambientalmente sustentáveis.

Destaco abaixo alguns resultados relevantes:

- Projeto FAPEMIG Demanda Universal APQ-02270-2010 “Estudo Numérico e Experimental de Jatos Subsônicos para Propulsão Aeronáutica” (2011 – 2012);
- Estágio de Pesquisa no ISVR do aluno Anderson Ramos Proença (Agosto a dezembro de 2011);
- Organização do ANEW2011 (***Aircraft Noise and Emissions Workshop*** – 10 a 14 de julho de 2011 – Rio de Janeiro);
- Colaboração com a Universidade de Brasília – UnB;

A lista abaixo quantifica as publicações, relatórios técnicos e estágio realizadas no período:

- 3 Publicações no ENCIT 2010;
- 1 Publicação na EPTT 2010;
- 4 Publicações no COBEM 2011;
- 1 Publicação no CILAMCE 2011;
- 1 Publicação no ICSV 2011 (*International Congress of Sound and Vibration*);
- Resumos no POSMEC 2010 e 2011;
- 5 Relatórios Técnicos submetidos para a EMBRAER;
- 1 Estágio Científico pelo convênio BRAFITEC;

A Figura 31 apresenta alguns resultados obtidos com simulações de maior fidelidade para o problema do escoamento de um jato subsônico com uma placa (efeito flap).

Interação de um Jato com Placa Plana:

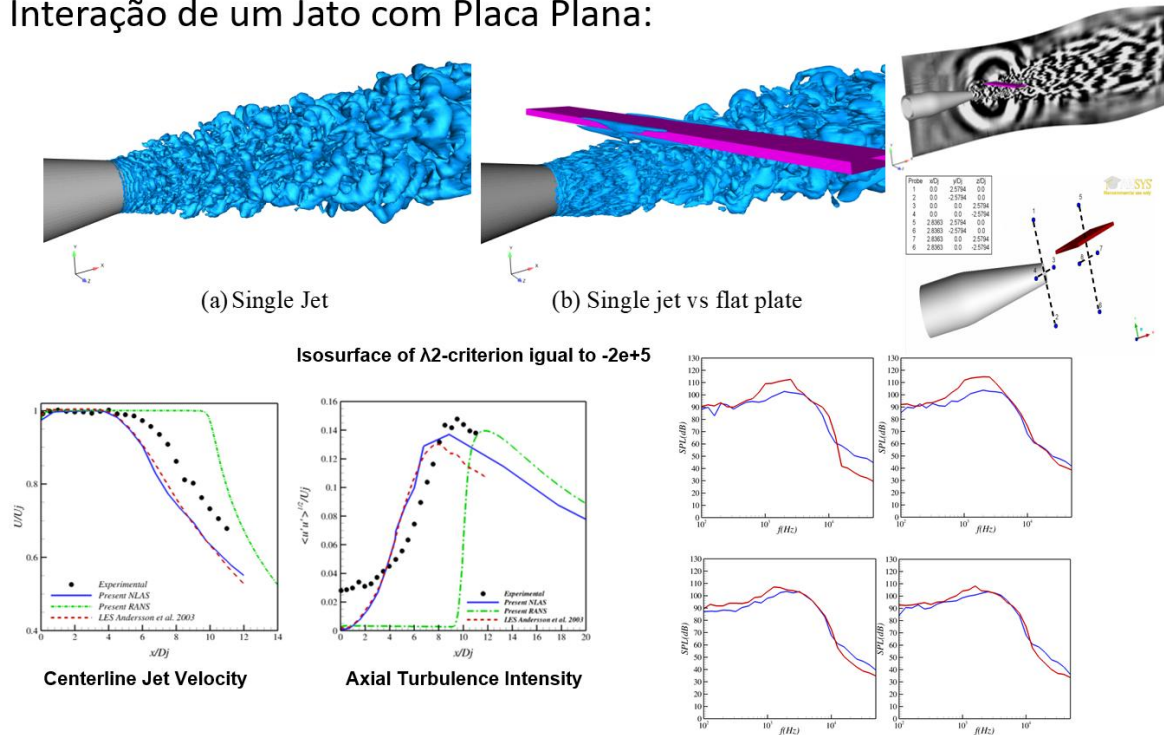


Figura 31. Análise computacional do problema de interação jato subsônico e placa plana.

O Projeto “Aeronave Silenciosa” (FAPESP PITE 06/52568-7), desenvolvido em parceria com a EMBRAER, representou uma das mais relevantes iniciativas de pesquisa cooperativa em aeroacústica no país, com investimento global superior a R\$ 3,7 milhões por parte da FAPESP, além de contrapartidas industriais significativas da EMBRAER. A participação da Universidade Federal de Uberlândia ocorreu por meio de subprojetos científicos, intercâmbio de pesquisadores e formação de recursos humanos altamente qualificados, integrando a UFU a uma rede nacional e internacional de excelência em aeroacústica aplicada.

SÍNTESE:

Parceria: UFU e EMBRAER

Financiamento: FAPESP (montante UFU de aprox. R\$ 153.000,00)

2 bolsas de mestrado, 1 bolsa doutorado, bolsa pesquisador

Alunos envolvidos: 10

2012 – 2014: Desenvolvimento de Soluções Aprimoradas, Através de Ensaios Aeroacústicos, para o Problema de Ruído Externo em Aeronaves – DAS (FINEP 0.1.09.0563.00) – EMBRAER S.A

Este Projeto, inserido no âmbito do **Programa de Inovação em Ciência e Tecnologia Aeroespacial (PICTA)**, visou investigar e desenvolver soluções aprimoradas para o problema de ruído externo presente em aeronaves. Pretendeu-se atacar o problema segundo três abordagens distintas, mas complementares em aeroacústica: aeroacústica computacional (CAA), modelos analíticos e empíricos, e ensaios em voo e em túnel. A síntese do Projeto foi o desenvolvimento de metodologias de análise que possibilitaram estimar a geração e propagação de ruído em aeronaves. A intenção foi agrupar uma equipe acadêmica e técnica que tem se envolvido ao longo do tempo com problemas de aerodinâmica e, recentemente, em acústica, e proposto soluções particulares segundo uma das abordagens citadas. Pretendeu-se com esse projeto integrar esse esforço e aprofundá-lo explorando a complementaridade dos distintos enfoques para responder, da melhor forma possível, às questões suscitadas pelo problema de engenharia concreto associado à geração e propagação de ruído em aeronaves.

Nesta extensão do Projeto Aeronave Silenciosa, os repasses financeiros à UFU foram realizados basicamente para o pagamento de bolsas de professores, técnicos e alunos envolvidos. Nesse contexto, o projeto contou com a participação de 4 alunos de iniciação científica e 2 alunos de mestrado.

Dentre as principais atividades realizadas pode-se destacar:

- 1) Levantamento acústico experimental para jatos subsônicos em diferentes números de Mach – Experimentos realizados no Laboratório Doak – ISVR – Desenvolvimento e conclusão da dissertação de mestrado (Anderson Ramos Proença).
- 2) Simulações CFD e CAA para bocais coplanares e de carenagem curta – Desenvolvimento e conclusão da dissertação de mestrado (Fabio Garcia Temistocles Ferreira).
- 3) Treinamento em **Lattice-Boltzmann** (POWERFLOW) na Universidade Federal de Uberlândia e trabalho/estudo contínuo de LBM com o software POWERFLOW;

As Figuras 32 e 33 apresentam alguns resultados obtidos através de campanha experimental realizada em parceria com o ISVR dentro do contexto do desenvolvimento da dissertação de mestrado, sob minha orientação, **“Aerodynamics and Acoustics Survey for Subsonic Jets”**.

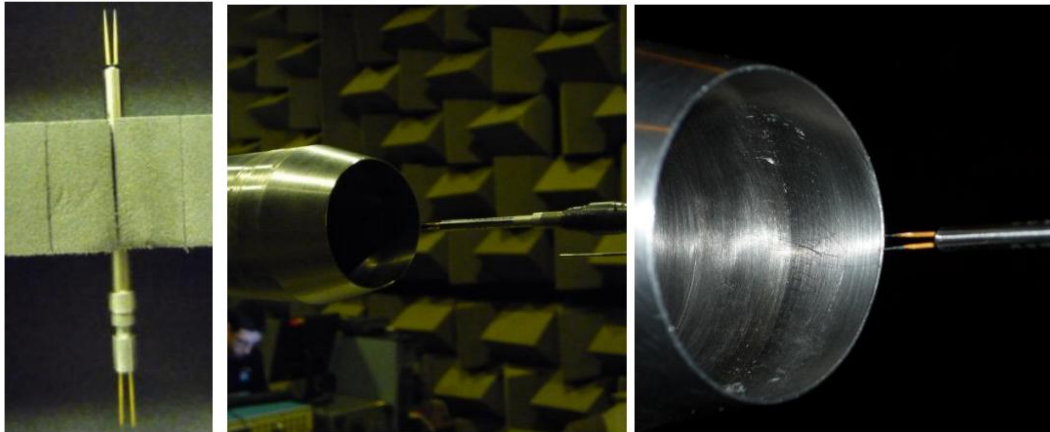


Figura 32. Montagem experimental do bocal de testes e anemometria de fio-quente no DOAK Lab (ISVR).

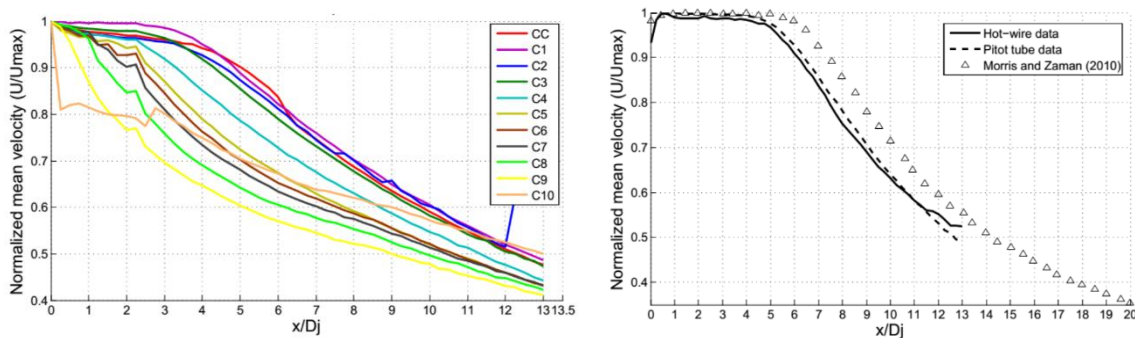


Figura 33. Distribuição de velocidade na linha central do jato para diferentes números de Mach e comparação com dados da literatura.

Este projeto constituiu uma etapa estratégica na consolidação de uma agenda de pesquisa aplicada em aeroacústica no contexto brasileiro, reforçando a capacidade nacional de desenvolvimento de tecnologias críticas para o setor aeronáutico. A participação nesse esforço colaborativo com a EMBRAER S.A. e agências de fomento federais contribuiu para o posicionamento do grupo de pesquisa e da Universidade Federal de Uberlândia no cenário nacional de pesquisa aeroespacial, ampliando a visibilidade institucional, a captação de recursos e a formação de mestres e doutores em temas de fronteira da engenharia aeronáutica.



Observação: Os anos de 2012 a 2015 foram, particularmente para mim, um momento com muita sobrecarga de trabalho. Além da coordenação dos projetos de pesquisa em parceria com a EMBRAER, eu já atuava como Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica, justamente na fase de estruturação física, compra de equipamentos, montagem dos laboratórios e consolidação das atividades de ensino. Além disso, eu já era tutor do PET e coordenava um grupo de 12 alunos na realização das atividades de ensino, pesquisa e extensão. Nesse mesmo período, outros projetos foram iniciados, (como será descrito a seguir). Hoje, julgo que essa carga de trabalho acentuada e desproporcional foi prejudicial para a minha vida profissional e pessoal entre os anos de 2015 e 2017. Nesse momento da carreira, tive que respirar, viver para mim, fazer uma manutenção dos meus objetivos e reprogramar uma nova trajetória de voo.

“Faço esse parêntesis aqui para agradecer de coração àquelas pessoas que estenderam a mão para mim e minha família durante esse período”.

“Success is not final, failure is not fatal: it is the courage to continue that counts.”

“O sucesso não é definitivo, o fracasso não é fatal: o que conta é a coragem de continuar.”

Winston Churchill

SÍNTESE:

Parceria: UFU e EMBRAER

Financiamento: FINEP (montante UFU de aprox. R\$ 60.000,00)

2 bolsas de mestrado, 4 bolsas IC, bolsa pesquisador

Alunos envolvidos: 6

2010 – 2012: Estudo Numérico e Experimental de Jatos Subsônicos para Propulsão Aeronáutica (Demanda Universal – FAPEMIG APQ-02270-10)

Este trabalho propôs um estudo numérico e experimental de jatos subsônicos com vistas à aplicação aeronáutica. Tal projeto de pesquisa foi parte integrante de um plano acadêmico maior de se criar infraestrutura e capacitação de profissionais para atuação na área de **Aeroacústica Computacional (CAA)**, ora em constituição na Universidade Federal de Uberlândia e ainda rudimentar em nível de Brasil. A síntese do projeto foi o desenvolvimento de metodologias de análise que possibilitem estimar a geração e propagação de ruído em sistemas de propulsão não-convencionais. Para atingir tal objetivo, faz-se necessário verificar e validar o potencial de algumas metodologias em Aeroacústica Computacional (CAA). Dentro deste contexto, a parceria com universidades e grupos de pesquisas no exterior que já atuam na área mostra-se de extrema importância para a formação continuada dos pesquisadores aqui no Brasil. Neste caso, é proposta a continuação do vínculo estabelecido pelo Coordenador deste projeto, com o **Institute of Sound and Vibration Research (ISVR)** da Universidade de Southampton – Inglaterra, para o desenvolvimento das atividades propostas.

De maneira objetiva, as principais atividades realizadas foram:

- Estudo de metodologias experimentais e numéricas para a previsão de ruído de jatos subsônicos;
- Avaliação da dinâmica do escoamento de jatos subsônicos por meio de técnicas experimentais;
- Criação de um banco de dados de jatos subsônicos;
- Avaliação de metodologias numéricas para a previsão de ruído de jatos;

Neste projeto estiveram envolvidos 2 alunos de IC e um aluno de mestrado. Além da realização da dissertação de mestrado “**Aerodynamics and Acoustics Survey for Subsonic Jets**”, a criação de um banco de dados de jatos subsônicos e a criação de metodologias numéricas para a previsão de ruído de jatos, foram, sem dúvida, os principais resultados – Figura 33 (anterior) e Figura 34 (próxima):

O projeto realizado fundamental para a consolidação inicial da pesquisa em aeroacústica na Universidade Federal de Uberlândia, ao integrar estudos numéricos e experimentais de jatos subsônicos com aplicação aeronáutica. A iniciativa permitiu o desenvolvimento de metodologias em Aeroacústica Computacional, a capacitação de pesquisadores e o fortalecimento da infraestrutura científica local, em cooperação com o *Institute of Sound and Vibration Research* (University of Southampton). Esse esforço estabeleceu as bases para a posterior consolidação das linhas de pesquisa e da infraestrutura experimental que hoje sustentam as atividades do CPAERO e do LAEX.

Results – 1/3 Octave band Spectra:

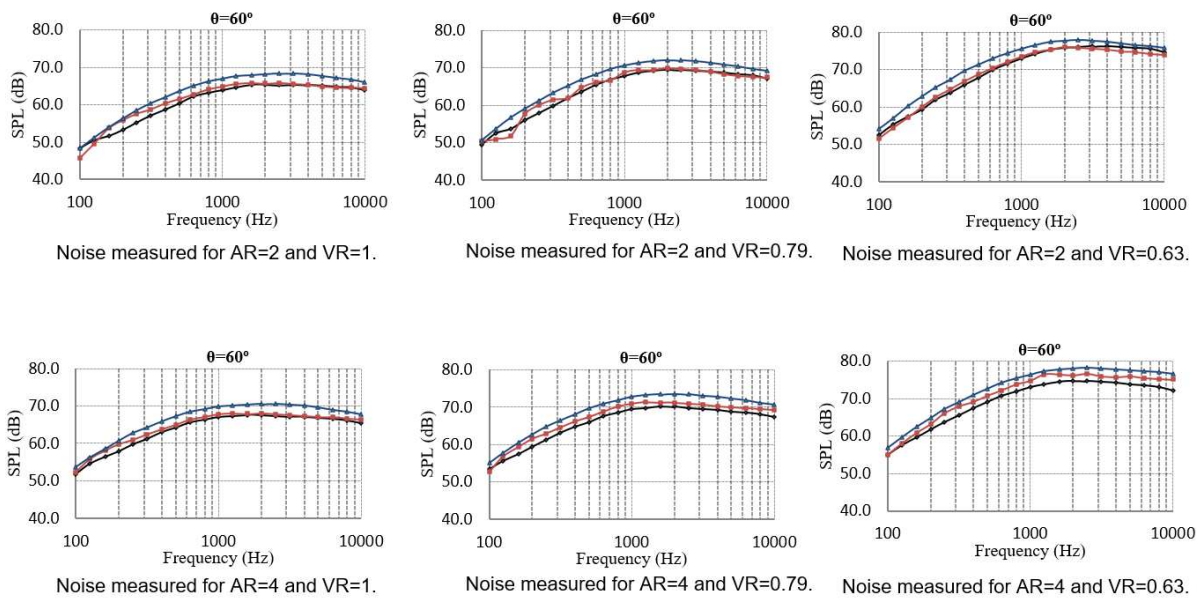


Figura 34. Ferramentas semi-empíricas para a predição do ruído de jatos subsônicos.

SÍNTESE:

Parceria: UFU e ISVR

Financiamento: FAPEMIG (montante UFU de aprox. R\$ 40.000,00)

1 bolsa de mestrado, 2 bolsas IC

Alunos envolvidos: 3

2012 – 2014: Projeto e Construção de um Gerador Eólico de Baixo Custo (Edital Nº 10/2012 - Programas de Educação Tutorial - PET – FAPEMIG APQ-03258-12)

O Edital nº 10/2012 da FAPEMIG teve como objetivo apoiar financeiramente as atividades dos grupos do Programa de Educação Tutorial (PET) em Minas Gerais, fortalecendo projetos integrados de ensino, pesquisa e extensão, a formação acadêmica de excelência dos estudantes de graduação e a interação universidade–sociedade. O edital complementou o financiamento federal do MEC, ampliando o impacto institucional e social das ações desenvolvidas pelos grupos PET nas universidades mineiras.

Nesse contexto, a pesquisa sobre o projeto e construção de um gerador eólico foi inserida e contemplada com recursos financeiros vitais para a realização da pesquisa. Desta forma, projeto temático, dentro do âmbito do Programa de Educação Tutorial (PET), teve como objetivo o projeto e construção de um gerador de energia baseado na movimentação dos ventos (eólico). O diferencial deste projeto estava na busca de um sistema de baixo custo e para uso doméstico, o qual pode ser implantado numa fase de testes na própria Universidade de Uberlândia (UFU) e posteriormente em escolas ou instituições de apoio social. O projeto temático foi conduzido na forma de uma colaboração acadêmica entre os diferentes laboratórios e grupos da Faculdade de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal de Uberlândia. Na etapa de construção dos componentes, foi estabelecida uma parceria com uma empresa do município de Uberlândia – MG.

Observação: Os resultados podem ser visualizados na seção 2.2.3.

SÍNTESE:

Parceria: UFU

Financiamento: FAPEMIG (montante UFU de aprox. R\$ 15.000,00)

12 bolsas IC

Alunos envolvidos: 12

2011 – 2017: Criação do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental – CPAERO - Projeto e Construção do Túnel de Vento (Edital MCT/FINEP/CT-INFRA - PROINFRA - 02/2010)

Alvejando a excelência e inserção do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica da UFU em nível nacional, foi prevista a implantação de um **Centro de Pesquisa** e a construção de um **túnel de vento de médio porte**, destinado exclusivamente à realização de trabalhos de pesquisa, atividades de ensino avançadas bem como a prestação de serviço para empresas nacionais do setor aeronáutico e/ou em áreas correlatas. Por se tratar de equipamento oneroso, os recursos financeiros necessários para sua construção foram captados por meio de proposta apresentada no âmbito da **CHAMADA PÚBLICA MCT/FINEP/CT-INFRA - PROINFRA - 02/2010**.

É relevante afirmar que a iniciativa da implantação do **Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO)**, harmoniza-se com a política de fortalecimento da pesquisa nos programas de pós-graduação das unidades participantes do projeto, em conformidade com as Metas 13 e 14 do **Plano Institucional de Desenvolvimento e Expansão da UFU (PIDE)** e com a política do governo de Minas Gerais para o desenvolvimento da indústria aeroespacial no estado.

Os principais objetivos com a implantação do CPAERO continuam sendo:

- a) Capacitação de docentes e formação de alunos de iniciação científica e de pós-graduação de diversas unidades acadêmicas da UFU para pesquisa na área de Aerodinâmica Experimental;
- b) Suporte à execução de projetos de pesquisa acadêmicos e de extensão;
- c) Atendimento a atividades de pesquisa multidisciplinares das Unidades Acadêmicas da Universidade Federal de Uberlândia, relacionadas a aplicações de aerodinâmica em regime subsônico;
- d) Atendimento à demanda de PD&I e prestação de serviço para empresas públicas e privadas.

O projeto foi concebido pelos professores Odenir de Almeida, Aristeu da Silveira Neto e Domingos Alves Rade, sendo coordenado por mim ao longo desses anos de desenvolvimento e consolidação. Na sequência é apresentada uma descrição geral do projeto conceitual (já executado) do túnel de vento de médio porte do CPAERO.

De acordo com a proposta submetida à FINEP, o túnel aerodinâmico, que compõe o CPAERO, consiste em uma instalação experimental em circuito fechado para circulação do ar a baixas e médias velocidades na seção de testes (de 5 a 90 m/s). Este tipo de instalação recebe o nome de túnel aerodinâmico de baixa velocidade ou subsônico, podendo ser utilizado para aplicações na engenharia aeronáutica, civil, mecânica e outras áreas afins. Conforme mencionado, o túnel é em circuito fechado, com

direcionamento e pressurização do ar atmosférico via um ventilador axial; nos quatros cantos (*corners*) do circuito há direcionadores do escoamento (chamados de “*corner-vanes*” ou “*turning vanes*”), dispositivos que garantem uma uniformização da corrente de ar antes do retorno para o ventilador com o intuito de redução da perda de carga no circuito. No sentido da corrente de ar, após o segundo canto, é disponibilizada a expansão, dispositivos de laminarização do escoamento (telas e colmeias) e a contração. Esta região é chamada câmara de laminarização ou uniformização da corrente de ar. A seção de testes posiciona-se logo a seguir, com acesso facilitado, transparência em pelo menos uma das paredes laterais e com mecanismos de posicionamento dos modelos a serem testados e instrumentação para medidas de pressão e velocidade. Foi previsto a inclusão de uma balança aerodinâmica para fins de medição das forças e momentos atuando sobre os modelos a serem ensaiados. Medições de velocidade, parâmetros turbulentos e níveis de turbulência, serão feitas com o uso de um anemômetro de fio quente. Foi previsto também um sistema de visualização por fumaça, permitindo a caracterização do escoamento ao redor de modelos em escala reduzida. O túnel construído abrange uma área de aproximadamente 300 m² tendo uma seção de testes de 1,7 m (largura) X 1,5 m (altura) X 3,0 m (comprimento).

De maneira resumida, os principais componentes estruturais e a instrumentação requerida para a operação deste túnel estão descritas na sequência:

Túnel de vento – Especificações técnicas:

- Dimensões externas em planta: 24,16 m × 9,1 m.
- Maior seção: Câmara de estabilização com 5,0 m × 5,0 m.
- Seção de ensaios: 1,5 m × 1,7 m (2,1m²), com 3,0 m de comprimento.
- Porta lateral dupla de acrílico na seção de ensaios automatizada.
- Seção de ensaios construída com um chassi de aço, propiciando pontos de ancoramento para modelos.
- Presença de telas e colmeia de alumínio para uniformização do escoamento.
- Contração: 9:1
- Velocidade máxima na seção de ensaios: ~ 90 m/s
- Velocidade mínima: 5 m/s
- Uniformidade: 1%
- Turbulência: 0,2%
- Equipado com dois Pitot's; um móvel, e outro fixo (referência)
- Motorização: Trifásico de 8 polos, 380V e 350 hp.
- Controle de velocidade: Através de inversor de frequência.
- Hélice tipo *fan* com duto, completamente carenada, com 2,4 m de diâmetro, e 8 pás; O sistema da hélice possui corretor de escoamento.

Instrumentos de Medição (já disponíveis):

- Sistema eletrônico (*pressure transducers*) para medidas de pressão com 64 canais e sistema próprio de aquisição;
- Anemômetro Streamline PRO DANTEC (*hot-wire*) com 6 canais e 10 sondas (1D, 2D e 3D), com sistema de calibração (calibrador) automatizado;
- Balança aerodinâmica com 3 graus de liberdade (sustentação, arrasto e momento de arfagem);
- Balança aerodinâmica com 6DOF (*Degree of Freedom – overhead*) com posicionador;
- Sistema de geração de fumaça com bico posicionador e pente para geração de perfis (*rake*);
- Impressora semi-industrial para em PLA para a confecção de modelos com volume útil de impressão 0,40 m × 0,40 m × 0,40 m.

Recurso investido através da FINEP:

Túnel de Vento de média velocidade e baixa turbulência para ensaios e pesquisa:

R\$1.000.000,00

Equipamentos acessórios:

R\$541.000,00

Valor Total do Investimento: R\$ 1.541.000,00

O túnel foi construído, através de licitação pública (pregão eletrônico nº 010-2014) e posterior contrato via a Fundação de Apoio Universitário (FAU) através do Processo nº 118/14 tendo como contratada uma empresa brasileira especializada no setor aeronáutico - FABE – FÁBRICA BRASILEIRA DE AERONAVES LTDA, inscrita no CNPJ sob o nº 05.887.146/0001-33, estabelecida na cidade de Uberlândia - MG, na Rua Piauí, nº 619, Bairro Marta Helena, CEP: 38.402-020.

A Figura 35 apresenta a etapa de montagem final do equipamento bem como uma vista isométrica do túnel de vento completamente finalizado.

Vale ressaltar que em 2018 o túnel foi desmontado em 10 módulos e armazenado no Almojarifado da UFU, enquanto não se iniciam as obras de construção do prédio (hangar) para alojamento definitivo desse equipamento e consolidação da infraestrutura física do CPAERO. Ao longo das fases de projeto, construção e testes de validação do equipamento, vários alunos do Curso de Engenharia Aeronáutica se envolveram com atividades técnicas e científicas – Almeida *et al.* (2018).

Almeida, O. D., Miranda, F. C. D., Ferreira Neto, O., & Saad, F. G. (2018). Low subsonic wind tunnel-Design and construction. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 10, e1018.



Figura 35. Montagem final e vista isométrica do túnel de vento do CPAERO (galpão da FABE Ltda).

Portanto, subentende-se que a inserção do CPAERO no cenário regional e nacional, através da operacionalização do túnel de vento, trará benefícios entre outras áreas e possivelmente ajudará no desenvolvimento e inovação de diferentes produtos. A Figura 36 ilustra diferentes campos de atuação, onde o suporte de ensaios em túnel de vento se faz necessário e tem sido utilizada como direcionadora da missão do CPAERO.

A consolidação do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental – CPAERO passa pela criação de um prédio (infraestrutura) para acomodação do túnel de vento de médio porte e baixo Mach. A construção desse prédio foi finalmente liberada em 2025 no contexto do **Programa de Aceleração do Crescimento (PAC)** do Ministério da Educação (MEC) – Processo interno UFU e SEI 23117.013740/2025-61, o qual criará o hangar no novo campus da UFU, o campus Glória, localizado no entroncamento entre as BR-050 e a BR-365. As obras efetivamente começaram em 03/02/2026 com a previsão de finalização em 13 meses – Figura 37.



Figura 36. Áreas de atuação do CPAERO através da utilização do túnel de vento.



Figura 37. Canteiro de obras para construção do prédio do túnel de vento – CPAERO/UFU/FEMEC – Campus Glória.

Observação: É muito importante contextualizar o árduo esforço organizacional, tentativas frustradas junto à administração da UFU, idas e vindas de trâmites ao longo desses últimos 08 (oito) anos (2018 – 2026) para a realização da construção do prédio (infraestrutura) do túnel de vento – CPAERO.

A demanda de infraestrutura para o CPAERO foi colocada junto à administração da Universidade Federal de Uberlândia desde o ano de 2016, em paralelo com o projeto do túnel de vento, tendo avançada por duas administrações sucessivas sem uma definição a respeito. Deve-se ressaltar que a crise econômica e o corte de verbas para as

instituições de ensino superior (IES) foram os principais motivos dessa ingerência. Cabe comunicar que houve o interesse da construção de um prédio anterior e, pelo menos dois projetos arquitetônicos foram considerados aos longos desses últimos anos, sempre esbarrando no alto custo associado a essas construções (da ordem de aproximadamente R\$ 3.000.000,00 – três milhões de reais), inviabilizando sucessivamente os investimentos por parte da UFU.

Em face dessas dificuldades a coordenação do CPAERO veio ao longo dos últimos 2 anos trabalhando no sentido de convencer a administração superior a flexibilizar o projeto arquitetônico dessa infraestrutura, possibilitando a inserção de projetos pré-moldados mais simples e com menor custo agregado. Sempre tive como premissa que a construção de uma estrutura do tipo hangar e/ou galpão misto alvenaria/metálico seria suficiente para atender a demanda da instalação e operação do túnel de vento do CPAERO.

SÍNTESE:

Parceria: UFU e FINEP

Financiamento: FINEP (montante UFU de aprox. R\$ 1.600.000,00)

Alunos envolvidos: 6

2019 – Atual: Criação do Laboratório de Aerodinâmica Experimental - LAEX^N

Em paralelo a essa organização do CPAERO, ao longo dos anos foi criada a estrutura de **Laboratório de Ensino e Pesquisa em aerodinâmica experimental**, atualmente denominada de **Laboratório de Aerodinâmica Experimental – LAEX^N**. A coordenação do LAEX^N também é conduzida pelo Prof. Odenir de Almeida e encontra-se fisicamente lotada no espaço físico denominado Sala 08 do Bloco 1DCG (Faculdade de Engenharia Mecânica) no Campus Glória. Pode-se afirmar que o LAEX^N será uma complementação ao CPAERO, sendo o mesmo incorporado como uma estrutura de apoio às atividades de pesquisa, extensão e prestação de serviço.

A criação do LAEX^N se deu em 2019 com a dissociação da antiga estrutura de “Laboratórios de Ensino em Engenharia Aeronáutica” – LEEAR, estrutura essa criada em 2014 para agregar os diferentes laboratórios do curso de engenharia aeronáutica. O Laboratório de Aerodinâmica e Aeroelasticidade tornou-se o LAEX^N, mantendo-se a coordenação da respectiva estrutura.

As Figuras 38 a 40 ilustram o espaço físico do LAEX^N no Bloco 1DCG do Campus Glória em 2020 (logo após a mudança física para o Campus Glória), bem como apontam para alguns detalhes dos modelos, equipamentos e túneis de vento (de menor porte) disponíveis para aplicação em atividades de ensino, extensão e mesmo pesquisas de caráter fundamental. Essa estrutura foi devidamente utilizada ao longo dos últimos 6 anos para suporte às atividades de ensino junto às disciplinas de **Aerodinâmica Aplicada, Aeroacústica, Fundamentos de Aeronáutica I** bem como optativas como **Aerodinâmica de Veículos Automotivos, Fundamentos de Energia Eólica e Projeto de Hélices para Propulsão Aeronáutica**. Ainda, projetos de pesquisa de menor envergadura foram conduzidos nesse espaço físico, gerando expressivas publicações nos últimos anos e formando engenheiros aeronáuticos e mecânicos apaixonados por **Aerodinâmica**.



Figura 38. Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX^N) – Túnel de Vento TV-60 Zephyr – Campus Glória (2020).



Figura 39. Modelos em escala reduzida (esquerda) e anemômetro de fio quente (direita) – LAEX^N (2020).



Figura 40. Detalhes dos túneis de vento de menor porte – LAEX^N.

Os túneis de vento do LAEX^N / CPAERO recebem uma denominação (nomenclatura) de acordo com a dimensão da seção de ensaio, sendo o número referente à maior dimensão em centímetros.

TV-15 – *Breeze* - Túnel de vento Armfield de circuito aberto (sucção) com seção de testes quadrada com 150 × 150 mm – 450 mm de comprimento.

TV-60 – *Zephyr* - Túnel de vento de circuito aberto (soprador) com seção de testes quadrada com 600 × 600 mm – 1000 mm de comprimento.

TV-30 – *Volante* - Túnel de vento de circuito aberto (sucção) com seção de testes quadrada com 300 × 300 mm – 600 mm de comprimento.

TV-1700 – *Hurricane* - Túnel de vento de circuito fechado com seção de testes retangular com 1,7 m × 1,5 m × 3,00 m de comprimento.

Observação: Com a expansão das atividades de pesquisa no LAEX^N, parcerias com outras universidades brasileiras (destaque para a EESC-USP), aumento no número de publicações de artigos em revistas indexadas, participação em congressos nacionais e internacional, bem como a geração de trabalhos técnicos (Projetos de Conclusão de Curso), o CPAERO / LAEX^N tem recebido atenção em nível nacional e, sob certa ótica, também em nível internacional. Essas ações têm favorecido a captação de novos projetos junto à indústria nacional e possibilitado a melhoria do espaço físico, compra de equipamentos e montagem de um espaço físico para computação científica. Isso será abordado no contexto da apresentação dos próximos projetos.

SÍNTESE:

Parceria: UFU

Financiamento: Interno

2017 – 2019: Correlation of Aerodynamics Measurement Methods and Application on the External Shape Optimization of a Sedan Vehicle (FIAT Chrysler Automobiles FCA – Betim-MG) em parceria com a EESC-USP

Os principais objetivos desta pesquisa foram os de desenvolver uma nova metodologia a ser aplicada em modelos de simulação virtual para avaliar o desempenho aerodinâmico da **Fiat Chrysler Automobiles da América Latina (FCA-LATAM)**, para posteriormente realizar, em um novo software, modificações estratégicas na forma do veículo, melhorando seu desempenho aerodinâmico, e validar as simulações virtuais com um teste físico em túnel de vento. A ferramenta de cálculo de simulação computacional de fluidos dinâmicos (CFD) adotada foi o software ELEMENTS®. Na época, a FCA-LATAM utilizava outros softwares para prever o padrão de escoamento ao redor dos veículos, sendo o software ELEMENTS® uma alternativa mais econômica que poderia ser inserida em algumas etapas do processo de projeto do veículo.

Para ser inserido no fluxo de trabalho da FCA-LATAM, o ELEMENTS® precisou passar por uma série complexa de configurações e testes para fornecer resultados numéricos confiáveis (com dados de alta assertividade quando comparados a testes físicos em túnel de vento já realizados). Esta nova metodologia serviu como guia para simulações futuras. Para atingir esse primeiro objetivo, foi feita uma melhoria no conjunto de melhores práticas a serem aplicadas na configuração para modelagem de simulações para o ELEMENTS®. Para criar essa metodologia, diversas análises foram necessárias, entre elas a geração de malhas de superfície e volumétricas, a escolha correta da modelagem de turbulência, o tipo de regime de escoamento, o número de iterações, o intervalo de tempo, a aquisição de dados, o pós-processamento, entre outros.

Em seguida, foram feitas alterações estratégicas no formato externo de um veículo tipo sedan, com foco na melhoria do desempenho aerodinâmico. Seguindo os requisitos de confidencialidade da FCA, as imagens do veículo tiveram que ser editadas para serem apresentadas nas publicações técnicas geradas nessa pesquisa. A modificação da forma externa foi realizada no software ANSA® (usado para limpeza de geometria e geração de malha), conhecido como "*Direct Morphing*", indicado para modificações mais controladas (menos agressivas), como uma proposta de melhoria técnica para a empresa. As variações de forma tiveram seu impacto na aerodinâmica do veículo avaliado por meio da criação de um Planejamento de Experimentos (DOE). O planejamento de experimentos – DOE's - é útil para indicar regiões em automóveis que devem ser trabalhadas para alcançar uma forma aerodinamicamente mais eficaz, pois apontam as regiões mais sensíveis para determinada variável. O processo de DOE desenvolvido incluiu o ELEMENTS® em sua etapa de simulação numérica.

Considerando todas as abordagens utilizadas no desenvolvimento aerodinâmico de um novo veículo, a última etapa foi construir um modelo físico realista do veículo sedan usado em simulações virtuais em escala 1:5. Toda a preparação foi realizada nas

instalações da FCA. O processo foi dividido em três etapas: usinagem da geometria externa, impressão de componentes adjacentes por impressoras 3D e montagem final. Para comparar os resultados obtidos, foram realizados testes físicos no túnel de vento LAE-1 da Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP.

Os testes foram viáveis somente por meio de uma parceria entre o Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a Universidade Paulista de São Carlos (USP-SC). O modelo foi levado para a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), onde foram realizados testes aerodinâmicos. Os testes físicos consistiram na avaliação da força de arrasto utilizando uma balança aerodinâmica, mapeamento da esteira do modelo utilizando um tubo de Pitot de múltiplos furos e visualização do escoamento na superfície do modelo utilizando a técnica *flowviz*. O impacto das variações de forma na geometria do veículo no coeficiente aerodinâmico também foi avaliado pela campanha experimental. Como houve uma modificação na forma real do veículo em comparação com o modelo em escala devido aos desafios encontrados no processo de fabricação relacionados à viabilidade, os resultados experimentais foram comparados a novos testes virtuais nos quais a forma externa do veículo foi modificada para corresponder à geometria do modelo em escala. Além disso, os resultados foram comparados com dados disponíveis da FCA de testes em túnel de vento em escala real.

Alguns dos principais resultados numéricos e experimentais podem ser visualizados na sequência e foram inseridos na dissertação de mestrado intitulada “***Correlation of Aerodynamics Measurement Methods and Application on the External Shape Optimization of a Sedan Vehicle***” da aluna Fernanda Guimarães Saad.

Os perfis do coeficiente de pressão C_p foram extraídos das soluções numéricas obtidas para a configuração de referência e para a configuração otimizada e podem ser visualizadas através da Figura 41.

A Figura 42 mostra os perfis de velocidade média para o caso base e a configuração otimizada. As imagens mostram que houve uma discrepância maior no comportamento do escoamento na região da esteira traseira, porém mínima quando comparada aos perfis do coeficiente de pressão.

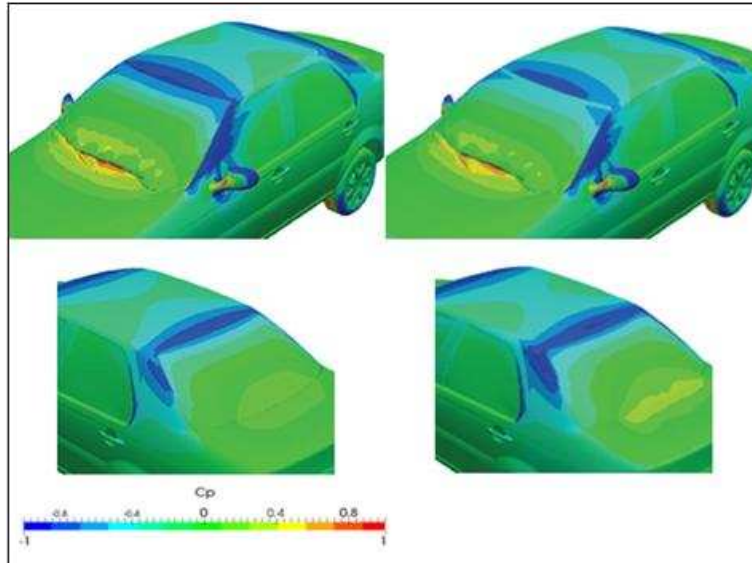


Figura 41. - Coeficiente de pressão C_p para o veículo base (esquerda) e configuração otimizada (direita).

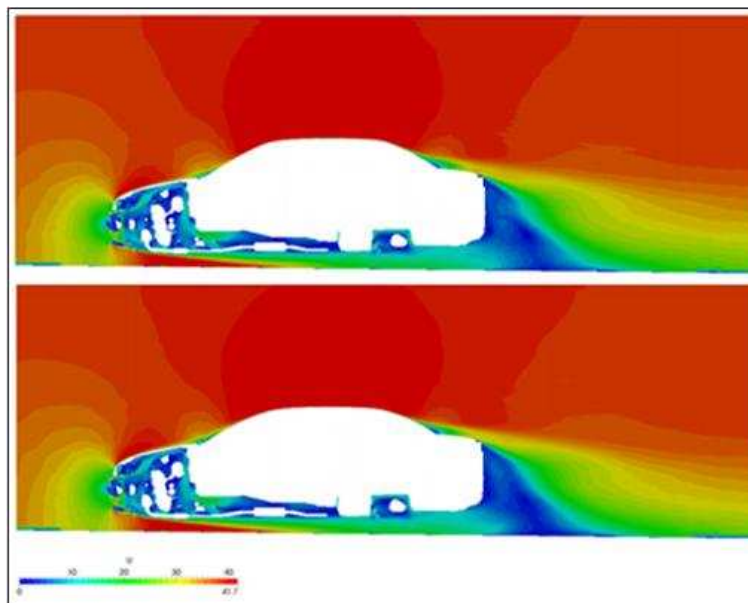


Figura 42. Comportamento da esteira no plano médio ($Y=0$ m) na região traseira do veículo para (acima) configuração de referência e (abaixo).

A configuração de montagem do modelo físico no túnel de vento LAE-1 da EESC-USP bem como alguns resultados podem ser visualizados nas Figuras 43 e Tabela 6.

A Tabela 6 mostra os ganhos de C_d para as configurações que funcionaram conforme previsto nos testes físicos. O objetivo das simulações foi correlacionar os dois métodos de medição. Embora tenham sido encontradas diferenças quantitativas nos valores obtidos, os testes demonstraram uma boa correlação entre os testes físicos e virtuais, visto que todas as configurações testadas apontaram para ganhos (redução de C_d)

quando a influência da presença dos espelhos retrovisores e do fechamento das grades foi avaliada nos casos em que a escala 1:5 foi aplicada.



Figura 43. Ensaio de visualização do escoamento através da técnica de flowviz (com e sem retrovisor)

Tabela 6. ΔC_d para Teste Físico vs Simulação (Escala 1:5) para diferentes configurações.

Simulation	Configuration	ΔC_d Physical Test	ΔC_d Simulation
1	SWithSM	-	-
2	SWoutSM	-0.018	-0.008
3	Closed Upper Grill	-0.006	-0.023
4	Closed Lower Grill	-0.017	-0.042
5	Closed Full Grilles	-0.031	-0.056

Observação: Devido à qualidade dos dados gerados nesta pesquisa, criação de metodologias de simulação em ambiente industrial e devido natureza confidencial dos dados em relação à critérios de desempenho e otimização utilizados pela Empresa FCA-LATAM, os relatórios e dissertação de mestrado foram classificados como **restritos ao acesso público** e, portanto, não foram divulgados em sua forma completa.

SÍNTESE:

Parceria: UFU e FCA LATAM e EESC-USP

Financiamento: INOVAR AUTO (montante UFU de aprox. R\$ 60.000,00 + bolsa)

1 bolsa de mestrado

Alunos envolvidos: 2

2018 – 2019: Análise Aerodinâmica de Pás Bioinspiradas Baseadas em Sementes do Cerrado para Turbinas Eólicas de Pequena Escala (parceria CPAERO/LAEX e INBIO UFU)

Este projeto de pesquisa nasceu de uma parceria entre o CPAERO/LAEX e o **Instituto de Biologia (INBIO) da UFU** devido à necessidade do entendimento, por parte dos biólogos, de como as sementes com características de dispersão pelo vento (anemocóricas) se comportam em diferentes regimes de vento. Notadamente, algumas dessas sementes apresentam características giratórias, quando submetidas a uma corrente de ar (são denominadas **auto-girantes**). Devido a essas características, observamos que elas poderiam ser mais estudadas para possivelmente serem utilizadas como pás de turbinas eólicas.

A crescente demanda por fontes de energia sustentável impulsionou pesquisas intensivas em tecnologias renováveis, e a energia eólica emerge como uma protagonista no cenário da energia verde. Nesse contexto, a otimização de pás de turbinas eólicas desempenha um papel crucial para a eficiência global dos sistemas de geração de energia eólica. A busca por designs mais eficientes e inovadores leva à aplicação de abordagens **bioinspiradas**, onde os princípios da natureza são incorporados para aprimorar o desempenho aerodinâmico.

Essa pesquisa abrangeu uma investigação inédita das propriedades aerodinâmicas de samarídeo do Cerrado, destacando o comportamento de auto rotação, padrões de escoamento e velocidades de queda livre. A análise experimental em túnel de vento foi complementada por simulações RANS (*Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) para o samarídeo (em escala real), a pá de referência de geometria convencional baseado nos aerofólios SG6043 sem ângulo de ataque e a pá bioinspirada (com redução de solidez), e simulações com o software QBlade® para a pá de referência. Para isso utilizou-se o software ANSYS Fluent®, usando o modelo *Moving Frame Reference* – MRF, empregado para modelar o escoamento de ar ao redor da turbina. As simulações cobriram uma faixa de velocidade do vento de 4 a 12 m/s, com acréscimo de 2m/s e uma velocidade de rotação variando de 300 a 700 RPM, com acréscimo de 100 RPM. Houve concordância entre as simulações e os dados experimentais, estabelecendo que a faixa operacional eficaz deste rotor está entre 4.5 e 6 m/s. Os resultados, consistentes com estudos anteriores, revelam padrões de auto rotação eficientes, contribuindo significativamente para a compreensão dos princípios aerodinâmicos subjacentes. Nessas condições, a turbina bioinspirada proposta tem para um TSR = 5, entre com $\Omega = 300 - 500$ RPM, $CP_{m\acute{a}x} \approx 0.54$, enquanto a referência apresentou um $CP_{m\acute{a}x} \approx 0.55$, com TSR = 6, cerca de 460 RPM, no software Qblade®, e $CP_{m\acute{a}x} \approx 0.55$, com TSR = 8, cerca de 600 RPM no Ansys Fluent®. Além disso, foi construído um comparativo entre a pá bioinspirada desenvolvida neste estudo e outras pás bioinspiradas existentes. Essas análises detalhadas oferecem uma base sólida para futuras inovações em turbinas eólicas, fornecendo informações

cruciais sobre o desempenho relativo das pás, suas características de início de rotação e torques associados. Todos os experimentos foram realizados no LAEX (Laboratório de Aerodinâmica Experimental) do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Participaram dessa pesquisa 2 alunas de mestrado, sendo uma vinculada ao Curso de Engenharia Aeronáutica (Lorrana Ferreira Paiva) e a outra vinculada ao Instituto de Biologia (Letícia Rodrigues Novaes).

As sementes ou samarídeos foram digitalizados com escâner ótico, transformados em um modelo CAD tridimensional e processados matematicamente para, em escala, obter-se o padrão de uma pá de gerador eólico. – Figura 44.

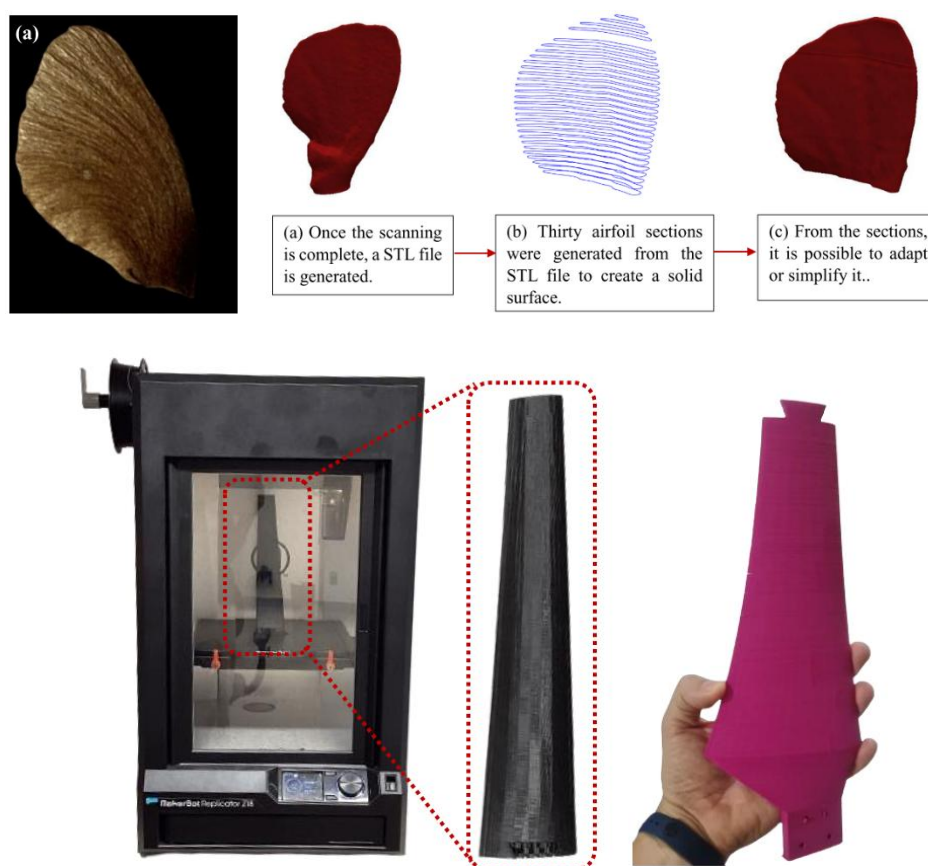


Figura 44. Processo de geração de uma pá de gerador eólico tendo como base uma semente do cerrado.

Os modelos em CAD foram processados através do software ANSYS para a geração de um modelo computacional e simulações foram conduzidas com o ANSYS Fluent®, usando o modelo *Moving Frame Reference* – MRF, modelagem de turbulência através do $k-\omega$ SST, utilizado para modelar o escoamento de ar ao redor da turbina – Figura 45.

Em relação ao modelo físico, foi construído o rotor de um gerador eólico para ensaio em túnel de vento, com instrumentação adequada para medição do torque gerado, bem como instrumentação com Pitot's para medição de perfis de velocidade – Figura 46.

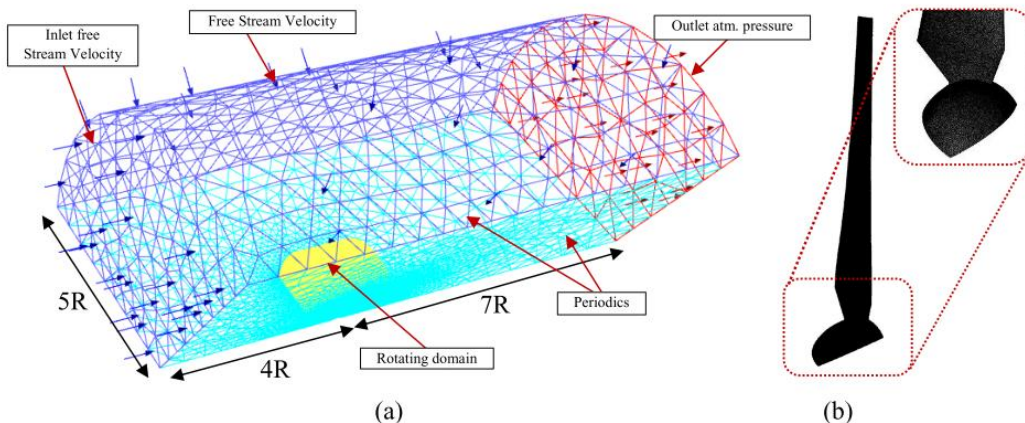


Figura 45. (a) Domínio estático e domínio rotativo em torno de um modelo de HAWT (b) Pá.

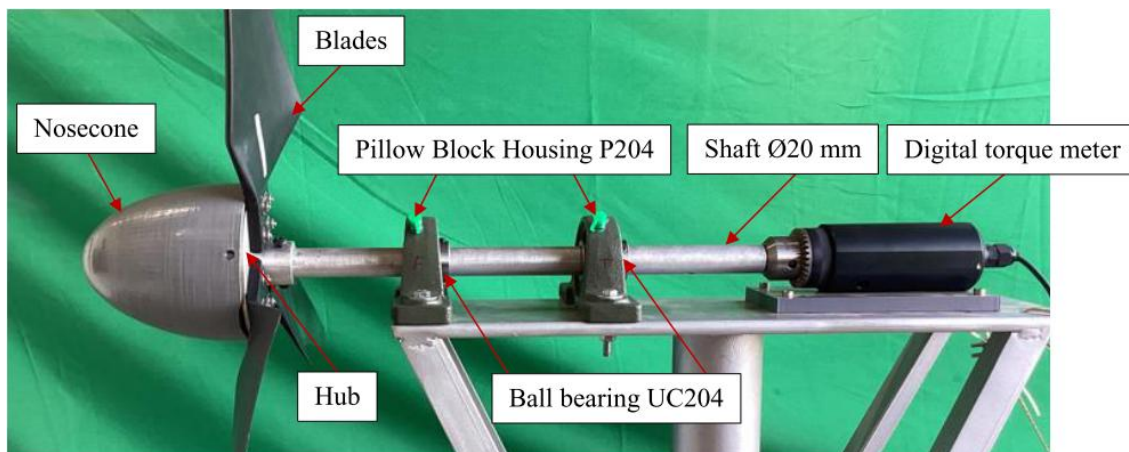
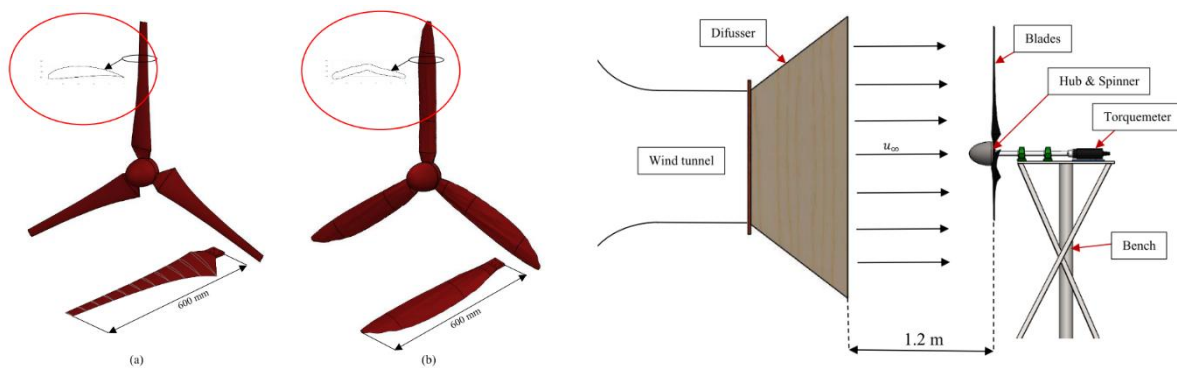


Figura 46. Aparato experimental utilizado para medir o desempenho aerodinâmico das pás bioinspiradas (LAEX).

Para contextualizar a eficiência aerodinâmica das sementes estudadas, a Tabela 7 compara seus principais parâmetros de desempenho com os valores típicos observados em sistemas modernos de turbinas eólicas. Embora as turbinas eólicas sejam controladas ativamente e operem em escalas maiores, as sementes atingem valores

comparáveis ou até superiores do coeficiente de potência (CP) sob autorrotação passiva. Além disso, o coeficiente de empuxo (CT), a relação de velocidade da ponta (λ) e o ângulo de cone (β), observados nas sementes, refletem uma morfologia adaptada para um voo estável e eficiente.

Tabela 7. Parâmetros aerodinâmicos de sementes versus turbina moderna.

Seed	<i>B. laevifolia</i>	<i>P. tomentosa</i>	<i>Q. grandiflora</i>	Modern wind turbine ⁴
<i>Parameter</i>				
Power coefficient, CP	0.458	0.567	0.587	0.45–0.50 (max 0.593)
Thrust coefficient, CT×10 ²	1.85	2.34	1.19	0.8–1.2
Tip speed ratio, λ	0.30	0.36	0.65	4–7
Angular velocity, Ω (rad/s)	131.5	146.3	134.3	~1–6

O comportamento aerodinâmico observado nessas sementes é marcado por alta eficiência em voo passivo e está alinhado com os princípios de projeto de sistemas de rotores. O movimento auto-rotacional, auto-estabilizador e os efeitos de amortecimento aerodinâmico sugerem aplicações potenciais na otimização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), micro-rotores e dispositivos de coleta de energia eólica em pequena escala.

Por fim, é importante ressaltar que essa pesquisa teve um aspecto importante no contexto da infraestrutura do CPAERO/LAEX, pois testou a nossa capacidade de gerir um problema complexo, multidisciplinar, o qual exigiu o entendimento e aprendizado bem como o acoplamento de diferentes ferramentas computacionais e técnicas experimentais de medição (com suas respectivas peculiaridades) para a solução de um problema de engenharia. Fundamentos de bioinspiração e aplicação em problemas de engenharia foram também relevantes ao longo da realização dessa pesquisa. Durante e ao término da pesquisa foram conduzidos importantes publicações em congressos nacionais e internacionais bem como publicação de artigos em revistas internacionais indexadas (CAPES/Qualis).

SÍNTESE:

Parceria: UFU (CPAERO e INBIO)

Financiamento: CAPES (bolsa mestrado)

2 bolsas de mestrado

Alunos envolvidos: 2

2018 – 2019: Advanced Experimental Aeroacoustics of Nose Landing Gear and Wind Tunnel Upgrade (Boeing BR&TB -Boeing Brazil)

Esse projeto de pesquisa foi um esforço colaborativo entre o Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), e a **Boeing Research and Technology – Brasil (BR&TB)**, como parte da **The Boeing Company (Boeing)**, no tema “**Aeroacústica Experimental Avançada do Trem de Pouso de Nariz e Atualização do Túnel de Vento**”. Nesse contexto também participou, como universidade parceira, o Departamento de Engenharia Aeronáutica da Escola de Engenharia de São Carlos (SAA-EESC-USP), no âmbito da Universidade de São Paulo (USP), onde foram realizados os trabalhos experimentais.

O projeto ***Advanced Experimental Aeroacoustics of Nose Landing Gear and Wind Tunnel Upgrade*** abordou a caracterização experimental do ruído gerado por trens de pouso de nariz (*Nose Landing Gear – NLG*) e a modernização de infraestrutura experimental para ensaios aeroacústicos em túnel de vento. O estudo analisou tecnologias de mitigação de ruído, como *fairings* e controle passivo de escoamento, discutindo seus níveis de maturidade tecnológica (TRL) e o impacto acústico em nível de componente e de aeronave, evidenciando limitações práticas e a necessidade contínua de ensaios experimentais para validação de modelos numéricos de Aeroacústica Computacional (CAA).

O projeto envolveu o aprimoramento de técnicas avançadas de ***beamforming*** para identificação de fontes sonoras em túneis de vento com seção de teste fechada e aberta, considerando efeitos de reverberação, ruído de fundo e limitações aerodinâmicas. Nesse contexto, foi realizada a adaptação do túnel de vento LAE-1 (EESC-USP) para medições aeroacústicas, com caracterização do ruído de fundo, definição de condições operacionais críticas e implementação de instrumentação acústica com arranjos de microfones e técnicas de processamento de sinais capazes de identificar fontes até 25 dB abaixo do nível de ruído de fundo.

Ensaio aeroacústicos extensivos com modelos de trem de pouso foram conduzidos em parceria entre a EESC-USP, CPAERO-UFU e a Boeing BR&TB, evidenciando limitações da infraestrutura existente para determinadas faixas de frequência e condições de Reynolds, o que motivou a necessidade de upgrades estruturais e operacionais do túnel de vento. O projeto também contextualizou a consolidação do CPAERO/UFU, com a implantação de um túnel de vento de médio porte e infraestrutura avançada de estabilização de escoamento, abrindo perspectivas de cooperação institucional entre USP e UFU para pesquisas em aeroacústica experimental de alta fidelidade.

Como resultado, o projeto contribuiu para o avanço metodológico em medições aeroacústicas, fortalecimento da infraestrutura experimental nacional, formação de recursos humanos especializados e ampliação da cooperação universidade–indústria e interinstitucional, consolidando competências estratégicas em aeroacústica

aeronáutica no Brasil. Participaram desse projeto 1 aluno de doutorado, 1 aluno de mestrado e 2 alunos de iniciação científica. A Figura 47 ilustra o fluxo de trabalho (workflow) entre a empresa e as universidades envolvidas.

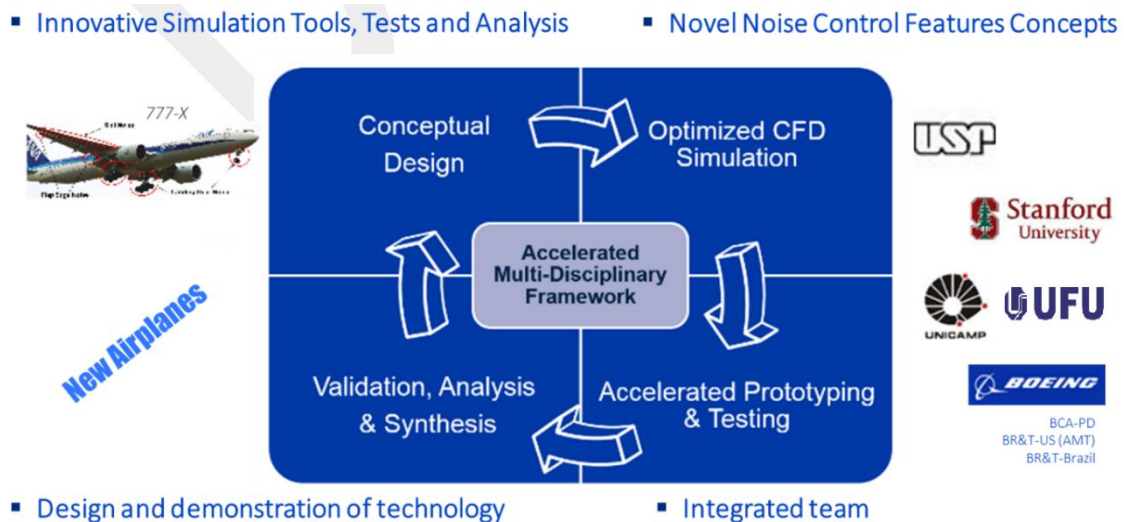


Figura 47. Conceito de estrutura integrada para esse projeto.

Os principais resultados estão sumarizados nas duas subseções de acordo com a abordagem proposta:

Aeroacústica do Trem de Pouso de Nariz (Boeing 777)

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Aerodinâmica (LAE) do Departamento de Engenharia Aeronáutica da Faculdade de Engenharia da Universidade de São Paulo (USP), Brasil. A instalação de teste LAE-1, possui uma seção de teste com 1,30 m de altura, 1,70 m de largura e 3,0 m de comprimento. O ventilador de oito pás com cinco corretores de fluxo é acionado por um motor elétrico de 82 kW projetado para atingir uma velocidade de escoamento na seção de teste de 50 m/s, conforme descrito por Catalano (2004). O nível de turbulência confirmado pelas medições é de 0,2% Santana *et al.* (2014). A Figura 48 ilustra esquematicamente a configuração experimental do NLG instalado na seção de teste do túnel de vento, bem como o sistema de coordenadas empregado nesta análise.

O modelo de teste foi baseado no trem de pouso dianteiro de um Boeing 777, em escala 1:6, mantendo sua geometria complexa, onde vários componentes foram replicados para reproduzir a configuração real. O modelo foi simplificado pela remoção de peças detalhadas menores que 2 mm quando dimensionadas a partir das dimensões em escala real. Este modelo em escala foi simplificado principalmente para ser usado em

simulações da CAA, não apresentadas neste trabalho. O compartimento da cavidade foi incorporado em uma carenagem semelhante à fuselagem, onde o trem de pouso dianteiro foi montado. Assim, o modelo inclui as portas e suportes laterais, os reforços laterais, os faróis, a barra de torque, a direção e os mecanismos da barra de reboque, conforme ilustrado na Figura 49. A necessidade de simular um padrão de escoamento mais realista levou à adição de um modelo de carenagem da fuselagem. A ilustração de todo o modelo, fuselagem e trem de pouso dianteiro, bem como suas principais dimensões, são mostradas na Figura 50.

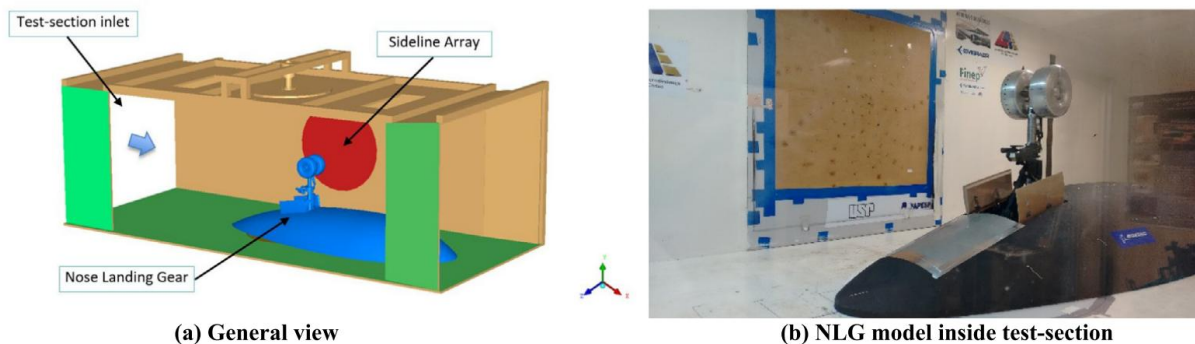


Figura 48. Esquema da montagem experimental no LAE-1 com modelo B777 em escala 1:6.

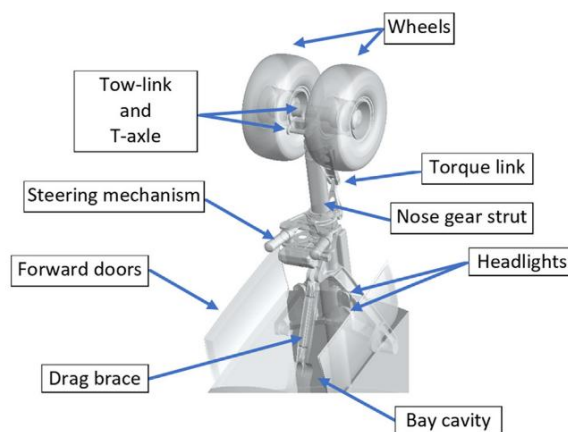


Figura 49. Descrição dos principais componentes do trem de pouso dianteiro do B777 (após simplificação).

Técnicas de mapeamento de ruído (*beamforming*) foram aplicadas para a localização da fonte de ruído por meio de medições com matriz de microfones. Além disso, a análise de ruído em campo próximo foi realizada por microfones instalados dentro das cavidades do modelo, como parte dos procedimentos de correlação para investigação de ruído e criação de dados de referência para simulações CAA adicionais. Adicionalmente, o mapeamento do escoamento de esteira e as medições aeroacústicas laterais permitiram

a caracterização do campo de escoamento e das posições das fontes de ruído em baixas velocidades subsônicas na condição de aproximação (*approach*). A flexibilidade da construção do modelo permitiu uma montagem sistemática das principais peças e estruturas e, portanto, uma análise de acúmulo de ruído mostrou a contribuição de cada componente para o ruído total do trem de pouso dianteiro. As medições em campo próximo forneceram melhores informações sobre os mecanismos de geração de ruído de cada componente. Apesar de algumas limitações identificadas ao seguir essa abordagem, os resultados foram consistentes e revelaram que as fontes de ruído estão concentradas na cavidade do compartimento, na superestrutura e entre as rodas. A viabilidade de medir fontes de ruído em um trem de pouso dianteiro detalhado foi alcançada com um desenvolvimento de custo relativamente baixo, fornecendo dados úteis para cálculos adicionais da Aeroacústica Computacional (CAA), bem como para o desenvolvimento de medidas de mitigação de ruído.

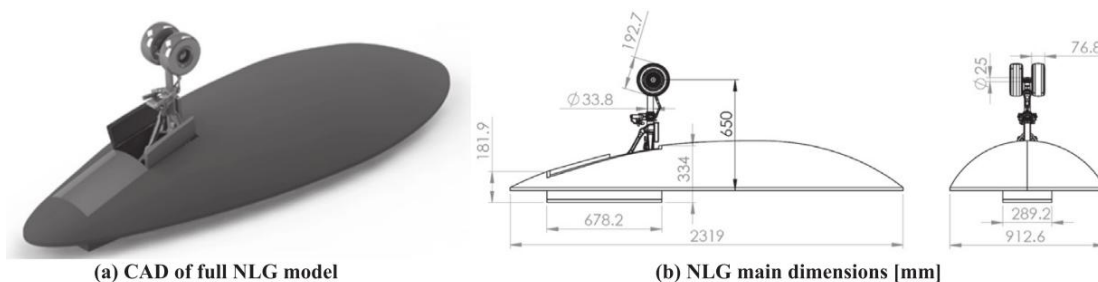


Figura 50. Conjunto completo do modelo (fuselagem e trem de pouso dianteiro) e suas principais dimensões em [mm].

A Figura 51 mostra os perfis de velocidade na esteira do trem de pouso em vários planos transversais, os quais foram obtidos utilizando as medições do tubo de Pitot de 7 furos. As 3 componentes de velocidade u , v e w foram medidas a uma distância a jusante de 270 mm (1,35D) do centro do modelo da roda em 6 posições verticais distintas (de -300 mm até 150 mm).

As principais características do espectro acústico medido dentro da cavidade da baía do trem de pouso são observadas na Figura 52, mostrando componentes tonais na frequência fundamental de 150 Hz e até a 6ª frequência harmônica em função do número de Mach. A Fig. 52 também mostra como o número de Mach altera o ruído dentro da cavidade do trem de pouso dianteiro principal.

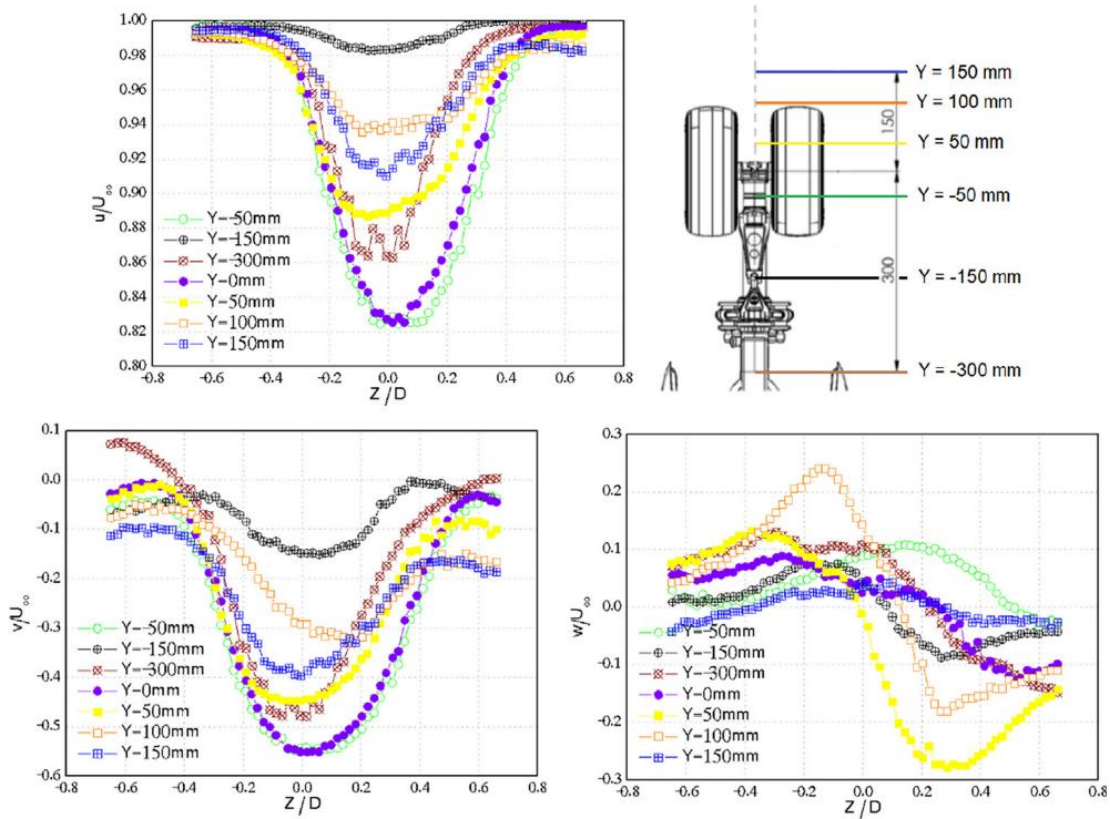


Figura 51. Perfis de velocidade na esteira do NLG medidos com sonda de Pitot de 7 furos.

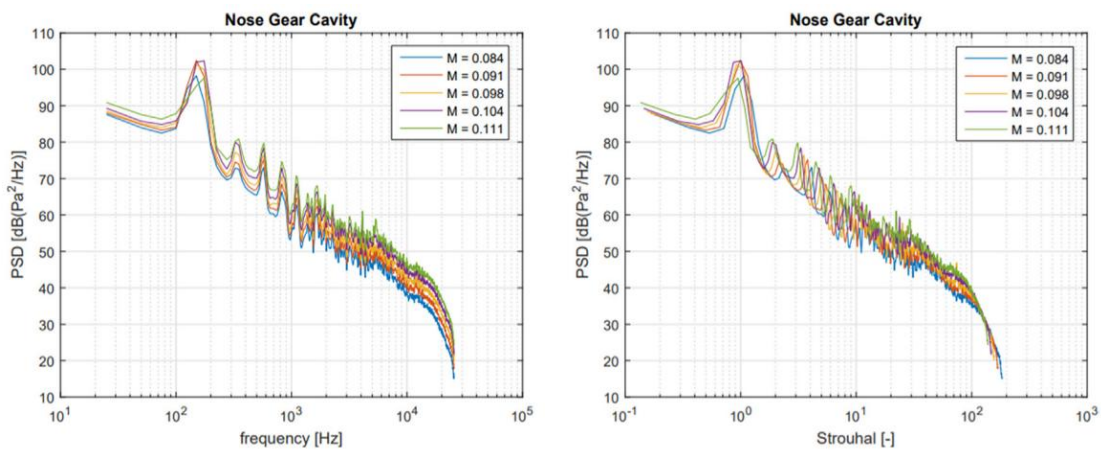


Figura 52. Variação do espectro de ruído do microfone dentro da cavidade principal do trem de pouso dianteiro.

A Figura 53 ilustra os mapas de ruído resultantes para as medições laterais. É importante ressaltar que, para essas medições, o foco da antena de microfones (região de interesse – ROI) foi posicionado sobre o modelo completo, que consistia em parte da fuselagem e todo o conjunto do trem de pouso dianteiro, conforme indicado pela região vermelha na Figura 53(a). Os mapas laterais apresentam, em uma faixa de 300 Hz a 3000 Hz, uma fonte distribuída por todo o trem de pouso dianteiro, que muda para frequências mais

altas, mostrando fontes concentradas no mecanismo de direção, na barra de torque e nas rodas. A Fig. 53 também mostra as fontes de ruído, concentradas principalmente na parte traseira das regiões do trem de pouso dianteiro, o que possivelmente indica que as fontes de ruído mais importantes são a borda da cavidade ou os elementos a jusante do trem de pouso dianteiro, como a barra de torque ou a parte traseira do mecanismo de direção e a haste superior.

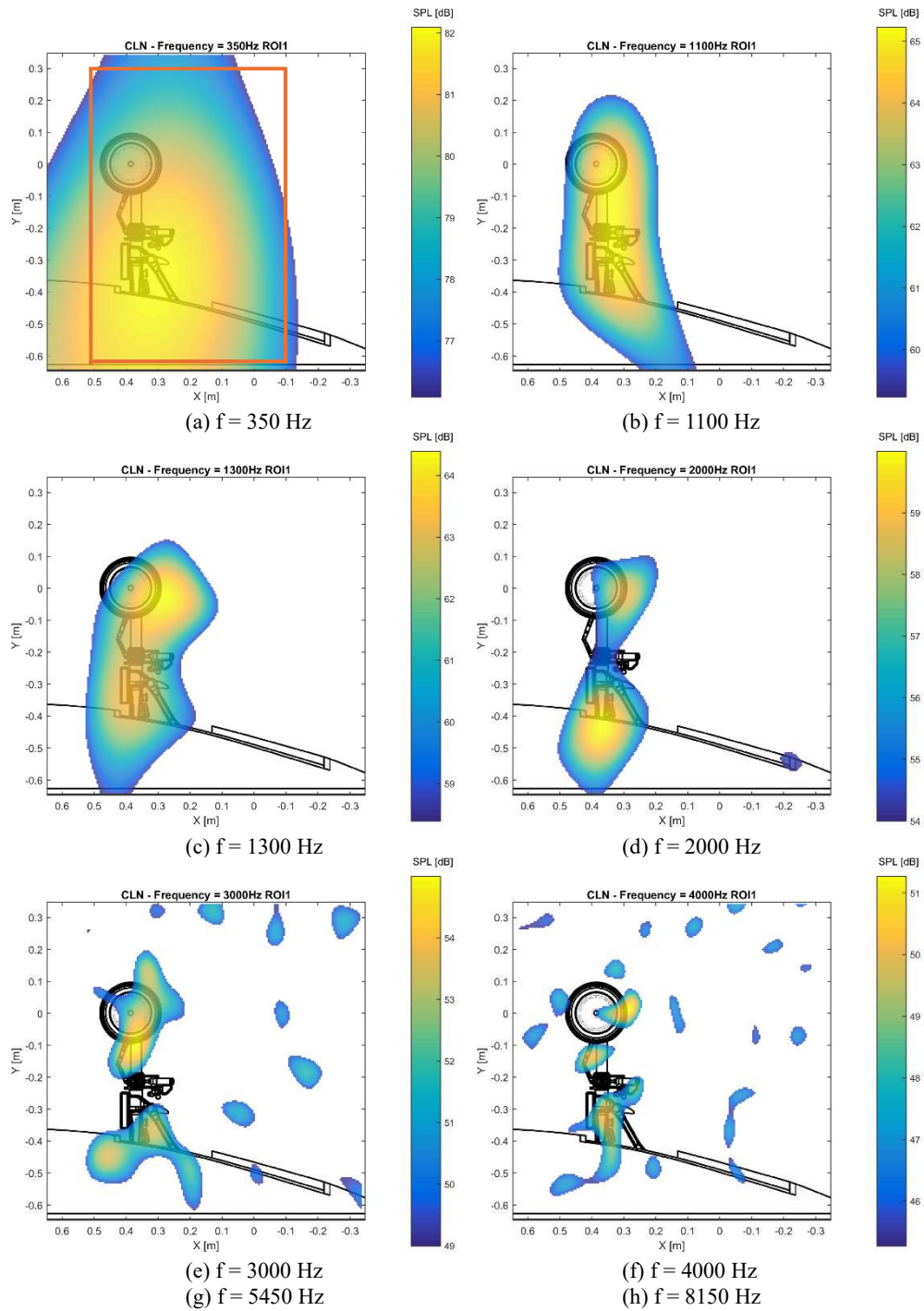


Figura 53. Mapas ruído para as medições laterais ($M = 0,10$).

Aprimoramentos em uma seção de teste fechada de parede rígida de um túnel de vento subsônico para testes aeroacústicos

Nessa etapa da pesquisa, para obter medições aeroacústicas precisas para a indústria aeronáutica, o túnel de vento de baixa velocidade LAE-1 da EESC-USP, projetado principalmente para testes aerodinâmicos, foi modificado para proporcionar um ambiente com menor ruído de fundo. Com base em dados de microfones individuais em diferentes locais do túnel de vento e em medições com matrizes de microfones em fase dentro da seção de teste, as principais fontes de ruído foram identificadas e alternativas viáveis foram implementadas para reduzir o ruído de fundo, como novas aletas de canto com tratamento acústico e revestimento lateral localizado a montante do sistema de acionamento. O conceito de transparência acústica para a seção de teste também foi investigado, mostrando resultados promissores para melhorias futuras no túnel de vento. Os resultados apresentados referem-se aos níveis de pressão sonora obtidos a partir de medições com microfones individuais em diferentes locais do túnel de vento, bem como com a antena de microfones posicionada dentro da seção de teste. As medições de ruído de fundo antes e depois das melhorias confirmam que a capacidade de realizar testes aeroacústicos aumentou significativamente, com uma redução de ruído de 5 dB dentro da seção de ensaio.

De maneira resumida, medições pontuais de ruído de fundo foram realizadas usando um microfone G.R.A.S. 46BD instalado em um suporte em diferentes locais do túnel, bem como no meio da seção de teste, conforme ilustrado na Figura 54. A aquisição foi realizada por meio de um sistema PXI®, composto por quatro placas NI PXIe4496 com capacidade para armazenar simultaneamente 64 entradas analógicas com resolução de 24 bits e taxa de amostragem máxima de 204,8 kHz. Essa abordagem foi muito importante para identificar e localizar as principais fontes potenciais de ruído provenientes de diferentes locais dentro do túnel de vento em diferentes velocidades de escoamento, respectivamente de [9,8 m/s, 15,3 m/s, 20,9 m/s, 26,7 m/s, 35,2 m/s, 40,9 m/s e 46,4 m/s].

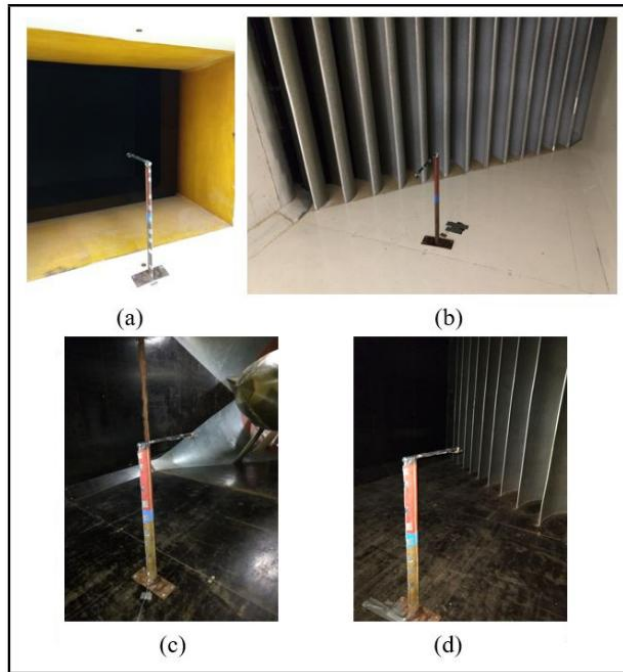


Figura 54. Medições com um único microfone em diferentes locais do túnel de vento.

As medições com uma matriz de microfones (*beamforming*) também foram realizadas com uma antena de 61 microfones embutida na parede lateral do túnel (localização lateral). Todos os microfones eram do tipo cartucho G.R.A.S. 46BD, combinando um transdutor de pressão (40BD) e um pré-amplificador (26CB). Os 61 microfones foram posicionados em uma parede de 0,8 m × 0,8 m, como mostrado na Fig.55. A aquisição também foi realizada através do sistema PXI[®], como já comentado.

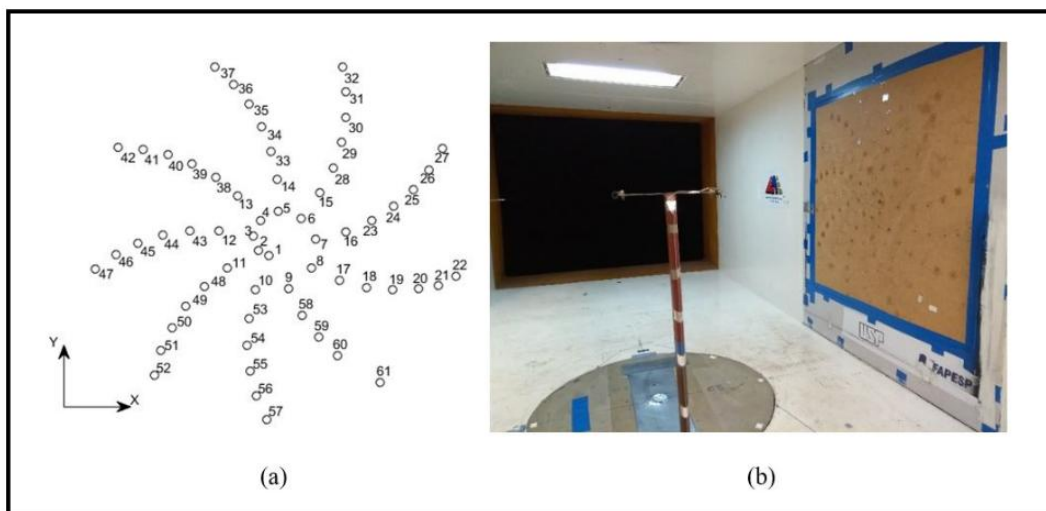


Figura 55. (a) Descrição do conjunto de microfones; (b) Antena de microfones (LAE-1).

Os espectros de ruído foram analisados e demonstraram que a maior parte do ruído presente na seção de teste provinha do sistema de acionamento do ventilador. Com base nos dados, foram implementadas alternativas viáveis e de baixo custo para auxiliar na redução do ruído de fundo, como novas corretores de canto com tratamento acústico e revestimento lateral localizado a montante do sistema de acionamento – Figura 56. As medições mais recentes do ruído de fundo mostram uma redução de 5 dB na faixa de frequência de 2 kHz a 10 kHz, em comparação com a configuração anterior – Figura 57. No entanto, ainda existem alguns problemas com as partes de baixa e alta frequência do espectro (abaixo de 1000 Hz e acima de 10 kHz, respectivamente). Também foi possível verificar que os níveis de ruído de fundo eram competitivos em frequências baixas (< 1 kHz) e altas (> 10 kHz), provavelmente devido à filtragem do escoamento sobre os painéis de espuma.



Figura 56. Melhoria da parede lateral e corretores de canto com a aplicação de espuma de melamina (painel branco).

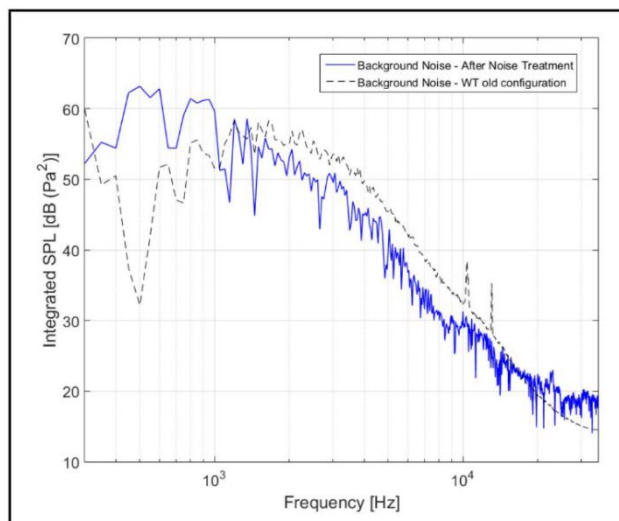


Figura 57. Comparação da medição do ruído de fundo antes e depois das modificações acústicas no LAE-1.

Em síntese, esta pesquisa representou um avanço significativo na consolidação de metodologias experimentais em aeroacústica aplicada a trens de pouso, ao integrar instrumentação acústica avançada, técnicas de *beamforming*, análise de ruído de fundo e modernização de túneis de vento. O projeto contribuiu para o fortalecimento da infraestrutura experimental nacional, ampliou a cooperação universidade-indústria e interinstitucional (EESC-USP, Boeing BR&TB e UFU/CPAERO) e proporcionou a formação de recursos humanos especializados em aeroacústica experimental. Os resultados obtidos estabeleceram bases técnicas e científicas para estudos de maior fidelidade em ruído aeronáutico, consolidando competências estratégicas no país e reforçando o papel da UFU como polo emergente em pesquisa aeroacústica.

SÍNTESE:

Parceria: UFU e BOEING BR&TB e EESC-USP

Financiamento: BOEING BR&TB (montante de aprox. US\$ 50.000,00)

1 bolsa de mestrado, 1 bolsa de doutorado, 1 bolsa pós-Doc.

Alunos envolvidos: 3

2020: Ensaios em túnel de vento de um modelo hipersustentador 30P30N na Universidade de Twente (Holanda) – Professor Visitante

Durante a realização das atividades de pesquisa do projeto anterior, houve a inclusão do nosso Laboratório (CPAERO) numa parceria entre a EESC-USP e a **Universidade de Twente** na Holanda, sendo possível a participação da minha pessoa e futuramente alunos de mestrado e doutorado em pesquisas conjuntas com essa renomada instituição.

Para tanto, fui agraciado com uma bolsa de pesquisa (**Professor Visitante**) para a permanência de até 30 dias na **Universidade de Twente** a qual ocorreu entre os meses de FEV/MAR de 2020, sob a tutela do Prof. Leandro Dantas de Santana. Todos os custos de passagens aéreas, traslado no local, hospedagem e alimentação serão custeados pela Universidade de Twente. As seguintes atividades foram planejadas para o período de intercâmbio naquela instituição:

- Acompanhamento e desenvolvimento de ensaios em túnel de vento aeroacústico;
- Troca de práticas em atividades de ensino e pesquisa;
- Atendimento a aulas e reuniões de projeto do programa HTHT - *Minor Aircraft Engineering*;
- Visita aos demais laboratórios de ensino e pesquisa daquela instituição;
- Estabelecimento de um contrato de parceria acadêmica/científica entre a UFU e a Universidade de Twente – Holanda.

Desta forma, o intercâmbio e atividades programadas como Professor Visitante ocorreram, conforme programadas. Houve uma forte interação e integração com o grupo de professores e nos trabalhos de doutoramento do aluno Marijn Sanders na montagem de um arranjo experimental para o ensaio aeroacústico de um modelo de hipersustentador 30P30N – Figura 58.



Figura 58. Grupo de estudo - Ensaios em túnel de vento de um modelo hipersustentador 30P30N (Twente, 2020).

Destaco os seguintes resultados:

Acompanhamento e desenvolvimento de ensaios em túnel de vento aeroacústico

Durante o período como Professor Visitante na Universidade de Twente, participei do acompanhamento e desenvolvimento de ensaios em túnel de vento aeroacústico, com foco em metodologias experimentais avançadas para identificação e caracterização de fontes sonoras em escoamentos complexos. Essa atividade permitiu a troca de conhecimento sobre instrumentação acústica, técnicas de *beamforming*, tratamento de ruído de fundo e estratégias de aquisição de dados em instalações de alta fidelidade, contribuindo para a qualificação das metodologias empregadas posteriormente nos laboratórios CPAERO e LAEX da UFU e fortalecendo a inserção internacional das pesquisas desenvolvidas – Figura 59.



Figura 59. Atividades realizadas durante campanha de ensaios do hipersustentador 30P30N.

Troca de práticas em atividades de ensino e pesquisa

Foram realizadas atividades sistemáticas de troca de experiências em ensino e pesquisa com docentes e pesquisadores da Universidade de Twente, abordando estratégias pedagógicas, estrutura curricular, organização de projetos de pesquisa e gestão de infraestrutura experimental. Essa interação contribuiu para a incorporação de boas práticas internacionais na formação em Engenharia Aeronáutica na UFU, além de subsidiar o aprimoramento de disciplinas, metodologias de ensino ativo e estratégias de formação de recursos humanos em nível de graduação e pós-graduação.

Atendimento a aulas e reuniões de projeto do programa HTHT – Minor Aircraft Engineering

No âmbito do programa **HTHT – Minor Aircraft Engineering**, participei de aulas e reuniões de projeto, acompanhando a estruturação de atividades baseadas em **project-based learning** e integração interdisciplinar ministradas pelo Prof. Leandro Dantas de Santana. Essa experiência permitiu compreender modelos avançados de formação em engenharia aeronáutica adotados em instituições europeias, fornecendo subsídios para o aprimoramento de práticas pedagógicas e para a implementação de estratégias similares no curso de Engenharia Aeronáutica da UFU, especialmente no contexto de disciplinas de projeto e integração curricular.

Visita aos demais laboratórios de ensino e pesquisa

Foram realizadas visitas técnicas aos principais laboratórios de ensino e pesquisa da Universidade de Twente, com foco em infraestrutura experimental, organização laboratorial, segurança operacional e integração ensino–pesquisa. Essas visitas possibilitaram a identificação de padrões internacionais de excelência em instalações experimentais, contribuindo para o planejamento e consolidação da infraestrutura do CPAERO e do LAEX na UFU, além de orientar estratégias de expansão e modernização dos laboratórios de ensino e pesquisa.

Estabelecimento de parceria acadêmica/científica UFU–Universidade de Twente

Como resultado do período de intercâmbio, foram iniciadas tratativas para o estabelecimento de parceria acadêmica e científica entre a Universidade Federal de Uberlândia e a Universidade de Twente, com vistas a cooperação em pesquisa, intercâmbio de estudantes e docentes, desenvolvimento de projetos conjuntos e publicações científicas. Essa iniciativa reforçou a estratégia de internacionalização da UFU, ampliando a inserção do grupo de pesquisa em redes internacionais e

consolidando canais institucionais para cooperação de longo prazo em aeroacústica e aerodinâmica experimental.

SÍNTESE:

Parceria: UFU e Universidade de TWENTE

Financiamento: TWENTE (montante de aprox. € 5.000,00)

1 bolsa de prof. visitante

Professor envolvido: 1

2021-2023: Investigação Experimental do Fenômeno de Transição Laminar Turbulenta em Asa Reta (2D) e Enflechada (FAPEMIG APQ-01589-21)

Esta pesquisa buscou investigar experimentalmente a transição natural do escoamento laminar para o turbulento em asas retas (STR) e enflechadas (SWE) em baixos números de Reynolds, fornecendo informações sobre o comportamento aerodinâmico relevante para aeronaves de pequeno porte e VANT's. O foco principal foi caracterizar os mecanismos de transição, incluindo a influência da geometria da asa e do ângulo de enflechamento no desenvolvimento da camada limite. A motivação reside na melhoria da eficiência aerodinâmica e do desempenho de veículos para operação em baixo número de Reynolds por meio da compreensão da dinâmica da transição, o que pode contribuir para projetos de asas mais eficientes, reduzir o arrasto e aumentar a eficiência de voo para aplicações como VANT's e microveículos aéreos.

Para atingir esse objetivo, duas configurações de asa — reta (STR) e enflechada (SWE) — foram investigadas, com foco na análise do efeito das instabilidades de T-S (Tollmien-Schlichting) e CF (*Crossflow*) no escoamento em números de Reynolds baixos a moderados ($Re < 10^6$). Testes em túnel de vento com configuração aerodinâmica foram realizados e a técnica de termografia foi aplicada para avaliar a frente de transição. Como novidade, entende-se que a técnica empregada permitiu uma visão ampla da evolução da região de transição da camada limite em baixos números de Reynolds, fornecendo novos insights sobre a influência da flecha da asa e aprimorando modelos aerodinâmicos para UAV's e pequenas aeronaves. Para uma análise mais detalhada, seria necessário utilizar instrumentação mais avançada, como termografia a laser, ou modelos numéricos de alta fidelidade, como DNS, que não estão dentro do escopo desta pesquisa neste momento.

Essa pesquisa foi importante para consolidar as atividades do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) da Universidade Federal de Uberlândia, por meio do envolvimento e desenvolvimento de projetos aplicados à indústria aeronáutica brasileira. Trata-se, portanto, de mais uma parceria entre o CPAERO/UFU e o LAE/EESC-USP em diferentes projetos vinculados a indústria aeronáutica nacional. Ainda, acrescenta-se a colaboração de uma universidade na Europa, através da **Universidade Tecnológica de Delft** na Holanda, da qual veio a contribuição do compartilhamento de dados de testes em túnel de vento, medições espaço-temporais utilizando TOMO-PIV e pós-processamento das informações de teste, através do **Projeto GlowWing**, aprovado pelo ERC – European Research Council, tendo como coordenador o Prof. Mario Kotsonis. Desta forma, a contrapartida estrangeira vem da complementação da inserção de novas tecnologias como atuadores de plasma e modelagem de controle de estabilidade.

Essa pesquisa foi integralmente financiada pela FAPEMIG através do Processo APQ-01589-21, tendo como o processo de desenvolvimento resumido na Figura 60:

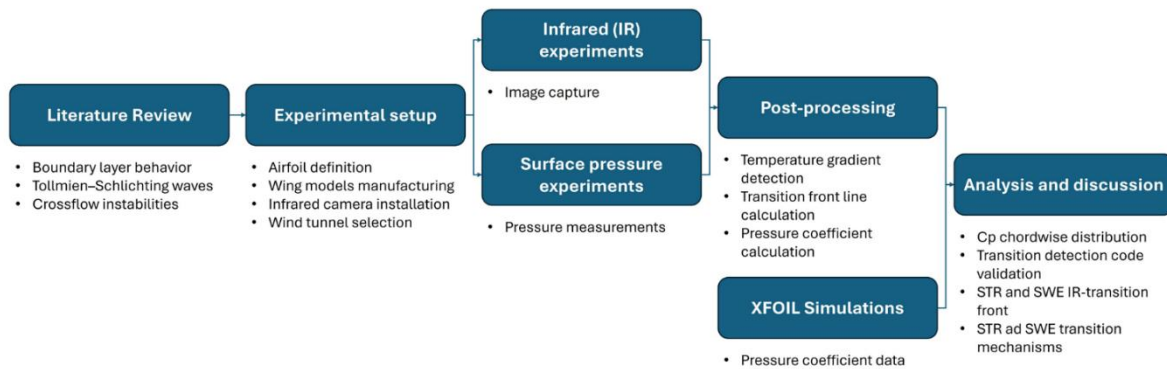
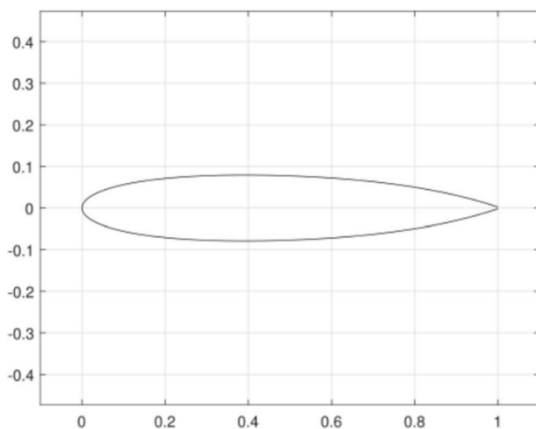


Figura 60. Sequência de desenvolvimento da pesquisa.

As plataformas de referência — asas STR e SWE — utilizadas neste estudo são baseadas em um perfil aerodinâmico laminar geral projetado para garantir um escoamento laminar natural prolongado. Os requisitos de projeto, bem como o perfil aerodinâmico para escoamento laminar são apresentados na Figura 61.



- $\frac{t}{c} > 12\%$
- $\frac{x_{tr}}{c} > 15\%$ at $\alpha \leq 5^\circ$ at the proposed Reynolds number envelop and $N_{crit} = 8$
- No laminar separation
- Low C_L for 3D effects minimization
- $5 < \frac{L}{D} < 20$.
- Symmetric airfoil

Figura 61. Perfil aerodinâmico laminar geral projetado (3609) para o presente estudo.

Apesar de possuírem o mesmo perfil aerodinâmico, as duas asas foram construídas com materiais diferentes e processos de fabricação distintos. Em ambos os casos, foi dada especial atenção para garantir um acabamento superficial adequado, evitando a transição forçada da camada limite devido à rugosidade dos modelos. Primeiramente, um modelo de asa reta (STR) em alumínio foi construído com base em usinagem automatizada (CNC). Tomadas de pressão superficiais foram incorporadas à superfície do modelo para medições de distribuição de pressão. Mesmo com a alta qualidade das tolerâncias e do acabamento superficial no modelo de alumínio, sua refletividade às ondas infravermelhas tornou-se uma preocupação nas medições de termografia infravermelha (IRT). Assim, um método de fabricação diferente foi escolhido para a asa enflechada (SWE). A asa SWE foi fabricada em fibra de vidro por meio de um processo de

laminação convencional. Este método de fabricação combinou baixo peso, alta resistência e não refletividade às ondas infravermelhas no modelo enflechado. Também garantiu um acabamento superficial adequado para as medições da camada limite laminar. Tomadas de pressão também foram incorporadas à asa enflechada para a medição da distribuição de pressão. Ambas as asas foram projetadas e fabricadas para abranger toda a seção de teste, garantindo condições de escoamento bidimensional. Assim, o modelo STR apresenta uma envergadura de 1,29 m e um comprimento de corda de 0,5 m. O modelo SWE manteve a dimensão de corda, mas apresentou uma envergadura total de 1,434 m devido ao seu ângulo de enflechamento de 25°, mantendo 1,29 m paralelo à envergadura da seção de teste. A Figura 62 mostra os modelos de asa reta e enflechada instalados na seção de teste do túnel de vento LAE-1 da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP).



Figura 62. Asas retas e enflechadas instaladas na seção de testes do túnel de vento LAE-1.

Devido às dimensões dos modelos, os experimentos foram conduzidos em um túnel de vento de circuito fechado e baixa velocidade, localizado no Laboratório de Aerodinâmica Aplicada (LAE) do Departamento de Engenharia Aeronáutica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), em parceria com o Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) da Universidade Federal de Uberlândia. A instalação possui uma seção de teste com 1,67 m de largura, 1,29 m de altura e 3 m de comprimento. Ela pode atingir uma velocidade máxima de 40 m/s, acionada por um motor elétrico de 110 hp controlável por um inversor de frequência. A câmara de estabilização foi projetada para manter um nível de turbulência de 0,2%. Na sequência, são apresentados os principais resultados dessa pesquisa.

Distribuição de Pressão

A Figura 63 apresenta as curvas do coeficiente de pressão (C_p) para os modelos de asa STR e SWE em ângulos de ataque variando de 2° a 5° e dois números de Reynolds apenas, por brevidade, (450.000, 650.000, 765.000 e 915.000). Embora os números de Reynolds não sejam perfeitamente iguais para cada modelo de asa, sua proximidade permite comparações. O objetivo deste experimento é investigar a possível presença de fenômenos inesperados nesses regimes de baixo número de Reynolds, que podem ser examinados por meio da análise da distribuição de C_p .

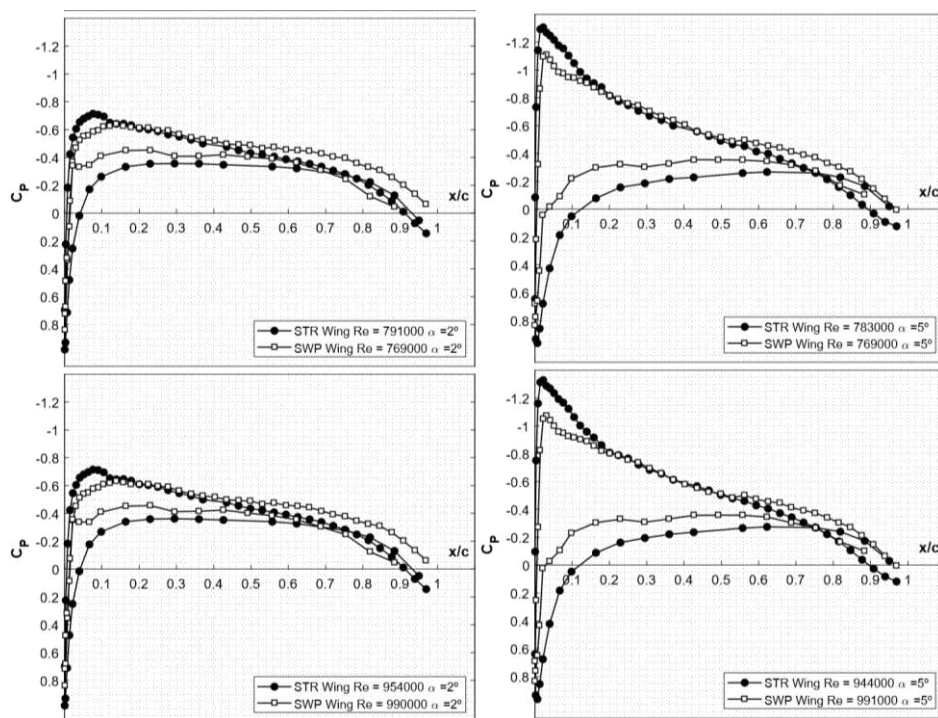


Figura 63. Distribuição da pressão ao longo da corda da asa reta (STR) e enflechada (SWE).

Termografia e Transição

As medições da frente de transição da camada limite laminar exigem uma consideração cuidadosa da influência da instrumentação nos dados obtidos. A inserção de instrumentos na região da camada limite e na superfície da asa pode causar uma transição forçada da camada limite, comprometendo a precisão dos dados medidos. Além disso, a camada limite laminar pode ser muito fina para que a instrumentação convencional meça com precisão a pressão e a velocidade. A técnica de termografia infravermelha (IRT) oferece uma solução viável para essas medições, superando essas adversidades, a qual foi utilizada no contexto desta pesquisa – Figura 64.

Como a frente de transição da camada limite é identificada nas imagens infravermelhas com base na diferença de temperatura entre a superfície da asa nas regiões de escoamento laminar e turbulento, as imagens devem ser pós-processadas para permitir a detecção da frente de transição com base no gradiente de temperatura. Espera-se que a frente de transição seja encontrada na maior queda de temperatura ao longo da direção da corda, resultando em um máximo de gradiente de temperatura.

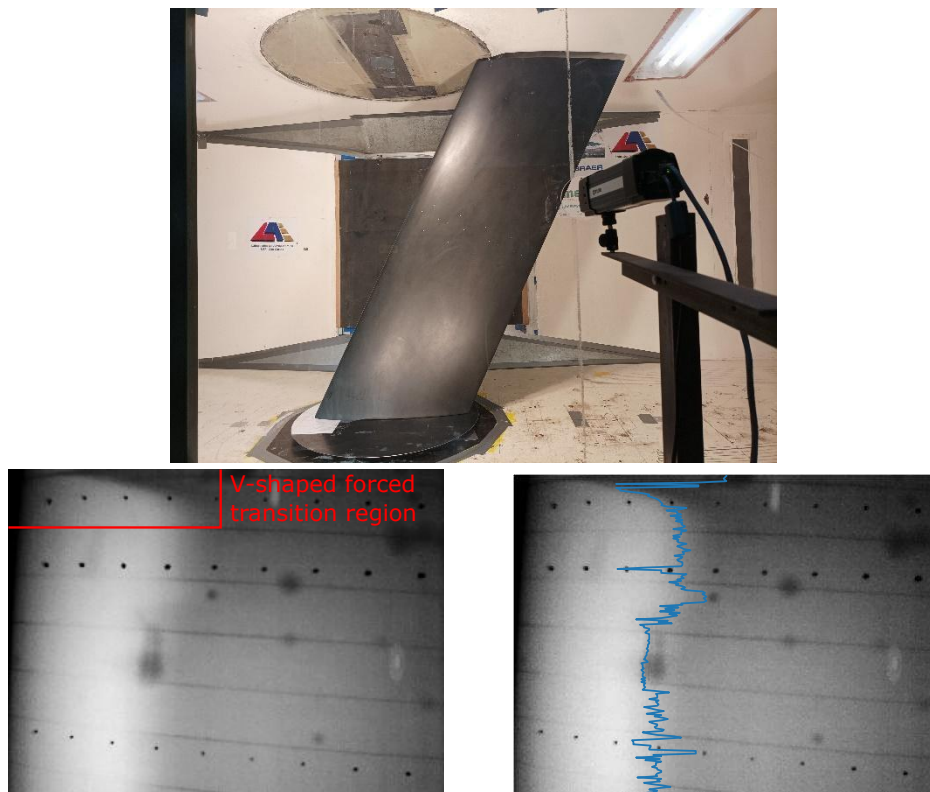
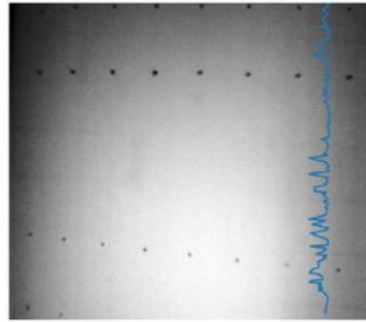


Figura 64. Técnica de Termografia e processamento da imagem para detecção da frente de transição da camada limite.

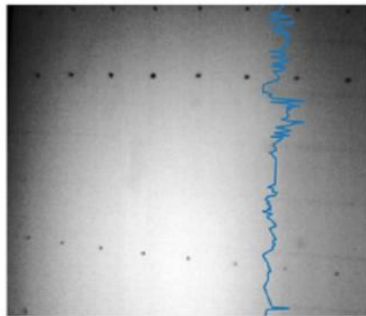
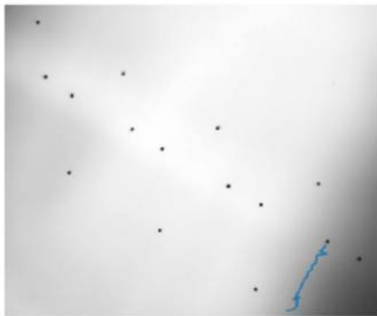
Nesta seção, é realizada uma análise comparativa de imagens de infravermelho entre as asas STR e SWE, com foco na posição da frente de transição da camada limite. Conseqüentemente, a comparação é feita alinhando o número de Reynolds mais próximo com o ângulo de ataque (AoA) correspondente. A diferença no número de Reynolds entre os modelos de asa não é significativa, permitindo a comparação entre os dados das asas STR e SWE. Posteriormente, o valor médio da frente de transição é plotado para facilitar a comparação.

Uma análise comparativa de asas retas e enflechadas destacou diferenças importantes nos mecanismos de transição. Em ângulos de ataque de até aproximadamente 2° , instabilidades de escoamento cruzado (CF) parecem promover o desenvolvimento precoce de ondas de Tollmien-Schlichting (T-S), potencialmente acelerando a transição.

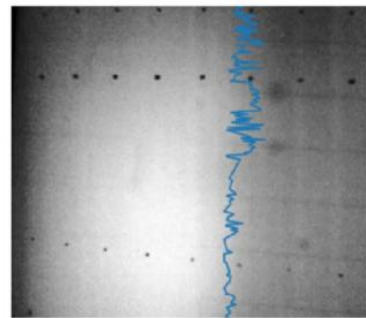
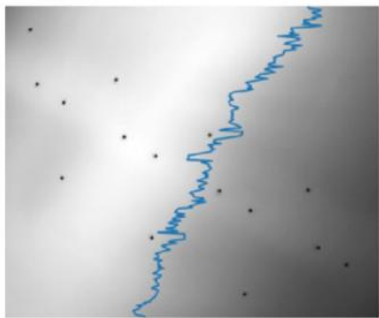
No entanto, em ângulos de ataque maiores, a presença de separação de escoamento e bolhas de recirculação provavelmente altera a dinâmica da transição. Corroborando essa hipótese, medições de pressão na superfície da asa reta indicaram o desprendimento da camada limite ou a presença de uma bolha de recirculação próxima ao local da transição. Uma validação mais aprofundada desse comportamento exigiria dados tridimensionais do campo de velocidade.



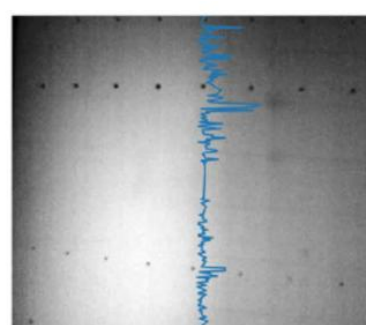
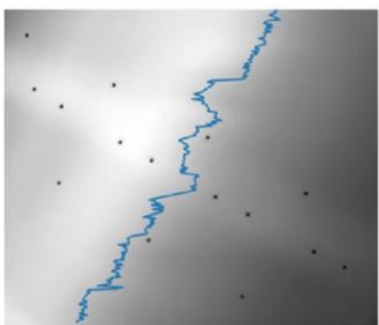
$Re \approx 450,000$



$Re \approx 650,000$



$Re \approx 765,000$



$\alpha = 2^\circ$

$Re \approx 915,000$

Figura 65. Comparação da transição entre asa enflechada e asa reta para diferentes Re e $\alpha = 2^\circ$.

Na Tabela 8, é possível quantificar a diferença percentual na localização de x_{tr}/c para ângulos variando de 3° a 5°. Enquanto para 3° e 5° a asa STR apresentou uma localização de transição mais precoce para 4°, os valores de x_{tr}/c diferem apenas em uma ordem de 0,3%. A transição para turbulência também pode ser desencadeada pela separação laminar. Isso é especialmente relevante para perfis aerodinâmicos laminares — que é o caso deste estudo — onde a transição para turbulência pode não ser induzida exclusivamente por ondas T-S em asas retas.

Tabela 8. Localização da frente de transição da camada limite ao longo da corda: $450.000 \leq Re \leq 655.000$.

Swept Straight			Swept Straight			
Reference Re [10 ³]	450		650			
α [°]	x_{tr}/c		$\Delta x_{tr}/c$ [%]	x_{tr}/c		$\Delta x_{tr}/c$ [%]
0	0.772	0.878	-10.6	-	-	-
1	0.747	0.820	-7.3	-	-	-
2	0.742	0.761	-1.9	0.680	0.661	1.9
3	0.741	0.627	11.4	-	-	-
4	0.456	0.459	-0.3	-	-	-
5	0.378	0.320	5.8	0.354	0.289	6.5
		/c	/c			/c

A metodologia empregada neste estudo forneceu informações valiosas sobre a transição da camada limite em ambas as configurações de asa. No entanto, investigações experimentais e computacionais adicionais são necessárias para refinar a compreensão dos mecanismos que regem a transição. Trabalhos futuros devem incorporar modelos baseados na teoria da estabilidade para analisar mais detalhadamente as contribuições relativas das instabilidades de T-S e CF em diferentes condições de número de Reynolds e ângulo de ataque. Além disso, as posições da frente de transição e os dados de pressão na superfície podem servir como parâmetros críticos para calibrar simulações de dinâmica dos fluidos computacional (CFD) e avaliar a precisão dos modelos de turbulência na previsão da transição da camada limite. Esta pesquisa contribui para o objetivo mais amplo de otimizar o desempenho aerodinâmico em aplicações de baixo número de Reynolds, como UAV's e pequenas aeronaves. Estratégias aprimoradas de previsão e controle da transição podem levar a uma redução significativa do arrasto, aumentando a eficiência energética e estendendo a autonomia de voo. Esses avanços se traduzem em menor consumo de combustível ou demanda de bateria, reduzindo emissões e custos operacionais. Além disso, o desempenho aprimorado de UAV's fomenta a inovação em áreas como agricultura de precisão, inspeção de infraestrutura e

monitoramento ambiental, promovendo tecnologias de aviação mais sustentáveis e econômicas.

SÍNTESE:

Parceria: UFU FAPEMIG

Financiamento: FAPEMIG (montante de aprox. R\$ 72.000,00)

1 bolsa de mestrado UFU, 1 bolsa de doutorado (EESC-USP)

Alunos envolvidos: 2

2021-22: Avaliação Espaço-temporal e Controle Baseado em Plasma de Instabilidades no escoamento Cruzado em Asas Enflechadas (ERC/CONFAP/CNPQ TEC-API-00027-21)

Como desdobramento do projeto anterior (FAPEMIG APQ-01589-21), foi submetida uma proposta para o ERC/CONFAP/CNPq, o qual refere-se a uma iniciativa de cooperação internacional que integra o **European Research Council (ERC)**, o **Conselho Nacional das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (CONFAP)** e o **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)**, com o objetivo de promover a colaboração científica entre pesquisadores brasileiros e europeus.

De forma simples, trata-se de um mecanismo que permite a participação de pesquisadores do Brasil em projetos financiados pelo ERC, com apoio complementar de agências brasileiras (CONFAP e/ou CNPq), fortalecendo a internacionalização da pesquisa, a mobilidade científica e a integração em redes de excelência científica global.

A proposta, então, buscou estabelecer uma colaboração de pesquisa entre o Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o Laboratório de Aerodinâmica (LAE) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) e o **Departamento de Aerodinâmica, Energia Eólica, Desempenho de Voo e Propulsão (AWEP)** da **Universidade de Tecnologia de Delft (TU Delft)**, na Holanda. O tema refere-se à transferência de conhecimento para o controle das instabilidades da camada limite e aos fenômenos de transição laminar-turbulenta presentes em asas enflechadas operando em regime subsônico. Tal pesquisa, se realizada em um produto, terá um grande impacto na indústria aeronáutica global, uma vez que lida diretamente com a redução do impacto ambiental (emissões) e do impacto socioeconômico (redução do consumo de combustível) para aeronaves de transporte civil.

A proposta APROVADA viabilizou o estabelecimento de uma colaboração internacional entre o CPAERO/UFU e o AWEP da Universidade de Tecnologia de Delft (TU Delft), na Holanda. A importância da cooperação internacional no desenvolvimento da proposta se deverá principalmente à troca de experiências em testes experimentais com modelos alados de fluxo pouco turbulento em altos números de Reynolds.

Uma agenda de colaboração foi definida e uma visita técnica à Universidade de Tecnologia de Delft (TU Delft) foi realizada durante o mês de julho de 2023, tendo uma agenda de recepção, visitas aos laboratórios, Discussão técnica sobre equipamentos e fornecedores Discussão técnica sobre atuadores de plasma, Visita ao Campus TU-DELFT, Reunião com o Prof. Lourenço Tércio Lima Ferreira para discussão de possibilidades de pesquisa na área de Aeroacústica Aplicada e reuniões específicas sobre o tema Avaliação Espaço-temporal e Controle Baseado em Plasma de Instabilidades no Escoamento Cruzado em Asas Enflechadas.

Resultados

A visita técnica bem como reuniões de trabalho entre os grupos de pesquisa transcorreu de maneira como programada previamente. Foi possível visitar as instalações de testes como laboratórios, túneis de vento, oficinas, salas de projeto, biblioteca entre outros. Do ponto de vista do tema do projeto “**Avaliação Espaço-temporal e Controle Baseado em Plasma de Instabilidades no Escoamento Cruzado em Asas Enflechadas**” foi possível colher muitas informações relevantes e alguns dados de ensaios relacionados ao processamento de informações aerodinâmicas sobre o processo natural de transição laminar-turbulenta em asas enflechadas. Também foi possível coletar diferentes informações a respeito do uso de equipamentos (especificações técnicas), bem como o uso e restrições e limitações de cada técnica empregada nas análises. Um dos resultados relevantes dessa colaboração foi a possibilidade de trocar ou intercambiar alunos de mestrado e doutorado entre as duas instituições. Outro relevante resultado está relacionado com o dimensionamento/orçamento de futuras pesquisas nessa área a serem realizadas aqui no Brasil. Verificou-se que será necessário investimento contínuo e com bom aporte de recursos para a compra de equipamentos e instrumentação necessária às análises, como por exemplo fontes de alta tensão estimadas em aproximadamente US\$ 15.000,00 a US\$ 25.000,00, bem como investimentos em infraestrutura para a acomodação de túneis de vento de maior porte e velocidade. Em suma, os objetivos originalmente contemplados nesse projeto foram atendidos de maneira bastante satisfatória e criou-se um link para possível parceira nessa área relevante da Aerodinâmica Experimental com foco em aplicações no ramo do setor aeronáutico brasileiro e mundial – Figuras 66 e 67.

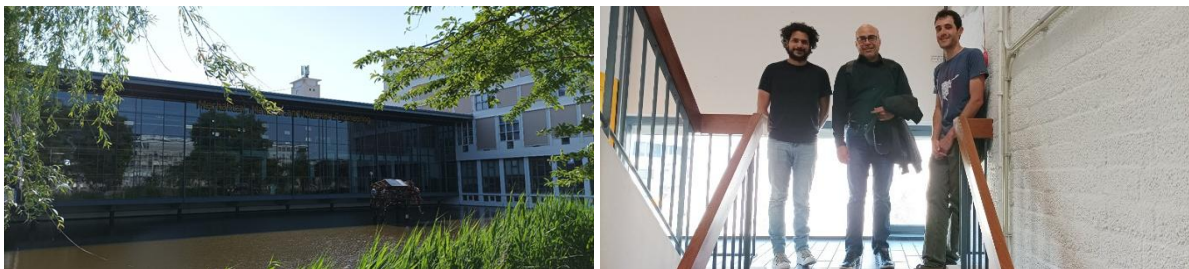


Figura 66. Departamento de Engenharia Mecânica TU-DELFT e recepção pelos professores Mario Kotsonis e Lourenço Tércio de Lima do AWEP (2023).

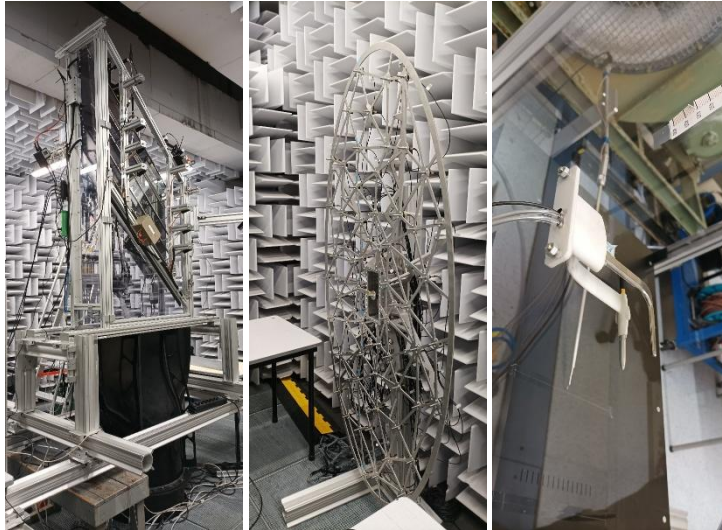


Figura 67. Infraestrutura e equipamentos dedicados à medição aeroacústica (cima) e túnel de vento (baixo).

SÍNTESE:

Parceria: UFU e Universidade TU DELFT

Financiamento: ERC/CONFAP/CNPq (montante de aprox. € 3.000,00)

1 bolsa de prof. visitante

Professor envolvido: 1

2.3.2 Projetos de Pesquisa em Andamento – Parceria com Iniciativa Privada

Ao longo da trajetória acadêmica – conforme visto - foram estabelecidas parcerias contínuas com a iniciativa privada, envolvendo projetos de pesquisa aplicada com aporte financeiro direto de empresas demandantes de soluções avançadas em aerodinâmica experimental e numérica. Desde as primeiras colaborações com a indústria aeronáutica até os projetos em desenvolvimento nos anos recentes, essas cooperações têm sido orientadas à resolução de problemas tecnológicos complexos, à validação de metodologias computacionais e experimentais em ambiente industrial e à transferência de conhecimento para o setor produtivo. Os projetos atualmente em andamento reforçam a consolidação do CPAERO/LAEX como plataforma de pesquisa aplicada e inovação, evidenciando a capacidade de captação de recursos extraorçamentários, formação de recursos humanos especializados e inserção da Universidade Federal de Uberlândia em ecossistemas nacionais e internacionais de inovação tecnológica.

Na sequência, serão apresentados os projetos em andamento no CPAERO/LAEX – UFU.

2025 – 2027: Desenvolvimento de Hélice de Alto Desempenho, Baixo Custo e Otimizada para Redução de Ruído (FINEP Edital Plataformas Demonstradoras de de Novas Tecnologias Aeronáuticas) – XMOBOTS Aeroespacial e Defesa LTDA

Este projeto visa desenvolver e caracterizar elementos propulsores de um veículo aéreo autônomo destinado ao transporte de carga e passageiros. O foco principal é a análise aerodinâmica e aeroacústica dos sistemas de propulsão, visando otimizar a eficiência e minimizar o ruído gerado durante o voo. Além disso, será realizada uma análise da integridade estrutural do veículo para garantir que ele atenda aos rigorosos requisitos de segurança e desempenho. Os objetivos específicos incluem o desenvolvimento e otimização do design dos propulsores, estudando o comportamento aerodinâmico e aeroacústico, utilizando modelos semi-empíricos, simulações computacionais e testes em bancadas e em túnel de vento. A avaliação do impacto acústico visa desenvolver soluções que reduzam o ruído durante a operação. A análise estrutural utilizará técnicas de simulação e testes físicos para assegurar que o veículo suporte as cargas e estresses operacionais. A metodologia envolve etapas como a revisão da literatura, levantamento das tecnologias atuais, e uso de ferramentas avançadas de simulação, como CFD (*Computational Fluid Dynamics*) para análises aerodinâmicas e FEA (*Finite Element Analysis*) para análises estruturais. Protótipos serão testados em condições controladas para validar os resultados teóricos. Os resultados esperados incluem o desenvolvimento de um sistema de propulsão eficiente e silencioso, integrado a um veículo aéreo seguro e confiável. O sucesso deste projeto contribuirá significativamente para a mobilidade aérea urbana e o transporte autônomo, oferecendo uma alternativa inovadora e sustentável para o transporte de carga e passageiros. Este projeto tem o potencial de

revolucionar o setor de transporte aéreo, proporcionando soluções viáveis para desafios de mobilidade urbana, reduzindo congestionamentos e emissões de poluentes, e promovendo avanços em tecnologias de aerodinâmica, aeroacústica e engenharia estrutural.

O seguinte fluxograma geral de desenvolvimento ao longo dos 36 meses é ilustrado na Figura 68. O presente projeto conta com financiamento da FINEP através do **Edital nº13 – Plataformas Demonstradoras de Novas Tecnologias Aeronáuticas via Empresa contratada XMOBOTS Aeroespacial e Defesa LTDA.**

Esse edital teve como objetivo fomentar o desenvolvimento, integração e demonstração de tecnologias críticas para a indústria aeronáutica nacional, por meio da implantação de plataformas demonstradoras em ambiente relevante. A iniciativa visou apoiar projetos cooperativos entre universidades, institutos de pesquisa e empresas, com foco na elevação do nível de maturidade tecnológica (TRL) de soluções inovadoras, incluindo aerodinâmica avançada, propulsão, estruturas, materiais, sistemas embarcados e integração de sistemas aeronáuticos. O edital buscou fortalecer a capacidade tecnológica da cadeia produtiva aeronáutica brasileira, promover a transferência de tecnologia e consolidar a infraestrutura científica e experimental necessária para a competitividade do setor aeroespacial.

Projeto FW1000 / Plataforma Demonstradora



Figura 68. Fluxograma geral para os 36 meses de desenvolvimento do projeto.

Atualmente o projeto, sob minha orientação, conta com o apoio de 2 professores colaboradores, 8 alunos sendo 4 de mestrados e 4 de iniciação científica, além do envolvimento de um técnico administrativo e tem um orçamento da ordem de 1 milhão de reais, sob gestão da Fundação de Apoio Universitário (FAU).

Após o 1º ano de execução de atividades os seguintes resultados foram contemplados com êxito:

- Modelo teórico de referência implementado em MATLAB (com correções para operações e-VTOL) **validado**.
- **Laboratório computacional montado:**
 - Modelagem de hélices com MRF e *Sliding Mesh* (ANSYS) – validado.
 - Modelagem aeroacústica de hélices – validado.
 - Otimização em andamento.
- **Processo de criação e impressão 3D operacional:**
 - Modelagem CAD automatizada de geometrias de hélices – validado.
 - Ciclo de impressão 3D (PLA + fibra de carbono) operacional.
- **Bancada experimental construída e operacional:**
 - Primeiro ciclo de testes realizado com sucesso.
 - Validação dos protocolos operacionais da bancada.

Além dos avanços, conforme previstos no cronograma original, houve profunda alteração do espaço físico do Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX^N) através de reforma estrutural para a montagem de um sub-laboratório de computação científica – conforme ilustram as seguintes imagens – Figura 69.

Uma das etapas fundamentais do projeto pelo lado do CPAERO/UFU é o desenvolvimento de simulações numéricas via Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) das diferentes hélices comerciais e/ou a serem projetadas ao longo dos 3 anos do projeto. Para tanto, foi planejado a montagem de um laboratório computacional com equipamentos e insumos para a realização de tal tarefa. Ao todo pretende-se adquirir 6 máquinas de alto desempenho computacional (*workstations*) para rodar softwares comerciais – ANSYS Workbench®, cujas licenças já foram adquiridas no contexto da pesquisa, que trazem as metodologias necessárias e adequadas aos tipos de estudos e resultados esperados no âmbito do projeto. A arquitetura dessas máquinas é sumarizada abaixo:

- Chipset: Intel® B760 (DDR5)
- Processador: Intel® Core™ i7-14700KF (20 Núcleos e 28 Threads, 3.40GHz Turbo até 5.60GHz, Cache de 28MB)
- Placa de vídeo: Nvidia® RTX 4000 SFF Ada Generation 20GB 6144 cuda cores
- Memória RAM: (DP) 128GB DDR5 5200MHz (2x32GB) duplicado para 128GB (4x32GB)
- Armazenamento: (DP) SSD M.2 PCIe 4.0 X4 NVMe 512GB Workstation Class (Até L: 7000MB/s e G: 3900MB/s) duplicado para 1TB
- Fonte de alimentação: 700W 80 Plus PFC Ativo Full Range (90 a 240V)
- Refrigeração: Refrigeração líquida tripla
- Monitor - 1: LG® 23,8" IPS 24BN650U (1920x1080) (D-Sub, HDMI, DP)
- Sistema operacional: Microsoft® Windows™ 11 Professional OEM
- Mouse e teclado: Mouse e teclado com fio Logitech® MK120
- Garantia: Pacote com 24+12 meses de suporte e garantia on site, mão de obra vitalícia (somente hardware).

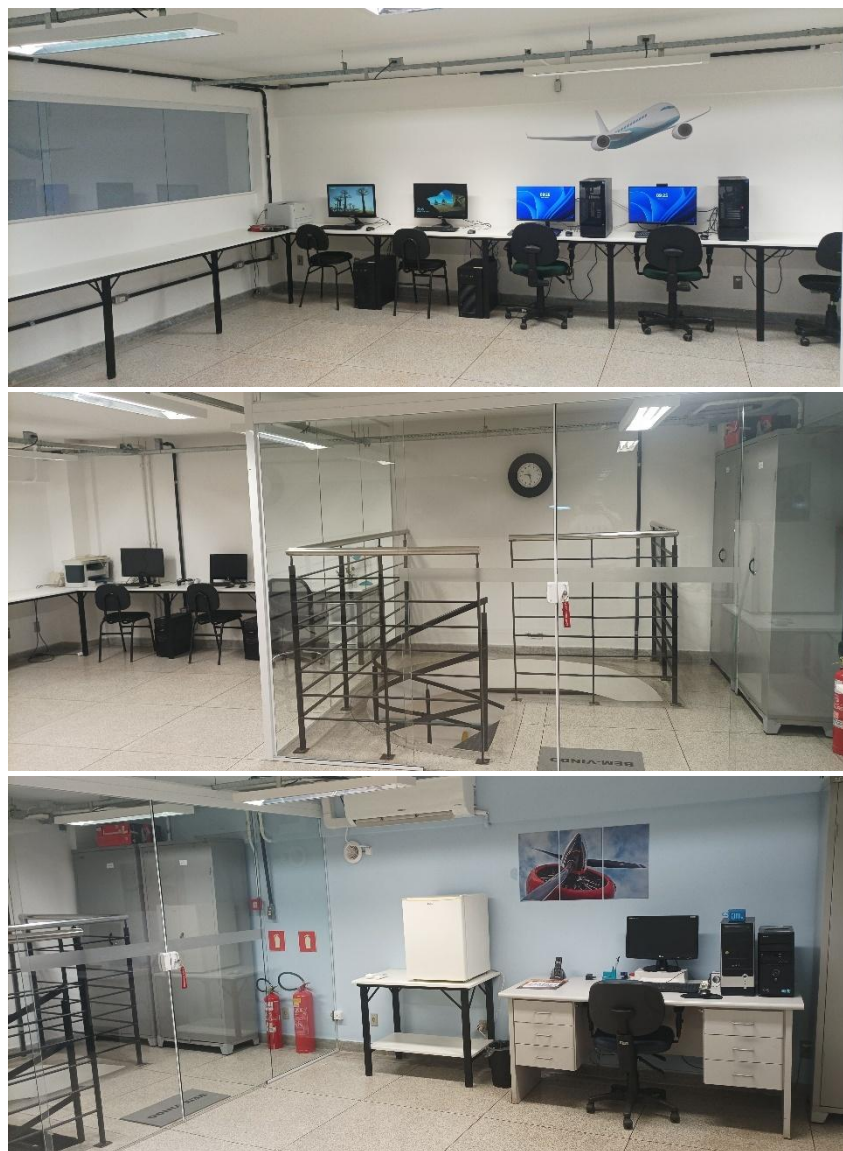


Figura 69. Reforma do mezanino do Laboratório de Aerodinâmica Experimental – LAEX.

Outra atividade com grande impacto no LAEX foi a construção de uma bancada para o ensaio de hélices em escala reduzida. Detalhes do projeto da bancada para ensaios de hélices em escala reduzida foram incorporados no 1º relatório entregue à XMOBOTS em 31/10/2024. Trata-se de uma estrutura metálica construída para ser acoplada ao túnel de vento ou utilizada de maneira separada que comporta o sistema de acoplamento do motor elétrico sem escovas e hélice de até 20” para a realização dos ensaios de medição de tração, torque, potência, corrente, voltagem, rotação e demais variáveis necessárias ao estudo proposto. A Figura 70 ilustra um desenho esquemático da bancada bem como a foto da bancada construída e disponível no LAEX. Outros detalhes são ilustrados pelas figuras seguintes, Fig. 71 e Fig. 72. A Figura 73 apresenta a bancada acoplada ao túnel de vento TV-60 Zephyr do Laboratório de Aerodinâmica Experimental – LAEX.

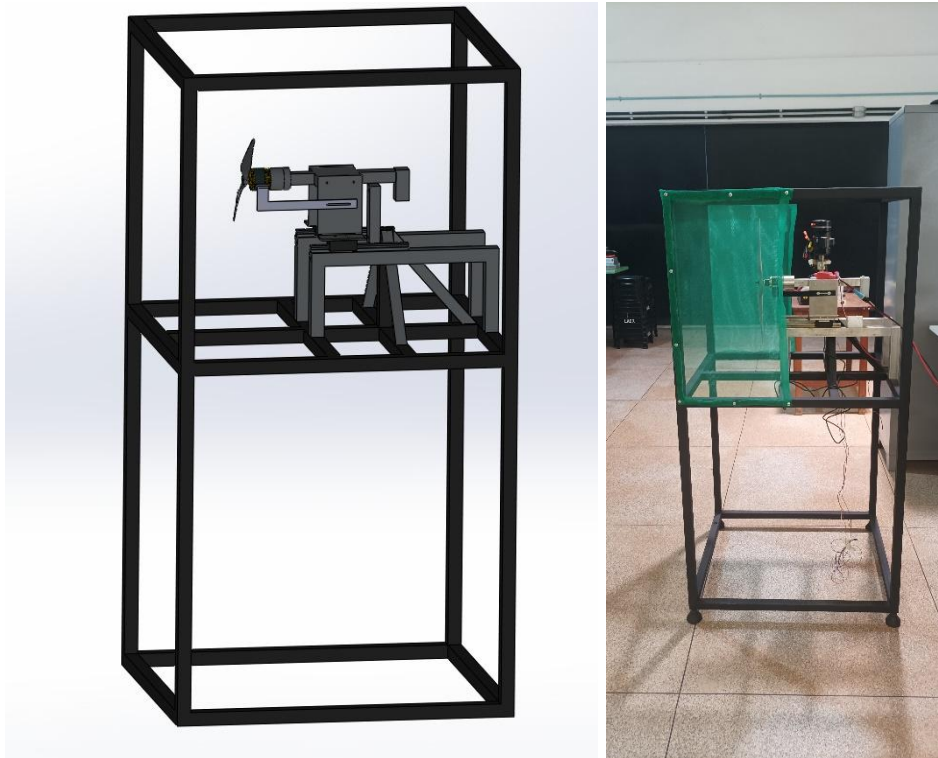


Figura 70. Bancada para ensaios de hélices em escala reduzida – Detalhe 1.

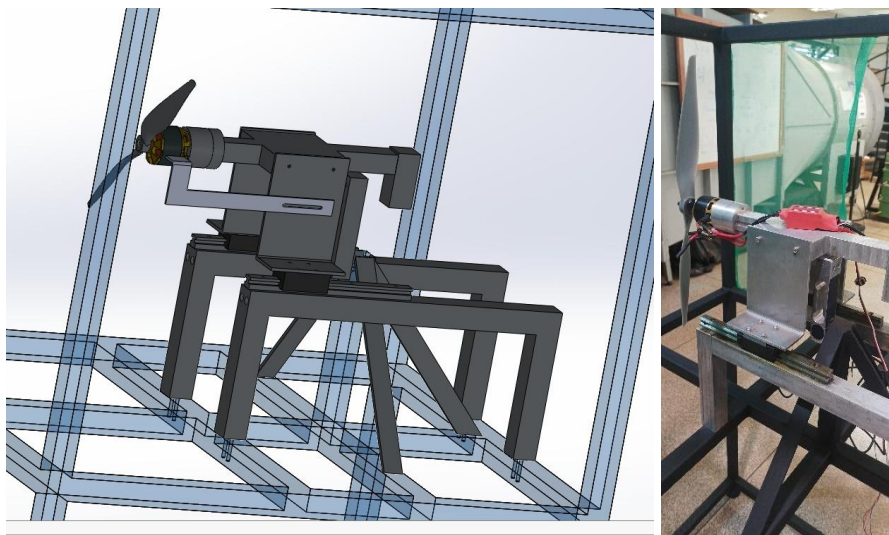


Figura 71. Bancada para ensaio de hélices em escala reduzida – Detalhe 2.

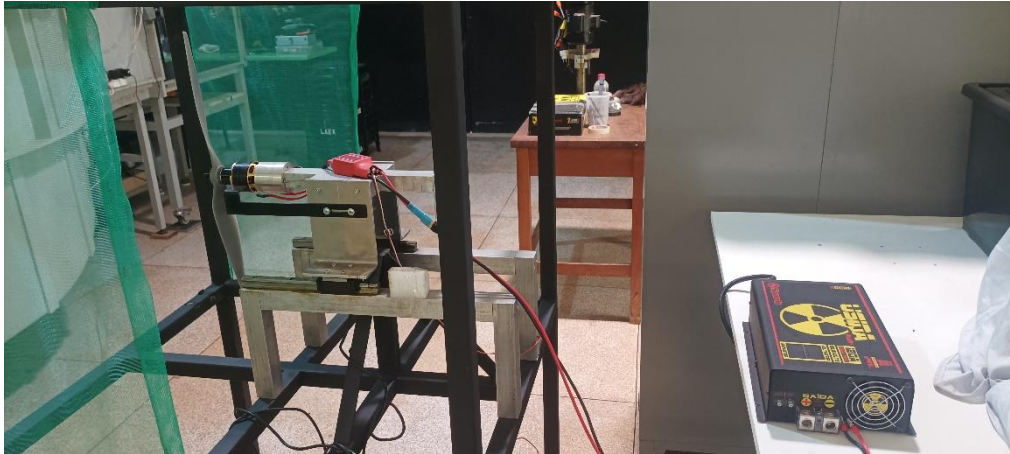


Figura 72. Bancada para ensaio de hélices em escala reduzida – Detalhe 3



Figura 73. Bancada para ensaios de hélices em escala reduzida acoplada ao túnel de vento TV-60 Zephyr – LAEX.

Observação: Conforme acompanhamento técnico, a bancada está em desenvolvimento com relação à inclusão de toda a instrumentação e controle automático/digital necessários ao funcionamento dela – conforme cronograma técnico de atividades.

Reportagem veiculada pela Diretoria de Comunicação da UFU (DIRCO) no Portal de Notícias da Universidade Federal de Uberlândia em 20/10/25:

<https://comunica.ufu.br/noticias/2025/10/inovacao-em-veiculos-de-decolagem-vertical>

2024 – 2026: Desenvolvimento de uma Metodologia de Avaliação da Aerodinâmica Externa utilizando Inteligência Artificial – Empresa Applus+ IDIADA

A otimização aerodinâmica para a nova geração de veículos híbridos e elétricos é necessária e essencial para maximizar a eficiência energética e o desempenho. Através de uma parceria firmada entre o Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental – CPAERO (Universidade Federal de Uberlândia) e a **Empresa Applus+ IDIADA**, em Minas Gerais, propõe-se a criação de uma metodologia baseada em **Inteligência Artificial (IA)** para prever e otimizar coeficientes aerodinâmicos, reduzindo arrasto (C_x) e melhorando a sustentação (C_z) de novos veículos. Para isso, será desenvolvido um banco de dados aerodinâmico contendo informações de diferentes veículos (geometrias) e seus respectivos desempenhos, obtidos por simulações computacionais (CFD) em regime permanente e transiente, bem como através de testes experimentais em túnel de vento. Modelos de aprendizado de máquina supervisionado (DRL), como redes neurais profundas (*Deep Learning*) e florestas aleatórias (*Random Forest*), serão empregados para prever coeficientes aerodinâmicos com alta precisão e relativo baixo custo e tempo de processamento. Em paralelo, algoritmos generativos, aprendizado por reforço e otimização evolutiva serão utilizados para explorar novas configurações geométricas eficientes, acelerando o processo de design aerodinâmico. A abordagem proposta permitirá a criação automatizada de conceitos inovadores para veículos de nova geração, reduzindo significativamente o tempo e os custos associados a métodos tradicionais. Como resultado, espera-se um sistema integrado programado (software) de IA capaz de auxiliar engenheiros e projetistas no desenvolvimento de veículos mais eficientes e sustentáveis.

Oficialmente, o projeto começou em abril de 2025 – com a participação de equipe de profissionais da empresa – em cerimônia realizada na Sala de Reuniões da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, com a participação de representantes da Reitoria-UFU – Figura 74.



Figura 74. Cerimônia de constituição da parceria e início das atividades de pesquisa – FEMEC (2025).

Atualmente o projeto, sob minha orientação, conta a participação de 8 alunos de iniciação científica, além do envolvimento de uma engenheira do lado da empresa e tem um orçamento da ordem de R\$ 250.000,00 já empregados, com um prazo de execução de 36 meses.

Após o 1º ano de execução de atividades os seguintes resultados foram contemplados com êxito:

- **Desenvolvimento e treinamentos de modelos de Inteligência Artificial**, utilizando redes neurais de grafos (GNN) para prever o desempenho aerodinâmico de novos designs com base nos dados coletados;
- **Comparação dos modelos preditivos com simulações CFD** e dados experimentais, avaliando sua precisão e aplicabilidade na substituição parcial ou total de simulações tradicionais na fase de concepção do design;
- **Desenvolvimento de uma metodologia computacional integrada**, que combine modelagem aerodinâmica e aprendizado de máquina, permitindo a otimização automatizada de projetos de veículos elétricos, híbridos e de nova geração.

Através da parceria com a Empresa Applus+ IDIADA, fui convidado a apresentar os resultados do 1º ano de pesquisa no **23º Simpósio SAE BRASIL de Testes e Simulações na Era Digital**, realizado em São Paulo no dia 02 de setembro de 2025, os quais são sumarizados na sequência – Figura 75, Figura 76 e Figura 77:

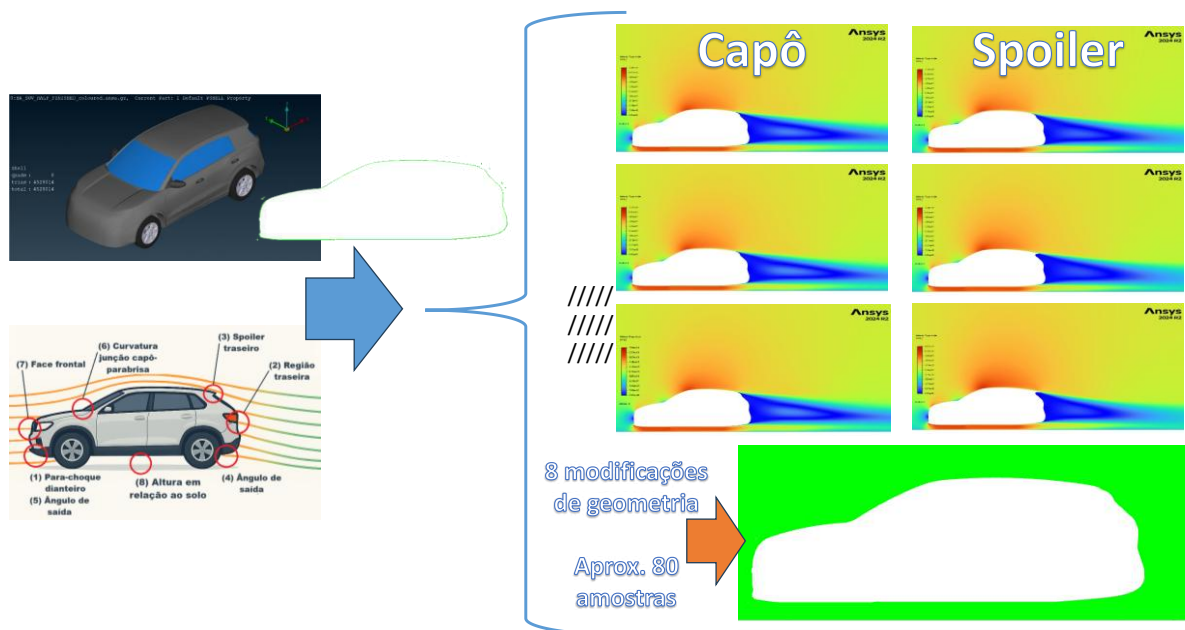


Figura 75. Abordagem computacional (CFD) para 80 modificações de carroceria de um SUV.

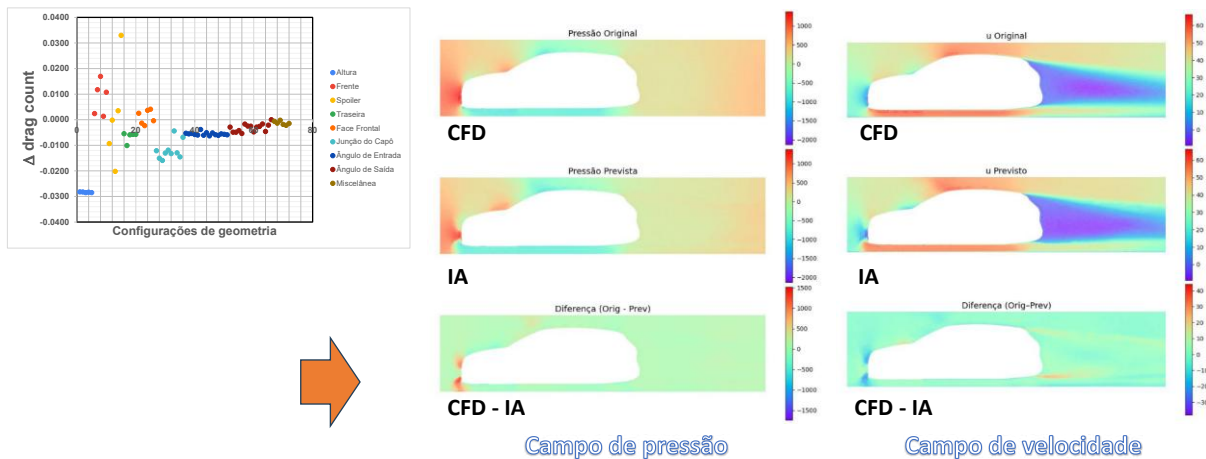


Figura 76. Comparação entre resultados da IA e CFD para campos de velocidade e pressão – evolução do arrasto.

□ Modelagem preditiva (IA-GNN)

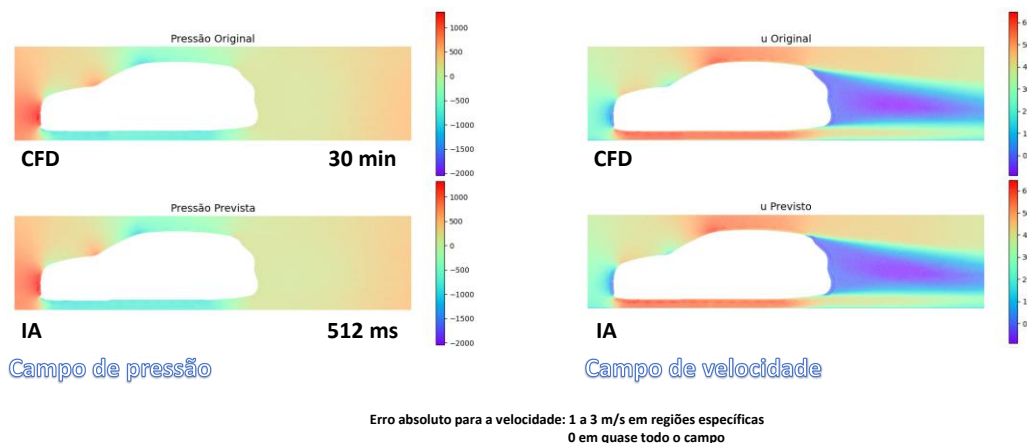


Figura 77. Quantificação do erro absoluto entre IA e CFD.

Além dos avanços, conforme previstos no cronograma original, houve continuidade de investimentos e alteração do espaço físico do Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX) através de reforma do sub-laboratório de computação científica e inclusão de mais 04 (quatro) estações de trabalho (*workstations* DELL) de alto desempenho – conforme ilustram as seguintes imagens – Figura 78.

As atividades planejadas para o ano de 2026 contemplam experimentos com modelos reduzidos no túnel de vento TV-60 Zephyr. A configuração dos ensaios incluirá:

- Seleção do Modelo: Desenvolvimento de modelos em escala reduzida, construídos com base nas geometrias de referência fornecidos pela Empresa

Applus+ IDIADA, a partir prototipagem 3D e adequados para medição precisa de forças aerodinâmicas.

- Instrumentação: Utilização de balanças aerodinâmicas para medição de coeficientes de arrasto e sustentação, sensores de pressão distribuídos na superfície do modelo e anemômetros de fio-quente para caracterização do escoamento.
- Técnicas de Visualização de Escoamento: Uso de métodos como *tufts* e fumaça, para análise qualitativa e quantitativa do comportamento do escoamento ao redor do modelo.



Figura 78. Readequação do mezanino do LAEX para computação científica com suporte da Applus+ IDIADA.

Este projeto consolida uma linha de pesquisa estratégica na interface entre aerodinâmica computacional, experimentação em túnel de vento e inteligência artificial, fortalecendo a interação universidade-indústria e posicionando o CPAERO/UFU na fronteira do desenvolvimento de metodologias avançadas para o projeto aerodinâmico de veículos. A parceria com a **Applus+ IDIADA** reforça a transferência de conhecimento para o setor produtivo, ao mesmo tempo em que amplia a formação de recursos

humanos altamente qualificados em engenharia e ciência de dados aplicadas à mobilidade sustentável. No contexto do memorial, esta iniciativa evidencia a maturidade da trajetória científica do proponente e sua capacidade de liderar projetos de alta complexidade tecnológica, com impacto direto na inovação industrial e na agenda de descarbonização do transporte.

Observação: Dentro do contexto dessa pesquisa, foram aprovados dois projetos juntos a chamadas da FAPEMIG durante o ano de 2025 para suporte às atividades de implementação das rotinas de inteligência artificial e estruturação do laboratório de computação científica, sendo elas:

APQ-02825-25 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À AERODINÂMICA externa: MODELAGEM E OTIMIZAÇÃO PARA A NOVA GERAÇÃO DE VEÍCULOS

Chamada: A01/2025 - DEMANDA UNIVERSAL - Categoria A Projetos Individuais

BIS-00284-25 DESENVOLVIMENTO DE UMA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA PROJETO AERODINÂMICO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Chamada: 009/2025 - BOLSAS ESPECIAIS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA NAS ÁREAS DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA, ENGENHARIA

Reportagem veiculada pela Diretoria de Comunicação da UFU (DIRCO) no Portal de Notícias da Universidade Federal de Uberlândia em 13/05/25:

<https://comunica.ufu.br/noticias/2025/05/ufu-firma-parceria-com-multinacional-espanhola>

<https://comunica.ufu.br/ufu-em-imagens/2025/05/parceria-cpaeroufu-e-applus-idiada>



O **ANEXO A** contempla as publicações (1ª página) em **Revistas Indexadas** no período de 2020 a 2026, relacionadas aos projetos de pesquisa aqui apresentados.

O **ANEXO B** contempla as publicações (1ª página) em **Congressos** no período de 2023 a 2026, relacionadas aos projetos de pesquisa aqui apresentados.

2.3.3 Parcerias e Convênios com Universidades no Brasil e Exterior

Ao longo de sua trajetória acadêmica, o docente consolidou uma rede de colaborações científicas estratégicas com instituições de excelência no Brasil e no exterior, fortalecendo a internacionalização da pesquisa, a formação de recursos humanos altamente qualificados e o desenvolvimento de infraestrutura experimental e computacional em aerodinâmica e aeroacústica. No âmbito nacional, destacam-se as interações com a **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP)**, em atividades conjuntas de pesquisa, intercâmbio técnico-científico e discussão metodológica em aerodinâmica experimental e numérica. No cenário internacional, foram estabelecidas colaborações com a **University of Twente** e a **Delft University of Technology (TU Delft)**, na Holanda, com foco em aeroacústica experimental, escoamentos turbulentos e túnel de vento; com o **Institute of Sound and Vibration Research (ISVR)**, da University of Southampton, no Reino Unido, em aeroacústica computacional e experimental; com a **Cranfield University**, no Reino Unido, em temas de engenharia aeronáutica aplicada e ensaios aerodinâmicos; e com a **Universitat Politècnica de València (UPV)**, na Espanha, em cooperação acadêmica e mobilidade docente para acompanhamento de ensaios de hélices para propulsão aeronáutica (eVTOL's). Essas parcerias têm viabilizado projetos conjuntos, estágios e missões científicas, coorientações, publicações internacionais e transferência de conhecimento, contribuindo de forma decisiva para o posicionamento do CPAERO/UFU como referência emergente em aerodinâmica e aeroacústica no Brasil.



De forma integrada, os projetos de pesquisa conduzidos ao longo da carreira demonstram uma trajetória consistente de atuação em **aerodinâmica experimental e numérica, aeroacústica, inteligência artificial** aplicada à engenharia e desenvolvimento de infraestrutura científica de ponta. As iniciativas envolveram financiamento público competitivo, parcerias estratégicas com a indústria e cooperações internacionais, resultando em avanços metodológicos, formação de recursos humanos qualificados, produção científica de impacto e consolidação de linhas de pesquisa emergentes no contexto nacional. Esse conjunto de projetos evidencia não apenas a capacidade de captação de recursos e liderança científica, mas também o compromisso com a inovação tecnológica e a transferência de conhecimento para o setor produtivo, reforçando o papel da Universidade Federal de Uberlândia como polo de excelência em engenharia aeronáutica com ênfase em aerodinâmica e aeroacústica.

2.4 Atividades Administrativas

Ao longo de 16 anos de atuação na Universidade Federal de Uberlândia, exerci de forma contínua e estratégica diversas funções administrativas e de gestão acadêmica, contribuindo para a consolidação institucional do curso de Engenharia Aeronáutica, da Faculdade de Engenharia Mecânica e das estruturas de ensino, pesquisa e extensão associadas. Na sequência, listo as principais atividades administrativas já realizadas e aquelas que ainda exerço atualmente:

2.4.1 Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica

Ainda durante o meu **Estágio Probatório** (2010 – 20211), passei a atuar como vice coordenador (**coordenador substituto**) do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica no 2º semestre de 2011. Porém, bem antes disso, conforme mencionado anteriormente, também assumi outras atividades administrativas relacionadas à implantação do curso via Projeto REUNI no âmbito da Universidade Federal de Uberlândia, sendo elas descritas abaixo:

Membro da Comissão de Acompanhamento do Plano Diretor do Campus Glória – Portaria R. UFU Nº 623

A Portaria R. UFU nº 623 – Membro da Comissão de Acompanhamento do Plano Diretor do Campus Glória teve, em termos institucionais, o objetivo de designar formalmente um docente, técnico ou **gestor** para integrar a comissão responsável por acompanhar, avaliar e orientar a implementação do Plano Diretor do Campus Glória.

Essa comissão teve a função de monitorar o planejamento físico, urbanístico, ambiental e de infraestrutura do campus, assegurando que as decisões de expansão, ocupação do solo, edificações, mobilidade, sustentabilidade e uso dos espaços estejam alinhadas ao Plano Diretor aprovado, às normas institucionais e à legislação vigente. A portaria, portanto, confere atribuição administrativa e responsabilidade institucional ao membro designado, garantindo participação técnica no processo estratégico de desenvolvimento do campus.

Membro e Presidente da Comissão de Programação de Aplicação dos Recursos de Custeio e de Capital disponibilizados pela UFU para implantação dos laboratórios de ensino do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica – Portaria CGAER nº 001/2010 de 27 de abril de 2010.

A Portaria CGAER nº 001/2010, de 27 de abril de 2010, designou-me como Membro e Presidente da Comissão de Programação de Aplicação dos Recursos de Custeio e de

Capital destinados à implantação dos **laboratórios de ensino** do Curso de Engenharia Aeronáutica. Nessa função, fui responsável pela coordenação técnica e administrativa do planejamento, priorização e alocação dos investimentos em infraestrutura experimental, incluindo equipamentos, instrumentação e adequações físicas, assegurando o alinhamento com o Projeto Pedagógico do Curso e as diretrizes institucionais da UFU. A atuação da comissão contribuiu diretamente para a consolidação da estrutura laboratorial do curso, fortalecendo a formação prática dos estudantes e a capacidade institucional de ensino e pesquisa na área de Engenharia Aeronáutica.

No contexto da coordenação das atividades relacionadas ao Curso de Engenharia Aeronáutica, assumi oficialmente a coordenação em dois mandatos consecutivos (2013–2014 e 2015–2016), período no qual participei ativamente da estruturação curricular e preparação para a Avaliação pelo Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (SINAES), da consolidação do corpo docente e da implantação de políticas acadêmicas e administrativas. É importante contextualizar que desde 2011/2º, como coordenador substituto, eu já participava do **Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica**, cuja função está descrita na sequência:

O Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica é o órgão acadêmico responsável pela gestão didático-pedagógica do curso, deliberando sobre questões acadêmicas, curriculares e administrativas que impactam a formação dos estudantes. Suas atribuições incluem a elaboração, revisão e atualização do Projeto Pedagógico do Curso (PPC), a definição e acompanhamento da matriz curricular, a análise de planos de ensino, equivalências e aproveitamento de estudos, bem como decisões sobre normas acadêmicas, estágios, atividades complementares e TCC. O colegiado também atua na avaliação contínua da qualidade do curso, propondo melhorias, articulando-se com a coordenação e instâncias superiores da universidade, e garantindo a conformidade com as diretrizes curriculares nacionais e com os processos de avaliação do MEC/INEP.

(Portaria R Nº 684, de 09 de abril de 2013).

Em 2013 também assumi a atividade de participação em uma Comissão para realizar o planejamento de ocupação do Bloco 1DCG no Campus Glória – **Portaria FEMEC Nº 031/2013.**

Em 2015, também assumi a **presidência do NDE (Núcleo Docente Estruturante) do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica, de acordo com a Portaria FEMEC nº 024/15 de 20 de julho de 2015.**

O **Núcleo Docente Estruturante (NDE)** é o órgão acadêmico-consultivo responsável por **conceber, acompanhar, consolidar e atualizar o Projeto Pedagógico do Curso (PPC)**, garantindo sua coerência acadêmica, científica e pedagógica ao longo do tempo. Composto por docentes com forte vínculo com o curso, o NDE atua na **definição das diretrizes curriculares, perfil do egresso, competências e habilidades**, bem como na proposição de inovações pedagógicas, metodologias de ensino e estratégias de avaliação. Também acompanha indicadores de qualidade (ENADE, CPC, reconhecimento/renovação de reconhecimento), assegurando alinhamento às **Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs)** e às políticas institucionais, funcionando como instância estratégica para a **sustentabilidade e excelência acadêmica** do curso.

Entre 2010 e 2016, desempenhei um conjunto amplo e estratégico de atividades administrativas e de gestão acadêmica que foram fundamentais para a consolidação do Curso de Engenharia Aeronáutica e para o fortalecimento institucional da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFU. A atuação como Coordenador de Curso e membro de instâncias colegiadas demandou elevada dedicação de tempo, capacidade de articulação institucional e liderança acadêmica, resultando na implantação de infraestrutura laboratorial, na qualificação do projeto pedagógico, na formação de recursos humanos e na estruturação de uma cultura organizacional voltada à excelência acadêmica. Esse período constituiu uma fase crítica de construção institucional, cujos resultados impactam diretamente, até o presente, a qualidade do ensino, da pesquisa e da extensão no âmbito da Engenharia Aeronáutica e áreas correlatas.

2.4.2 Coordenador e Tutor do Programa de Educação Tutorial (PET)

Ao chegar na Faculdade de Engenharia Mecânica em 2010, encontrei-me novamente com o Programa PET da CAPES, que na época já tinha sido renomeado para **Programa de Educação Tutorial (PET)**. Já no primeiro semestre de 2010, estava aberto processo seletivo para a escolha de um novo tutor para o programa e vi aquele momento como uma oportunidade para me aproximar mais da comunidade acadêmica, dos próprios professores, alunos e estrutura administrativa.

Assim, fui Coordenador e Tutor do Programa de Educação Tutorial (PET) entre 2010 e 2019, liderando projetos de formação acadêmica, inovação e interação com a sociedade.

(Portaria nº 003/2010/PROGRAD/PET de 01 de junho de 2010).

(Portaria nº 001/2014/PROGRAD/PET de 25 de fevereiro de 2014).

A tutoria no âmbito do Programa de Educação Tutorial (PET) tem como objetivo promover a formação acadêmica ampla, crítica e integrada dos estudantes de graduação, articulando de forma indissociável ensino, pesquisa e extensão. Cabe ao tutor orientar o planejamento e a execução de atividades acadêmicas, científicas e extensionistas, estimular a iniciação científica, o desenvolvimento de competências técnicas e transversais, a liderança estudantil e a responsabilidade social, além de fomentar a integração entre estudantes, docentes e a comunidade externa. O tutor atua, portanto, como articulador pedagógico e científico, garantindo a qualidade, a continuidade e o impacto institucional das ações do grupo PET na formação dos discentes e no fortalecimento do curso de graduação.

Nestes anos de tutoria do PET, também participei como Membro do Comitê Local de Acompanhamento dos Grupos PETs/UFU.

(Portaria R Nº 1550).

(Portaria PROGRAD nº 001 de 25/02/2014).



“Minha atuação como tutor do Programa de Educação Tutorial (PET) representou uma das experiências mais marcantes da minha trajetória acadêmica. Ao longo desse período, pude acompanhar de perto o crescimento intelectual, profissional e humano dos estudantes, atuando não apenas como orientador técnico, mas também como mentor acadêmico. O envolvimento intenso nas atividades do PET exigiu dedicação contínua, planejamento e sensibilidade para lidar com diferentes perfis e desafios, mas também proporcionou a oportunidade de contribuir de forma concreta para a formação de engenheiros mais críticos, criativos e socialmente engajados. Essa vivência reforçou minha convicção sobre o papel transformador da universidade pública e consolidou minha identidade como docente comprometido com a integração entre ensino, pesquisa e extensão”.

2.4.3 Coordenador dos Laboratórios de Ensino de Engenharia Aeronáutica - LEEAR

Conforme mencionado, a criação do curso de engenharia aeronáutica no âmbito da Faculdade de Engenharia Mecânica – FEMEC, exigiu muito esforço administrativo, tarefas exaustivas para seleção e compra de equipamentos, inúmeras reuniões com a alta administração da UFU para que os projetos saíssem do papel. Com o avançar dos 04 (quatro) primeiros anos, tinha-se pronta a estrutura de laboratórios.

Assim, exerci a coordenação dos Laboratórios de Ensino de Engenharia Aeronáutica - LEEAR (2015–2019), contribuindo para a implantação, modernização e gestão de infraestrutura experimental.

(Portaria FEMEC nº 022/2015 de 01 de maio de 2015).

Nesse período, atuei no planejamento técnico-pedagógico dos laboratórios, definição de especificações de equipamentos, acompanhamento de processos de aquisição, instalação e comissionamento, além da organização de rotinas operacionais, normas de segurança e estratégias de uso didático. Essa atuação contribuiu diretamente para a modernização do ensino experimental, ampliando a capacidade de formação prática dos estudantes e assegurando a integração entre teoria, experimentação e atividades de projeto.

Observação: Em 2019, com a mudança do Curso de Engenharia Aeronáutica para o Bloco 1DCG – Campus Glória – Figura 79, essa estrutura do LEEAR deixa de existir oficialmente e são criados os laboratórios em formato segregado de acordo com sua especificidade.



Figura 79. Bloco 1DCG – Campus Glória.

2.4.4 Coordenador do Programa CAPES-BRAFITEC UFU

De 2012 a 2015 participei – ainda como Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica, do Programa CAPES-BRAFITEC UFU como **Coordenador-Adjunto** pela UFU.

Título de do Projeto: Estudo de Transportes, Estruturas Mecânicas e Materiais

Nome e Sigla das Instituições Participantes:

Brasil: Universidade Federal de Uberlândia (UFU) / Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP)

Exterior: ENSI Bourges / ENSIAME Valenciennes / ENSMM Besançon / SUPMECA Paris / ENSMA Poitiers / ENSTA Bregtane

A participação no Programa CAPES-BRAFITEC UFU entre 2012 e 2015 permitiu um contato direto e próximo com as universidades francesas correlacionadas com o curso de engenharia aeronáutica, como o caso da SUPMECA Paris e ENSMA Poitiers. Nesse período, tive a oportunidade de viajar à França nos anos subsequentes, 2013, 2014 e 2015 para missões de visitas técnicas e acompanhamento dos alunos em mobilidade pelo programa.

O envolvimento com o programa ampliou minha compreensão sobre internacionalização na educação superior e reforçou minha convicção quanto à importância de formar engenheiros com visão global, competência técnica sólida e sensibilidade intercultural, valores que passei a incorporar de maneira sistemática em minhas práticas de ensino e gestão acadêmica.

2.4.5 Coordenador do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO)

A coordenação das atividades do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental pode ser separada em duas etapas principais: A primeira, está relacionada à coordenação enquanto gerência junto ao Edital MCT/FINEP/CT-INFRA-PROINFRA-02-2010, Convênio 0378/11, cujo período compreende entre 2014 e 2017, e a segunda etapa, de 2017 aos dias atuais.

A atuação como Coordenador do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) representou uma das atividades administrativas e científicas mais estratégicas da minha trajetória institucional, combinando gestão de infraestrutura complexa, liderança acadêmica e articulação institucional. Na fase inicial (2014–2017), estive diretamente envolvido na concepção, especificação técnica, aquisição de equipamentos de grande porte (recursos financeiros da ordem de R\$ 600.000,00), interlocução com instâncias administrativas da UFU e acompanhamento do projeto executivo do túnel de vento (recursos financeiros da ordem de R\$ 1.000.000,00), assegurando a implantação física e operacional de uma infraestrutura inédita e de alta relevância para a pesquisa experimental no país. Na fase subsequente (2017–presente), concentrei esforços na consolidação científica do centro, na estruturação de linhas de pesquisa, na formação de recursos humanos qualificados, na prospecção de projetos com a iniciativa privada e na formalização de colaborações nacionais e internacionais,

além da interlocução permanente com a Reitoria para viabilizar a construção do edifício definitivo do túnel de vento. Essa trajetória evidencia um compromisso continuado com a construção de capacidade institucional de longo prazo, posicionando o CPAERO como um polo estratégico de pesquisa, inovação e formação avançada em aerodinâmica experimental no contexto nacional – Figura 80.



Figura 80. Marca institucional – CPAERO (versão português).

2.4.6 Coordenador do Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX^N)

Em 2019, com a mudança do Curso de Engenharia Aeronáutica para o Campus Glória no Bloco 1DCG, a estrutura dos laboratórios de ensino (LEEAR) deixou de existir na prática, sendo os laboratórios separados de acordo com a sua especificidade. Essa mudança física constituiu na criação do **Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX^N)**, o qual foi montado na Sala 08 do Bloco 1DCG com espaço físico da ordem de 250 m², contemplando um piso inferior (~ 200 m²) para a montagem da infraestrutura experimental (túneis de vento e equipamentos de maior porte) e um mezanino (~ 50 m²) para a montagem da parte administrativa e/ou laboratório computacional.

Assim, assumi a coordenação do Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX) tendo vinculado o mesmo ao CPAERO, devido às atividades correlatadas e contínuas de atuação, desempenhando papel central na consolidação de uma infraestrutura de pesquisa na área de Aerodinâmica Experimental e Numérica.

(Portaria DIRFEMEC N°38, de 09 de maio de 2019).

2.4.6 Atividades de Avaliação Acadêmica e Serviço à Comunidade Científica

Ao longo da minha trajetória acadêmica, participei de forma contínua e sistemática em atividades de avaliação acadêmica e de serviço à comunidade científica, contribuindo para a qualificação do sistema de ensino superior e para o fortalecimento da pesquisa

nacional. Atuei em **bancas de concursos públicos para docentes**, em **bancas de doutorado e mestrado**, bem como em **comissões e comitês de avaliação institucional e progressão funcional**, colaborando diretamente para a seleção, promoção e consolidação de quadros acadêmicos em instituições federais e estaduais. Também exerci e exerço atividades como **parecerista ad hoc de periódicos científicos e de projetos de pesquisa**, incluindo avaliações para programas e instituições vinculadas à EMBRAPA, além de atuar como **avaliador para agências de fomento e órgãos de avaliação, como CAPES, CNPq e Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs)**. Essas atividades evidenciam o reconhecimento institucional da minha competência técnica e científica, bem como a confiança depositada em minha atuação como avaliador independente, configurando um serviço qualificado e contínuo à comunidade acadêmica e científica, com impacto direto na governança universitária, na formação de recursos humanos e na orientação estratégica da pesquisa em Engenharia Aeronáutica e Mecânica.

3. Métricas Gerais

A presente seção sintetiza, por meio de métricas quantitativas e qualitativas, os principais indicadores da minha trajetória acadêmica, científica, institucional e de extensão ao longo dos anos de atuação na Universidade Federal de Uberlândia. Esses indicadores visam oferecer uma visão objetiva do impacto das atividades desenvolvidas nas dimensões de ensino, pesquisa, inovação, gestão universitária e internacionalização, bem como da formação de recursos humanos e da contribuição para a consolidação de infraestrutura científica e de parcerias com a indústria e instituições nacionais e internacionais. A apresentação dessas métricas permite contextualizar, de forma integrada, a relevância e a abrangência da contribuição acadêmica construída ao longo da carreira.

3.1 Ensino

Atualmente tenho uma carga horária semanal de 12 horas atribuídas ao ensino de 03 (três) disciplinas obrigatórias da Grade Curricular do Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica, sendo elas:

FEMEC31204 – Fundamentos de Aeronáutica

Período: 2º

Carga horária: 45 horas

Turma: Teórica

FEMEC43071 – Aerodinâmica Aplicada

Período: 7º

Carga horária: 75 horas

Turma: Teórica (60H) + Prática (15H)

FEMEC43092 – Aeroacústica

Período: 9º

Carga horária: 60 horas

Turma: Teórica (45H) + Prática (15H)

Alternando semestres, a carga horária pode atingir 16 horas/aula, devido ao acréscimo das disciplinas optativas, sendo elas:

FEMEC43907 - Aerodinâmica de Veículos Automotivos

FEMEC43913 – Fundamentos de Energia Eólica

FEMEC43916 – Projeto de Hélices para Propulsão Aeronáutica

De 2020 até o presente momento os seguintes **Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC)** foram por mim orientados:

- 1) EFEITOS DA AERODINÂMICA NO DESEMPENHO E EFICIÊNCIA DE VEÍCULOS SEDANS ELÉTRICOS
- 2) NUMERICAL AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE FLOW OVER AN eVTOL CONCEPT
- 3) EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF A WING MODEL WITH DISTRIBUTED PROPULSION IN PUSHER CONFIGURATION
- 4) EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE FLOW AROUND AN AIRFOIL UNDER GROUND AND DOWNFORCE EFFECTS
- 5) EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A 1997 HONDA CIVIC VTi REAR AIR DIFFUSER
- 6) ESTUDO EXPERIMENTAL DO ESCOAMENTO AO REDOR DE CILINDROS DE BASE QUADRADA COM DIFERENTES RAZÕES DE ASPECTO MONTADOS SOBRE UMA SUPERFÍCIE
- 7) AEROACOUSTIC EFFECT GENERATED BY THE INTERACTION ROTOR/AIRFRAME IN AN UNMANNED AERIAL VEHICLE'S STRUCTURE
- 8) ANÁLISE EXPERIMENTAL DO ESCOAMENTO AO REDOR DE UM AEROFÓLIO CONVENCIONAL COM O BORDO DE FUGA SERRILHADO A BAIXO REYNOLDS
- 9) NUMERICAL SIMULATIONS OF HIGH-LIFT CONFIGURATIONS ON A NACA4412 AIRFOIL
- 10) CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DA EMISSÃO SONORA DE UMA HÉLICE DUTADA DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO
- 11) UMA ANÁLISE A RESPEITO DA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS E SUAS EXPECTATIVAS NO CENÁRIO NACIONAL
- 12) PROJETO SIMPLIFICADO DE UMA AERONAVE ASA-VOADORA EVTOL PARA APLICAÇÕES AGRÍCOLAS
- 13) A EVOLUÇÃO DA ENGENHARIA AERONÁUTICA NO BRASIL E SEU REFLEXO NO MERCADO MUNDIAL
- 14) MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS DA ESTEIRA DE HÉLICES DE UAVS
- 15) DESIGN OF A CONTROL LAW FOR A DISTRIBUTED ELECTRIC PROPULSION AIRCRAFT

- 16) ESTUDO NUMÉRICO DA AEROACÚSTICA DE HÉLICES DE VANTS: METODOLOGIA E APLICAÇÃO PRÁTICA COM O MÉTODO FLOWCS WILLIAMS-HAWKINGS
- 17) ANÁLISE DO ESCOAMENTO SOBRE UM AEROFÓLIO ALTAMENTE CAMBRADO EM BAIXO REYNOLDS
- 18) SEMIEMPIRICAL METHODS FOR PROPELLER NOISE PREDICTION
- 19) ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR CRITICAL FLUTTER SPEED PREDICTION IN SEMI-SPAN FLAT-PLATE WINGS WITH GEOMETRIC VARIATIONS
- 20) DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL STATIC AND DYNAMIC PROPELLER TEST BENCH FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS)

Observação: Todos os trabalhos (TCC) foram defendidos e as versões digitais encontram-se disponíveis no Repositório da Biblioteca da Universidade Federal de Uberlândia.

3.2 Extensão

As atividades de extensão estiveram agrupadas principalmente no contexto do Programa de Educação Tutorial (PET) entre os anos de 2010 e 2019. A partir de 2019, temos registrado duas ações extensionistas no Sistema de Informação de Extensão (SIEX) da UFU.

Dentro do contexto de ação do CPAERO está a abertura para projetos juntos à comunidade, outras universidades bem como junto à iniciativa privada. Esses projetos são captados de acordo com demanda externa.

3.3 Pesquisa

Para fins de quantificação da pesquisa, nesta seção, serão consideradas somente as publicações realizadas em revistas indexadas e congressos nacionais e internacionais. Para a contabilização de citações e índices acadêmicos, foi considerada a ferramenta da plataforma **Google Acadêmico** (<https://scholar.google.com.br>), os resultados são visualizados na Figura 81.



Figura 81. Citações, em artigos científicos de autoria do Prof. Odenir de Almeida, nos últimos 16 anos.

É importante observar o crescimento das publicações e citações a partir de 2019, momento de abertura dos laboratórios de pesquisa (CPAERO e LAEX) em um contexto mais institucional e de reforço nas parcerias acadêmicas e com empresas do setor privado, principalmente do setor aeronáutico brasileiro.

De 2020 até 2026 os seguintes artigos foram publicados em revistas indexadas (CAPES/QUALIS) e congressos nacionais e internacionais – Vide detalhe nos **ANEXOS A e B** deste documento.

Revistas Indexadas (apenas título do artigo):

- 1) A Numerical Approach for Implementing Air Intakes in a Canard Type Aircraft for Engine Cooling Purposes
- 2) Aeroacoustics Analysis of a Dual-Stream Subsonic Jet
- 3) Feasibility of measuring noise sources on a detailed nose landing gear at low cost development
- 4) Improvements of a Hard-Wall Closed Test-Section of a Subsonic Wind Tunnel for Aeroacoustic Testing
- 5) The development of an experimental aerodynamics research center in Brazil
- 6) Review on Small Horizontal-Axis Wind Turbines
- 7) Experimental Analysis of the Flow over a Wing under Ground and Down Force Effects
- 8) Aeroacoustics Effects Generated by the Interaction Rotor-Airframe in a sUAS
- 9) An Overview of Aeronautical Occurrences Related to Safety in Brazil and the United States
- 10) Enhancing indoor airflow: insights on cross ventilation through CFD simulations

- 11) Experimental Aerodynamics of a NACA 4424 Airfoil at Low Reynolds Number Flow
- 12) Wind Turbines for Decarbonization and Energy Transition of Buildings and Urban Areas: A Review
- 13) Additive manufacturing in the wind power industry
- 14) Experimental and Numerical Investigation of Scale Effects on the Flow Over a Sedan Vehicle
- 15) Experimental investigation of natural laminar-to-turbulent transition in straight and swept wings at low Reynolds numbers
- 16) Flight mechanics characteristics of wind-dispersed seeds from Brazilian savana
- 17) Numerical Simulations of High-lift Configurations on a NACA4412 Airfoil
- 18) Unravelling the drivers of seed dispersal distance in Brazilian savanna anemochoric species: The role of abiotic and biotic factors

(para detalhes de cada publicação - vide **ANEXO A**)

Congressos Nacionais e internacionais (apenas título do artigo):

- 1) VALIDATION AND VERIFICATION OF AN OPEN-SOURCE CFD CODE FOR THE AERODYNAMICS SOLUTION OF AIR AND GROUND VEHICLES
- 2) ESTUDO DE CASO - CÁLCULO DA INCERTEZA ASSOCIADA À MEDIÇÃO DE TORQUE
- 3) NUMERICAL ANALYSIS OF THE FLOW OVER AN E-VTOL CONCEPT VEHICLE
- 4) THE DEVELOPMENT OF A DIDACTIC PLATFORM FOR WIND TUNNEL EXPERIMENTS IN APPLIED AERODYNAMICS
- 5) REVIEW OF THE TRANSITION PHENOMENA OVER SWEEPED WINGS
- 6) INFERÊNCIAS PARA A VENTILAÇÃO CRUZADA EM AMBIENTES INTERNOS A PARTIR DA SIMULAÇÃO AERODINÂMICA
- 7) AEROACOUSTIC MEASUREMENTS OF UNCONVENTIONAL UAV'S PROPELLERS
- 8) CHARACTERIZATION OF SPRAY PATTERNS IN RPAS SPRAYING SYSTEMS
- 9) BIOINSPIRED AERODYNAMICS APPLIED IN ELECTRICAL MOTORCYCLE RACING COMPETITION
- 10) DESIGN, MANUFACTURE, AND TESTING OF A STATIC AND DYNAMIC BENCH FOR THRUST DETERMINATION OF UAV'S BRUSHLESS ENGINES
- 11) EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF A UAV PROPELLER WAKE
- 12) FLOW ANALYSIS OVER A HIGHLY CAMBERED AIRFOIL AT LOW REYNOLDS
- 13) OPTIMIZING WIND TURBINE EFFICIENCY: INSIGHTS FROM COMPUTATIONAL AERODYNAMICS
- 14) UAV PROPELLER PERFORMANCE PREDICTION THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS
- 15) WIND INFLUENCE ON SPRAY PATTERNS FROM RPA'S SPRAYING IN AGRICULTURAL SETTINGS

16) COMPUTATIONAL MODELING AND ADDITIVE MANUFACTURING OF UAV PROPELLERS: DESIGN, VALIDATION, AND EXPERIMENTAL ANALYSIS

17) NUMERICAL INVESTIGATION OF NATURAL LAMINAR-TO-TURBULENT TRANSITION ON A STRAIGHT WING AT LOW REYNOLDS NUMBERS

(para detalhes de cada publicação - vide **ANEXO B**)

3.4 Gestão

As atividades de gestão ora em prática são as seguintes:

- 1) Coordenação do Laboratório de Aerodinâmica Experimental (LAEX)
- 2) Coordenação do Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO)
- 3) Membro do Conselho da Faculdade de Engenharia Mecânica – CONFEMEC
- 4) Coordenação de 3 projetos de pesquisa em andamento.

3.5 Resumo

Em janeiro de 2026 contabilizou 16 anos de **dedicação exclusiva (DE)** trabalhando na Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Nos últimos anos (a partir de 2019), as atividades acadêmico científicas passaram a ser a grande prioridade. É possível, portanto, resumir essa trajetória profissional por meio do gráfico da Figura 82.

Percentual de Dedicção das Atividades no âmbito da UFU

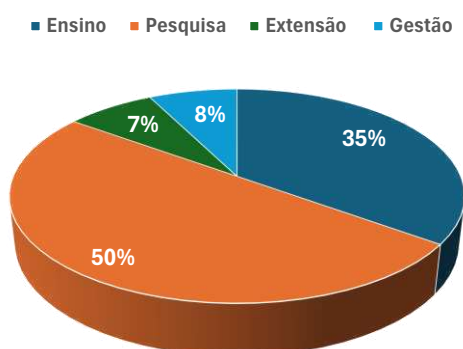


Figura 82. Percentual de dedicação atual no âmbito de atividades da UFU.

4. Síntese da Trajetória

Ao longo de mais de uma década e meia de atuação na Universidade Federal de Uberlândia, construí uma trajetória acadêmica pautada pela integração entre ensino, pesquisa, extensão e gestão universitária, contribuindo de forma estruturante para a consolidação do Curso de Engenharia Aeronáutica, para a implantação e fortalecimento de infraestrutura experimental de grande porte e para a formação de recursos humanos qualificados em aerodinâmica experimental, aeroacústica e mecânica dos fluidos. A coordenação de cursos, programas e centros de pesquisa, bem como a articulação com a indústria e com universidades nacionais e internacionais, permitiu a construção de uma base institucional sustentável e reconhecida, com impacto direto na produção científica, na inovação tecnológica e na formação de engenheiros e pesquisadores.

Essa trajetória foi marcada por desafios significativos, especialmente nos anos iniciais de implantação do curso e de estruturação laboratorial, demandando dedicação intensa à gestão acadêmica e administrativa, sem prejuízo do compromisso com a docência e a pesquisa. O amadurecimento institucional do CPAERO e do LAEX, a consolidação das linhas de pesquisa e o aumento recente da produção científica refletem o esforço contínuo de transformar projetos estruturantes em resultados acadêmicos duradouros.

A promoção à Classe de Professor Titular representa, para mim, não um ponto de chegada, mas uma ampliação das responsabilidades acadêmicas e institucionais. Pretendo seguir contribuindo para a consolidação da pesquisa experimental no Brasil, para o fortalecimento das parcerias universidade-indústria, para a internacionalização da UFU e para a formação de novas gerações de engenheiros e pesquisadores, mantendo o compromisso com a excelência acadêmica, a ética científica e o serviço público universitário.



“Ao olhar retrospectivamente, também reconheço que essa trajetória foi construída coletivamente com estudantes, técnicos, colegas docentes e gestores. Nem tudo foi fácil e gratificante, pois tive momentos muito difíceis em que a sobrecarga de trabalho transpassou os limites da vida profissional. Todavia, nesses momentos difíceis, fui abraçado por muitas pessoas! Tenho gratidão profunda, sem citar nomes, por aqueles que me ajudaram no passado e àqueles que caminham comigo em direção ao futuro”.

“Gratidão é a única palavra”

Odenir de Almeida

4. Planejamento Futuro

No horizonte dos próximos anos, pretendo consolidar e expandir as atividades de pesquisa, ensino e extensão na área de aerodinâmica experimental, aeroacústica e inteligência artificial aplicada à engenharia, fortalecendo o papel da Universidade Federal de Uberlândia como referência nacional e internacional nessas áreas estratégicas. Em pesquisa, o planejamento inclui a ampliação das linhas consolidadas no CPAERO e no LAEX, com ênfase em projetos de grande porte com a indústria aeronáutica, automotiva e de energia eólica, bem como a intensificação de colaborações internacionais com universidades parceiras na Europa, América do Norte e vizinhos sul-americanos, visando à captação de recursos em editais competitivos e à produção científica de alto impacto. Em novembro/2025 solicitei o meu credenciamento junto ao **Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica (PPGEM)**, o qual espero receber, após o crivo técnico, o reconhecimento pelo trabalho e esforço realizado nos últimos anos de consolidação do CPAERO/LAEX UFU.

No âmbito da formação de recursos humanos, pretendo intensificar a orientação de estudantes de graduação e pós-graduação, contribuindo para a formação de pesquisadores com sólida base experimental e computacional, além de fomentar programas de mobilidade acadêmica internacional e a inserção dos egressos em centros de excelência e no setor produtivo. Em ensino, planejo a atualização contínua das disciplinas de aerodinâmica, aeroacústica e propulsão, incorporando metodologias ativas, recursos digitais e integração com atividades laboratoriais avançadas.

No campo da extensão e inovação, busco ampliar a transferência de conhecimento e tecnologia para a sociedade e para a indústria, por meio de projetos de consultoria técnica, parcerias com empresas e desenvolvimento de soluções baseadas em inteligência artificial e experimentação em túnel de vento. Adicionalmente, pretendo contribuir com a gestão universitária de maneira mais consultiva em níveis estratégico e institucional, apoiando políticas de infraestrutura científica, internacionalização e inovação, bem como a consolidação de centros multiusuários de pesquisa experimental.

A promoção à Classe de Professor Titular reforça o compromisso com a liderança acadêmica, a formação de novas gerações de engenheiros e cientistas e a construção de uma universidade pública de excelência, com impacto científico, tecnológico e social duradouro.

5. Referências

- Almeida, O. D., Miranda, F. C. D., Ferreira Neto, O., & Saad, F. G. (2018). Low subsonic wind tunnel-Design and construction. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 10, e1018.
- Almeida, O. D., Souza, P. C., & Cunha, E. (2021). A numerical approach for implementing air intakes in a canard type aircraft for engine cooling purposes. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 13, e0221.
- Bittar, M., Araujo, A. L. D., Almeida, O. D., Martins, T., & Sousa, M. (2025). Enhancing indoor airflow: insights on cross ventilation through CFD simulations. *Ambiente Construído*, 25, e137844.
- Botter, C. R., de Almeida, O., Eguea, J. P., & Catalano, F. M. (2025). Experimental investigation of natural laminar-to-turbulent transition in straight and swept wings at low Reynolds numbers. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 47(6), 293.
- Catalano, F. (2004, September). The new closed circuit wind tunnel of the aircraft laboratory of university of sao paulo, brazil. In *24TH International Congress of the Aeronautical Sciences ICAS*.
- da Silva, G. E., Dias, R. R., de Almeida, O., & Proença, A. R. (2025). Experimental and Numerical Investigation of Scale Effects on the Flow Over a Sedan Vehicle. *Flow, Turbulence and Combustion*, 114(4), 1149-1177.
- de Almeida, O. (2021). The development of an experimental aerodynamics research center in Brazil. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 8, 3.
- de Almeida, O., & de Castro, T. R. (2025). Numerical Simulations of High-lift Configurations on a NACA4412 Airfoil. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 46, e53227-e53227.
- de Almeida, O., & de Rezende Dias, R. (2024). Experimental Aerodynamics of a NACA 4424 Airfoil at Low Reynolds Number Flow. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, 45, e51520-e51520.
- de Almeida, O., Catalano, F. M., & Pereira, L. T. (2021). Improvements of a Hard-Wall Closed Test-Section of a Subsonic Wind Tunnel for Aeroacoustic Testing. *Int. J. Acoust. Vib*, 26(3), 248-258.
- Ferreira Paiva, L., de Almeida, O., Silingardi, H. M. T., & Novaes, L. R. (2025). Flight mechanics characteristics of wind-dispersed seeds from Brazilian savanna. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 47(12), 623.

Ferreira, F.G.T., & Almeida, O. D. (2020). Aeroacoustics Analysis of a Dual-Stream Subsonic Jet. *Journal of Aerospace Engineering and Mechanics*, 4, issue 2. DOI: 10.36959/422/447

Franzini, P. H. B., & de Almeida, O. Experimental Analysis of the Flow over a Wing under Ground and Down Force Effects. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology* Volume 10, Issue 3, 2023, PP 01-10. DOI: <https://doi.org/10.22259/2349-476X.1003001>

Ismail, K. A., Lino, F. A., Baracat, P. A., de Almeida, O., Tegggar, M., & Laouer, A. (2025). Wind Turbines for Decarbonization and Energy Transition of Buildings and Urban Areas: A Review. *Advances in Environmental and Engineering Research*, 6(1), 1-59.

Ismail, K. A., Lino, F. A., de Almeida, O., Tegggar, M., Scalon, V. L., & Okita, W. M. (2024). Review on small horizontal-axis wind turbines. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 49(2), 1367-1391.

Novaes, L. R., Calixto, E. S., de Almeida, O., & Torezan-Silingardi, H. M. (2025). Unravelling the drivers of seed dispersal distance in Brazilian savanna anemochoric species: The role of abiotic and biotic factors. *Plant Biology*, 27(7), 1450-1457.

Paiva, L. F., Fiocchi, A. A., Guarato, A. Z., & De Almeida, O. (2025). Additive manufacturing in the wind power industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-34.

Pereira, L. T. L., Catalano, F. M., de Almeida, O., & Bent, P. (2021). Feasibility of measuring noise sources on a detailed nose landing gear at low cost development. *Applied Acoustics*, 182, 108263.

Rodrigues, D. C., Venson, G. G., & Almeida, O. D. (2025). An Overview of Aeronautical Occurrences Related to Safety in Brazil and the United States. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 14(1), 2.

Sanchez, G. R. L., Almeida, O. D., & Catalano, F. M. (2024). Aeroacoustics Effects Generated by the Interaction Rotor-Airframe in a sUAS. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 16, e0824.

Santana, L. D., Carmo, M., Catalano, F. M., & Medeiros, M. A. (2014). The update of an aerodynamic wind-tunnel for aeroacoustics testing. *Journal of Aerospace Technology and Management*, 6, 111-118.

Paiva, L. F., & de Almeida, O. (2023). ESTUDO DE CASO-CÁLCULO DA INCERTEZA ASSOCIADA À MEDIÇÃO DE TORQUE. Proceedings of the COBEF 2023, 12th Brazilian Congress on Manufacturing Engineering.

Espindola, G., & de Almeida, O. (2023). VALIDATION AND VERIFICATION OF AN OPEN-SOURCE CFD CODE FOR THE AERODYNAMICS SOLUTION OF AIR AND GROUND

VEHICLES. Proceedings of the COBEM 2023, 27th International Congress of Mechanical Engineering.

Cicelini, G., & de Almeida, O. (2023). NUMERICAL ANALYSIS OF THE FLOW OVER AN E-VTOL CONCEPT VEHICLE. Proceedings of the COBEM 2023, 27th International Congress of Mechanical Engineering.

Botter, C. R., & de Almeida, O. (2023). REVIEW OF THE TRANSITION PHENOMENA OVER SWEEPED WINGS. Proceedings of the COBEM 2023, 27th International Congress of Mechanical Engineering.

Dias, R. R., & de Almeida, O. (2023). THE DEVELOPMENT OF A DIDACTIC PLATFORM FOR WIND TUNNEL EXPERIMENTS IN APPLIED AERODYNAMICS. Proceedings of the COBEM 2023, 27th International Congress of Mechanical Engineering.

Bittar, M., Araujo, A., Almeida, O., Martins, T., & Sousa, M. (2023). Inferências para a ventilação cruzada em ambientes internos a partir da simulação aerodinâmica. *ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 17, 1-10.

Almeida, E. N. A., de Almeida, O., Catalano, F. M., (2024). Aeroacoustic measurements of unconventional UAV's propellers. Proceedings of the CONEM 2024, XII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica.

Madureira, P. A., Eguea, J. P., de Almeida, (2024). CHARACTERIZATION OF SPRAY PATTERN IN RPAS SPRAYING SYSTEMS. Proceedings of the CONEM 2024, XII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica.

Martins, P. C. S., de Almeida, (2024). EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF AN UAV PROPELLER WAKE. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Madureira, P. A., Eguea, J. P., Cunha, J. P. A. R., de Almeida, (2024). WIND INFLUENCE ON DROPLETS DISTRIBUTION FROM RPA'S SPRAYING IN AGRICULTURAL SETTINGS. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Rizzi, F. A. F., Silva, Y. M., Souza, V. F., Neto, R. M. F., de Almeida, (2024). DESIGN, MANUFACTURE AND TEST OF A STATIC AND DYNAMIC BENCH FOR THRUST DETERMINATION OF UAV'S BRUSHLESS ENGINES. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Ferreira, T. F., de Almeida, (2024). FLOW ANALYSIS OVER A HIGHLY CAMBERED AIRFOIL AT LOW REYNOLDS. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Vieira, J. M., de Almeida, (2024). UAV PROPELLER PERFORMANCE PREDICTION THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Paiva, L., de Almeida, (2024). BIOINSPIRED AERODYNAMICS APPLIED IN ELECTRICAL MOTORCYCLE RACING COMPETITION. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Paiva, J. M., de Almeida, (2024). OPTIMIZING WIND TURBINE EFFICIENCY: INSIGHTS FROM COMPUTATIONAL AERODYNAMICS. Proceedings of the ENCIT 2024, 20th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering.

Rizzi, F. A. F., de Almeida, (2025). Computational Modeling and Additive Manufacturing of UAV Propellers: Design, Validation, and Experimental Analysis. Proceedings of the COBEM 2025, 28th International Congress of Mechanical Engineering.

Vasconcellos, L. S., de Almeida, (2025). NUMERICAL INVESTIGATION OF NATURAL LAMINAR-TO-TURBULENT TRANSITION ON A STRAIGHT WING AT LOW REYNOLDS NUMBERS. Proceedings of the COBEM 2025, 28th International Congress of Mechanical Engineering.

ANEXO A

Publicações em Revistas Indexadas

(2020 – 2026)

1ª Página do Artigo



A Numerical Approach for Implementing Air Intakes in a Canard Type Aircraft for Engine Cooling Purposes

Odenir de Almeida^{1,*} , Pedro Correa Souza¹ , Erick Cunha²

1. Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental – Uberlândia/MG – Brazil. **2.** Fábrica Brasileira de Aeronaves – Uberlândia/MG – Brazil

*Corresponding author: odenir.almeida@ufu.br

ABSTRACT

This work presents selected results of an unconventional aircraft development campaign. Engine installation at the rear part of the fuselage imposed design constraints for air intakes that should be used for cooling purposes. Trial and error flight tests increased the development cost and time which required a more sophisticated analysis through computational fluid dynamics (CFD) techniques and robust semiempirical approach. The carried-out investigation of the air intakes started with an empirical approach from guidelines for designing NACA and scoops. Numerical studies via computational fluid dynamics were performed with the air intakes installed in the aircraft fuselage. An analysis based on the air intake efficiency, drag and the effect of angle of attack are detailed in this work. Different air intakes designs, such as scoops of different shapes, were evaluated seeking for improved air intake efficiency and low drag while providing enough air for cooling the engine compartment. The results showed that the numerical approach used herein decreased the development cost and time of the aircraft, providing a reasonable low-cost approach and leading to a design selection more easily. Based on the current approach the canard airplane geometry was changed to account for the new selected air intake for engine cooling purposes.

Keywords: NACA; Scoop; Aerodynamic drag; Canard; CFD.

INTRODUCTION

Air intakes of different shapes and sizes are commonly used for several systems of an airplane, especially to provide fresh air for any air-breathing device or even for cooling down components. Examples of its applications are air conditioning system and ventilation of hydraulic and fuel lines as well as engine cooling inside its compartment. According to literature, Laruelle (2002), El-Sayed and Emeara (2016), among others, at least two types of air intakes are commonly seen: NACA air-intakes and scoop intakes. Often, these air intakes are also called auxiliary air intakes and can be applied to either receiving ram air for engine breathing or cooling it down, depending on the aircraft design. One very interesting view of the application of such air intakes is seen on canard-type aircrafts, which have in general the engine mounted in the rear part of the fuselage – pusher configuration – as seen on Fig. 1. Usually, canard aircrafts are motorized with jet engines for

Received: Mar. 25, 2020 | Accepted: Oct. 4, 2020

Peer Review History: Double Blind Peer Review

Section Editor: T. John Tharakan



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons license.



Research Article

DOI: 10.36959/422/447

Aeroacoustics Analysis of a Dual-Stream Subsonic Jet

Ferreira FGT and Almeida O*

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Federal University of Uberlândia, Brazil



Abstract

This work was part of a major investigation for coaxial jet noise prediction and refers to a study of geometrical and velocity parameters and their influence on the noise generated by coaxial nozzles. The Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) approach coupled with a fluctuation synthetization model and the integral formulation of Curle's Acoustic Analogy were employed to calculate the noise spectrum and compare it to experimental data from JEAN EU project. A sensitivity analysis was carried out by making variations of the secondary to primary stream velocity ratio and the secondary to primary exhaust area ratio. Also, the influence of these parameters in the flow turbulence and noise field were investigated. Encouraging agreement of the predicted far field sound directivity and spectra with measurements was obtained. The noise spectrum was well computed into the range of 100 up to 10000 Hz corroborating the experimental data by pointing that the lower the secondary to primary velocity ratio and higher the area ratio, the lower the related noise field shall be.

Keywords

RANS, Dual-stream, Jet noise, Acoustic analogy, Velocity ratio, Area ratio

Introduction

Flow from dual-stream (coaxial) nozzles is a field of interest in several engineering applications, such as combustion chambers, cooling systems and pre-mixers among others. However, one the most well-known application is the propulsion system of modern aircrafts by medium and high-bypass turbofan engines. For application of the jet as a way of obtaining thrust for an aircraft, the presence of a secondary stream has prerogatives such as increased thrust (due to the increase in mass flow), more efficient mixing and especially low noise emission [1].

From the physical point of view, the secondary stream (cold-jet) imposed upon a primary flow (hot-jet) brings additional complexity to this turbulent flow as two potential cores must coexist, one central and conical core (primary) and a secondary annular flow. Thus, two shear-layers are also identified: one between the primary and the secondary flow and other between the secondary and the surrounding ambient-flow. Figure 1, as presented by [2] shows this highly-turbulent, three-dimensional and complex flow.

These flow structures are naturally linked to the noise production in a subsonic dual-stream jet, therefore requiring knowledge to describe such turbulent interactions and its correlation with frequency and magnitude. Additionally, the problem with dual-stream jets also presents regions of laminar, transitional and fully turbulent flows. To better know the physics of such problems, several works tried to decompose the flow in distinct regions and associate them with the acoustic signature [2-4] among others.

The problem itself is also governed by external variables which alters the whole flow pattern. The velocity ratio (VR) is one important variable and defines the ratio between the secondary to the primary flow speeds (V_s/V_p). Following the same path, the density ratio (ρ_s/ρ_p) expresses the compressibility effects, and the area ratio (AR) that describes the geometric parameter for the nozzle configuration (A_s/A_p). The AR is an important parameter to indicate the flow pattern [1], mainly the length of the potential core and the spreading rate of the coaxial jet. It is also possible to identify other mixing mechanisms related to the absolute value of flow speeds [5]. Bringing more complexity, there are other variables that influences in a minor or major proportion the fluid dynamics of dual-stream jets and consequently the noise emission: The nozzle thickness, boundary layer development, temperature, boundary conditions such as wind gusts and humidity.

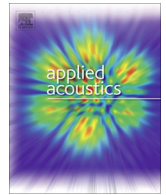
Due to the flow complexity, the aeroacoustics of dual-stream jets is not a straightforward problem to tackle. Still

***Corresponding author:** Prof. Dr. Odenir de Almeida, Associate Professor – Researcher (Aerodynamics), Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Aeronautical Engineering Course - School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlândia, Campus Glória, 38400-902 Uberlândia – MG, Brazil, Tel: +55-(34)-2512-6864; +55-(34)-99660-8556

Accepted: November 09, 2020

Published online: November 11, 2020

Citation: Ferreira FGT, Almeida O (2020) Aeroacoustics Analysis of a Dual-Stream Subsonic Jet. J Aerosp Eng Mech 4(2):273-286



Feasibility of measuring noise sources on a detailed nose landing gear at low cost development



Lourenço Tércio Lima Pereira^a, Fernando Martini Catalano^a, Odenir de Almeida^{b,*}, Paul Bent^c

^aSão Carlos School of Engineering (EESC), University of Sao Paulo – USP, São Carlos, São Paulo, Brazil

^bExperimental Aerodynamics Research Center – CPAERO, School of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlandia - UFU, Uberlandia, Minas Gerais, Brazil

^cThe Boeing Company, Saint Louis, MO, USA

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16 January 2021

Received in revised form 15 June 2021

Accepted 21 June 2021

Keywords:

Nose landing gear

Aeroacoustics

Aerodynamics

Aircraft noise

Beamforming

ABSTRACT

This work aimed to develop an aeroacoustics analysis of a nose landing gear through rational and low-cost wind tunnel tests to develop potential noise mitigation technologies of aircraft components. This approach led to using a nose landing gear model of the Boeing 777 aircraft, whose more complex parts were 3D-printed. The aeroacoustics and aerodynamics tests were performed in a hard-wall wind tunnel with the capability to perform aeroacoustics tests after corner-vanes and fan section treatment to reduce background noise. Improved beamforming techniques were applied for noise source localization through microphone array measurements. Also, near field noise analysis was performed by microphones installed inside model cavities as part of the correlation procedures for noise investigation and creation of reference data for further CAA simulations. Additionally, using wake-flow mapping and lateral aeroacoustics measurements allowed the characterization of the flow field and noise source positions at low subsonic speeds in the approach condition. The flexibility of the model construction allowed a systematic assembly of the main parts and structures, and therefore, a noise build-up analysis showed the contribution of each component to the overall noise of the nose landing gear. Near-field measurements provided better insights into the noise generation mechanisms of each component. Despite some limitations identified by following this approach, the results were consistent and revealed that the noise sources are concentrated in the bay cavity, at the upper structure, and between the wheels. The feasibility of measuring noise sources on a detailed nose landing gear has been achieved with relatively low-cost development, providing useful data for further CAA computations as well as noise mitigation development.

© 2021 Published by Elsevier Ltd.

1. Introduction

Despite all the technological advances found in modern and large transport aircraft, the external noise still concerns authorities and civil institutions. Indeed, aviation authorities establish and apply noise restrictions to aircraft certification and operations [1]. The aeronautic industry has been, for decades, developing means to reduce aircraft noise to comply with these increasingly stringent regulations. First, the considerable noise reduction achieved for the turbofan engines reached, nowadays, the same noise level as the airframe. Therefore, regarding noise, engine optimization is no longer the exclusive preoccupation of the aeronautic industry by now. Airframe noise emanating mainly from high-lift systems and landing gears are responsible for the total aircraft noise for approach-to-land operation.

Moreover, landing gear noise is dominant for wide-body airplanes, followed by aerodynamic noise originating from deployed high-lift devices, according to [2]. Somehow, landing gear design is primarily driven by the structural and mechanical needs of the parts. Aerodynamics is mostly ignored due to the short interval of exposure to the flow during takeoff, and at landing, the drag is a positive side effect. However, from the aerodynamic standpoint, the flow developing over this complex geometry allows for highly unstable pressure loading and velocity fluctuations. The intrinsic presence of small details such as screws, nuts, pins, hose, and connections results in an even more complex flow pattern [3]. Therefore, the difficulty of predicting the sound sources on a landing gear is related to the fact that the geometric details are extremely relevant to the entire problem. Predicting or measuring the landing gear's noise without considering all the components can lead to large errors in developing technologies for noise mitigation.

Therefore, one of the challenges is related to the accuracy of noise measurements of such landing gear devices and how to use

* Corresponding author.

E-mail address: odenir.almeida@ufu.br (O.de Almeida).

Improvements of a Hard-Wall Closed Test-Section of a Subsonic Wind Tunnel for Aeroacoustic Testing

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Federal University of Uberlandia (UFU), Uberlandia, Brazil. E-mail: odenir.almeida@ufu.br

Fernando M. Catalano and Lourenco Tercio Pereira

São Carlos School of Engineering, University of São Paulo (USP), São Carlos, Brazil.

(Received 25 April 2021; accepted 17 July 2021)

For achieving accurate aeroacoustic measurements to the aircraft industry, a low-speed wind tunnel, primarily designed for aerodynamic testing, is modified to provide lower background noise environment. Based on data from single microphone at different wind tunnel locations and microphone phased-array measurements inside the test-section, the main noise sources are identified and feasible alternatives are implemented for reducing the background noise such as new acoustically treated corner-vanes and sidewall lining located upstream the drive system. The acoustically transparent concept for the test-section is also investigated showing promising results for further improvements in the wind tunnel. Results are presented for sound pressure levels from single microphone measurements at different locations in the wind tunnel as well as from the beamforming array inside the test-section. Background noise measurements before and after improvements confirm that the ability of performing aeroacoustic tests has significantly increased with noise reduction of 5 dB inside the test-section.

1. INTRODUCTION

The growing demand of the air-transport industry for low noise aircraft has challenged universities and research centers around the world to either improve or design new experimental facilities for aeroacoustic measurements. It is well known that aeroacoustic experiments cannot be pursued in standard subsonic wind tunnels, mainly due to high levels of background noise in the hard-wall and closed test-section. For this reason, in the last decades, many wind tunnels (WT) have passed through upgrades to perform aeroacoustic measurements as well as traditional aerodynamic flow evaluation mainly in the aeronautic branch. In fact, the aviation industry demands high aerodynamics performance and the ability for measuring and identify noise sources. Most of those facilities are large and relatively old. Therefore, an upgrade was more adequate. Also, it is worth noting that some of the wind tunnel circuit's noise sources are difficult to cure without radical modifications. The design process of an aeroacoustic wind tunnel is very complex since a good compromise between acoustic and aerodynamic characteristics must be achieved.¹

When dealing with measurements in a wind tunnel, it is always too hard to match aerodynamics with aeroacoustics, mainly due to physical interferences such as hard-walls and its boundary layers, jet shear layers, propagation of fan noise, jet-collector impingement and consequently unsteadiness of flow motion, among other issues. In the aeroacoustics side, there is also the need for reducing background noise to simulate farfield environments as truly as possible.² Although these are recurring problems into this field, it is possible to verify the existence of both open and close test-sections for achieving aeroacoustic experiments with terrestrial and aerial vehi-

cles. The description of the Florida State Aeroacoustic Tunnel (FSAT), which is an open-circuit anechoic wind tunnel designed for low subsonic aerodynamic noise studies is provided by.³ The work of⁴ presents a wind tunnel configuration which is closed aerodynamically and open acoustically by means of using non-hard-wall material such as Kevlar. The works of^{5,6} discuss and compare many open-jet facilities for aeroacoustic measurements and summarize the challenges found in closed-section wind tunnels.

Notwithstanding, closed wind tunnel test sections have been applied for aeroacoustic measurements in the last decade, despite the fact of higher noise levels and reverberation in the test-section. Early works such as⁷ investigated a $\frac{1}{4}$ scale model of the A340 main landing gear in a closed test-section through phased array microphone measurements. Conventional beamforming and deconvolution techniques were applied to de-reverberate noise levels from microphone array measurements in hard-wall closed-section wind tunnels by.⁸ The authors⁹ expanded their measurements and control of aircraft landing gear broadband noise. At the time, the results were complemented with an open-jet aeroacoustic facility using farfield microphones to verify the wind tunnel test results showing reasonable accuracy in mid- and high-frequency range. The authors¹⁰ proposed aeroacoustic imaging in a closed-section wind tunnel for studying a modern commercial transport aircraft in China. In that case the microphones were recessed behind a Kevlar cloth to suppress interference from boundary layer flow on the tunnel walls.

Despite the fact that closed-test-section wind tunnel showed good aerodynamic performances, drawbacks were seen in the boundary layer interference on signal-to-noise ratio as well as

The development of an experimental aerodynamics research center in Brazil

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Federal University of Uberlandia (UFU), Minas Gerais - Brazil

Received: 11 Dec 2020;

Received in revised form:

06 Feb 2021;

Accepted: 21 Feb 2021;

Available online: 15 Mar 2021

©2021 The Author(s). Published by AI
Publication. This is an open access article
under the CC BY license
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Keywords— Aeroacoustics, Aerodynamics,
Experimental, Wind energy, Wind tunnel.

Abstract— The present work describes the recent activities of the Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) concerning all the efforts devoted to develop capacities on both experimental and numerical aerodynamic and aeroacoustic techniques applied for solving fundamental and industrial flows. Despite the low investment of resources by the Brazilian government and ruptures in institutional policies in the last decade, over the past 05 years it has been possible to build a medium-size low-speed subsonic wind tunnel and acquire, as well as design and build, various apparatus for laboratory and open field studies. The main activities are developed in the sectors of aeronautical, automobile and alternative energy sources such as wind energy. However, other applications are under development in fields such as fluid-structure interaction, drone noise and calibration of wind tunnels and anemometric sensors. To support the experimental studies, special attention was given to computational aerodynamics through the use of open source codes for the design of airfoils, wings and more complex flow-body simulations in computational fluid dynamics (CFD). Growing interface with local and national companies is taking place, as well as research partners with other universities and research centers. Some results are presented for unconventional aircraft analyses, commercial vehicles such as sedan and pick-up's aerodynamics, flow over cylinders with different aspect ratios as well as experimental and numerical data for finite-height surface-mounted cylinders. Recent and new approaches are provided for designing biomimetic blades for small-scale horizontal axis wind turbine (HAWT). Aeroacoustics numerical data is also compared with experimental data for subsonic jets at free-stream and cross-flow conditions showing the flexibility of tools and capabilities at CPAERO.

I. INTRODUCTION

Experimental aerodynamics is a key area for the development of new technologies and products. In fact, most of the advances seen in the aeronautical, automobile, civil construction and many other application fronts come from results obtained in large and small, high and low speed (transonic and subsonic) experimental facilities

spread around the world in different countries. Wind tunnels (WT) and their experimental apparatus, for several decades, formed the technological and scientific basis for the advancement of several applications.

However, there has been a progressive advance of numerical methods through CFD (Computational Fluid Dynamics) in the last 4 decades, which has changed the



Review on Small Horizontal-Axis Wind Turbines

Kamal A. R. Ismail¹ · Fatima A. M. Lino¹ · Odenir de Almeida² · Mohamed Tegggar³ · Vicente Luiz Scalon⁴ · Willian M. Okita¹

Received: 2 May 2023 / Accepted: 13 September 2023
© King Fahd University of Petroleum & Minerals 2023

Abstract

Wind energy generation is continuously expanding in the global energy scenario of sustainable resources to replace fossil energy and alleviate the negative impacts on the environment. With the global attention focused on centralized generation, less attention has been paid to improving small wind turbines. As a result, small wind turbines have marginal contribution to the global energy scenarios, because of their poor performance and high cost. This review is aimed to gather methodologies and experiences in big machines and avail them for small machines. The review presents an evaluation of global expansion of wind energy followed by investigations on the blade element momentum (BEM), lifting line-based methods and other vorticity-based models, wind turbine noise, optimization of airfoils, blades and rotors, and commercial numerical codes with a special focus on small wind turbines. The main findings of the review show the necessity of more research and development efforts to improve the performance of small wind turbines and acceptability by the users, integration of the BEM with lifting line methods and other available software, more numerical and experimental real-scale studies on noise generation and its impact on the neighboring living beings, development of new optimized airfoils and blades for low Reynolds number operation and urban wind profile, and creation of computational codes for the design, micro-siting, and simulation of small wind turbines. It is hoped that this review can be of help to researchers, development engineers, young scientists, and general readers interested in the topic.

Keywords Small wind turbines · Airfoils Optimization · Blades for low wind speeds · BEM · Lifting line methods · Aerodynamic noise

Abbreviations

AEP	Annual Energy Production
BEMT	Blade element momentum theory
CFD	Computational Fluid Dynamics
CST	Class-Shape Transformation
HAWT	Horizontal-axis wind turbine
HCM	Healthy condition monitoring

LES	Large eddy simulation
LSB	Laminar separation bubble
NVLM	Nonlinear vortex lattice method
NSGA-II	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II
PARSEC	Parametric Section
VLM	Vortex lattice method
NSGA-II	Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II

✉ Kamal A. R. Ismail
kamal@fem.unicamp.br

- ¹ Energy Department, Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas, Mendeleiev Street, 200, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Campinas 13083-860, Brazil
- ² Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Brazil
- ³ Laboratory of Mechanics, University Amar Telidji, BP G37, 03000 Laghouat, Algeria
- ⁴ Mechanical Engineering Department, School of Engineering, São Paulo State University (Unesp), Bauru, Brazil

List of Software

XFOIL	Software for the analysis of airfoils
OVERFLOW	OVERset grid FLOW solver
ASHES	Aero Servo Hydro Elastic Simulation software
Heliciel	Software for designing turbines, propellers and wings



Experimental Analysis of the Flow over a Wing under Ground and Down Force Effects

Pedro Henrique Bernardi Franzini¹ and Odenir de Almeida¹

¹Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental (CPAERO) – Uberlândia/MG – Brazil.

Corresponding Author: Odenir de Almeida | Universidade Federal de Uberlândia – Faculdade de Engenharia Mecânica – Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental | BR 050 km 78 – Campus Gloria | CEP: 38.410-337 – Uberlândia/MG – Brazil.

ABSTRACT

The principal aim of this study is to investigate the correlation between the negative lift force, commonly referred to as down force, generated by cambered low aspect ratio ($AR = 2.63$) wing designed for racing car applications, and its proximity to the ground, thereby characterizing the ground effect. Furthermore, aerodynamic drag force and the aerodynamic performance of the wing in the presence and absence of wingtip plates, known as endplates, were evaluated under these conditions. To achieve these objectives, an equipped low-speed subsonic wind tunnel setup with an aerodynamic balance, a Pitot-tube and anemometer, and a physical assembly of the wing integrated with the measurement system was employed. Results were very consistent and demonstrate that for small distances to the ground, enough down force was produced within a range of ground clearance (h/c) between 0.2 and 0.4 while viscous effects were also present for jeopardizing the benefits at some specific conditions. The use of endplates has increased the Lift by a factor of 8.3%.

Keywords: Down force, Ground Effect, Endplate, Cambered Airfoil, Car Aerodynamics.

INTRODUCTION

After decades of advancements in our understanding of wings and airfoils in the aeronautical industry, the 20th century, particularly the 1960s, marked a significant turning point when engineers and race car designers began to take a keen interest in wing concepts. They observed the lift effects seen in airplanes and recognizing similarities between the high speeds of their racing cars and the demand for rapid maneuverability in competitions, conceiving the idea of inverting the wing to generate negative lift. This

inverted wing was then affixed to the car with the primary objective of augmenting the normal force between the car's wheels and the ground. This substantial increase in grip between the rubber tires and the road surface translated to a significant enhancement in the car's speed and handling during turns. This phenomenon of generating negative lift came to be known as 'downforce'.

The Formula One (F-1) car that first featured an attached wing was the Lotus 49 – Fig. 1. This evolution in race car design is well-documented by Katz in his work on race car wings [1].



Figure 1. The Lotus 49 F1-race car with rear wing.

Source: <https://c-magazine.com/features/extra-time/aerodynamics-1968-1970>.

From then on, downforce-focused airfoils continued to be developed and used both in

single-seater categories, such as F-1 itself or IndyCar, and in sports street cars, such as Bugatti

Aeroacoustics Effects Generated by the Interaction Rotor-Airframe in a sUAS

Gino Rodrigo Lavagnino Sanchez¹ , Odenir de Almeida^{1,*} , Fernando Martini Catalano² 

1. Universidade Federal de Uberlândia  – Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental – Faculdade de Engenharia Mecânica – Uberlândia/MG – Brazil.

2. Universidade de São Paulo  – Escola de Engenharia de São Carlos – São Carlos/SP – Brazil.

*Correspondence author: odenir.almeida@ufu.br

ABSTRACT

Small multirotor unmanned aerial systems (sUAS) have become more accessible and efficient recently, spurring their development for various personal and commercial uses. However, this rapid evolution raises concerns about security, control, and public health due to the proliferation of noisy drones. This study focuses on investigating a major noise source in drones called rotor-airframe interaction, which generates tonal noise through pressure fluctuations and wake interactions. To address this issue, we designed and tested three airframes with varying arm configurations. High-definition microphones and data acquisition systems were employed to measure pressure levels, and MATLAB code helped analyze the data as A-weighted signals to identify noise reduction possibilities. The key finding was that motor noise was a significant contributor, producing multiple pure tones at mid and high frequencies. Additionally, the noise signature was heavily influenced by the arm's geometric shape and angles, underscoring the complex nature of rotor-airframe flow and acoustic interactions.

Keywords: sUAS; Aeroacoustics; Noise emission; Rotor-airframe; Turbulence.

INTRODUCTION

Due to their simple design and programmability for diverse tasks, small multirotor unmanned aerial systems (sUAS), or drones, attract interest from governmental, military, and business sectors. They enhance work efficiency, reduce costs, and mitigate risks in various applications such as fast delivery, accurate tasks in challenging locations, and military operations. As reported by Insider Intelligence (2021), sUAS applications range from surveillance to environmental monitoring and package delivery.

However, the integration of small unmanned aerial vehicles (UAVs) into societal norms requires careful consideration of factors, including challenges and drawbacks. National security, flight control, and noise pollution are among the key concerns. The rotor-airframe interaction, a critical phenomenon shaping the acoustic signature and overall performance of sUAS, is of particular interest. The Federal Aviation Administration (FAA 2022) and European Union Aviation Safety Agency (EASA 2018) view multirotor as significant noise pollutants due to their low altitude of operation and high motor revolutions, producing a distinct high-pitched noise.

The interaction between rotors and airframes in sUAS is characterized by intricate fluid-structure interactions that give rise to aeroacoustic effects. These effects manifest as noise emissions that not only impact the acoustic environment, but also

Received: Sep. 15 2023 | **Accepted:** Mar. 19 2024

Section editor: Valder Steffen 

Peer Review History: Single Blind Peer Review.



This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons license.

ARTICLE

An Overview of Aeronautical Occurrences Related to Safety in Brazil and the United States

Diogo Carlos Rodrigues, Federal University of Uberlândia

Giuliano Gardolinski Venson, Federal University of Uberlândia

Odenir de Almeida, Federal University of Uberlândia

Abstract This essay presents a comparative analysis of the aeronautical occurrences registered in Brazil and in the United States from 2012 to 2021. The study was carried out through several segmentations of the occurrences and the aircrafts involved. Statistical data from the websites of Brazil's Center for Investigation and Prevention of Aeronautical Accidents and the US National Transportation Safety Board was used for the comparative analysis. The evolution of the number of aircraft registered in each country was evaluated, and although the number of aircraft in the United States is much higher than in Brazil, the US occurrence rate is lower. Also, the occurrences in the United States have greater damage and a higher fatality rate than in Brazil. Therefore, it is suggested that a more detailed study is needed about the factors that lead to greater severity in the US occurrences than in Brazil.

Keywords aeronautical occurrence, accident, incident, investigation, CENIPA, NTSB

Enhancing indoor airflow: insights on cross ventilation through CFD simulations

Aprimoramento do fluxo de ar em ambientes internos: percepções sobre a ventilação cruzada por meio das simulações em CFD

Mariana Bittar 
André Luis de Araujo 
Odenir de Almeida 
Themis Martins 
Maurício Sousa 

Abstract

In recent years, the architectural design process has undergone significant advancements due to computational design, enabling real-time exploration of alternatives through parametric modeling. In the design of buildings, a comprehensive understanding of measurement systems, particularly in the context of natural ventilation, can guide decision-making processes through tests using computational simulations. This paper aims to determine the flow patterns of natural ventilation in indoor environments under five specific conditions using Computational Fluid Dynamics Analysis (CFD) Ansys Fluent® R22. Five configurations are analyzed and compared to a control sample. Adhering to scientific rigor and employing computational techniques, it was possible to achieve satisfactory inferences for indoor airflow. Our findings indicate that the diagonal positioning of openings substantially accelerates wind speed in indoor environments. This design strategy supersedes the need for more openings when the goal is to enhance air speed and indoor air renewal.

Keywords: Natural ventilation. Indoor ventilation. Ansys fluent. Parametric modeling. Simulation-Based Architectural Design.

Resumo

Nos últimos anos, o processo de projeto arquitetônico tem experimentado avanços significativos devido ao design computacional, que possibilita a exploração de alternativas em tempo real por meio da modelagem paramétrica. No projeto de edifícios, uma compreensão abrangente dos sistemas de mensuração, especialmente no contexto da ventilação natural, pode orientar os processos de tomada de decisão por meio de testes com simulações computacionais. Este artigo tem como objetivo determinar os padrões de fluxo da ventilação natural em ambientes internos sob cinco condições específicas, utilizando a simulação em Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) no aplicativo Ansys Fluent® R22. Foram analisadas cinco configurações distintas e comparadas com uma amostra controle. Respeitando o rigor científico e empregando técnicas computacionais, foi possível obter inferências satisfatórias para o fluxo de ar em ambientes internos. Os achados indicam que o posicionamento diagonal das aberturas acelera substancialmente a velocidade do vento em ambientes internos. Essa estratégia de projeto substitui a necessidade de mais aberturas quando o objetivo é aumentar a velocidade do ar e a renovação do ar interno.

Palavras-chave: Ventilação natural. Ventilação interna. Ansys Fluent. Modelagem paramétrica. Arquitetura baseada em simulação.

¹Mariana Bittar
¹Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - MG - Brasil

²André Luis de Araujo
²Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - MG - Brasil

³Odenir de Almeida
³Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - MG - Brasil

⁴Themis Martins
⁴Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - MG - Brasil

⁵Maurício Sousa
⁵Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia - MG - Brasil

Recebido em 04/01/24
Aceito em 07/04/24

Experimental Aerodynamics of a NACA 4424 Airfoil at Low Reynolds Number Flow

Aerodinâmica Experimental de um Aerofólio NACA 4424 em Escoamento de Baixo Número de Reynolds

Odenir de Almeida¹ , Rafael de Rezende Dias² 

Received: 28 September 2024 Received in revised form: 18 November 2024 Accepted: 28 November 2024 Available online: 14 December 2024

ABSTRACT

This paper presents wind tunnel data on the aerodynamic characteristics of a NACA4424 airfoil operating under low Reynolds number flow conditions ($\sim Re = 2 \times 10^5$). The study investigates the lift, drag, and stall behavior of the airfoil, which are critical for applications in engineering such as small unmanned aerial vehicles (UAVs) and micro air vehicles (MAVs). Experimental data were collected through wind tunnel testing across various angles of attack at a fixed Reynolds number. To provide further insight, the experimental results are complemented by XFOIL simulations, which illustrate the impact of low Reynolds number conditions on aerodynamic performance. These findings enhance the understanding of airfoil behavior in low Reynolds number regimes and support the design and optimization of efficient airfoil profiles for small-scale aerial systems.

keywords NACA 4424, wind tunnel testing, low Reynolds flow, aerodynamics performance, small-scale aerial vehicle

RESUMO

Este artigo apresenta dados de túnel de vento sobre as características aerodinâmicas de um aerofólio NACA4424 operando em escoamento com baixo número de Reynolds ($\sim Re = 2 \times 10^5$). O estudo se concentra nas características de sustentação, arrasto e estol do aerofólio, cruciais para várias aplicações de engenharia, como pequenos veículos aéreos não tripulados (UAVs) e micro veículos aéreos (MAVs). Dados experimentais foram obtidos por meio de testes em túnel de vento em vários ângulos de ataque para um número de Reynolds específico. A análise foi complementada por simulações XFOIL para destacar os efeitos do baixo número de Reynolds no desempenho aerodinâmico do aerofólio. As descobertas contribuem para a compreensão do comportamento aerodinâmico em números de Reynolds baixos, auxiliando no projeto e otimização de perfis de aerofólio para desempenho eficiente em sistemas aéreos de pequena escala.

palavras-chave NACA 4424, ensaios em túnel de vento, baixo número de Reynolds, desempenho aerodinâmico, micro-veículos aéreos

¹Prof. Dr., Experimental Aerodynamics Research Center, UFU, Uberlândia, MG, Brazil. odenir.almeida@ufu.br

²Grad. Student, Experimental Aerodynamics Research Center, UFU, Uberlândia, MG, Brazil. rafaelrezendedias@ufu.br

Review

Wind Turbines for Decarbonization and Energy Transition of Buildings and Urban Areas: A Review

Kamal A. R. Ismail ^{1,*}, Fatima A. M. Lino ¹, Pedro A. A. Baracat ^{1,2}, Odenir de Almeida ³, Mohamed Tegggar ⁴, Abdelghani Laouer ⁵

1. Energy Department, Faculty of Mechanical Engineering, State University of Campinas¹, Mendeleev Street, 200, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, 13083-860, Campinas, Brazil; E-Mails: kamal@fem.unicamp.br; fatimalino@fem.unicamp.br; pedroaab@gmail.com
2. Fundação para Inovações Tecnológicas (FITec), Aguaçu Street, 79, 13098-321, Campinas, Brazil
3. Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Brazil; E-Mail: odenir.almeida@ufu.br
4. University Amar Telidji Laghouat, Mechanical Engineering, Laghouat, Algeria; E-Mail: m.tegggar@lagh-univ.dz
5. Laboratory of Condensed Matter Physics and Nanomaterials, University of Jijel, Algeria; E-Mail: a_laouer@univ-jijel.dz

* **Correspondence:** Kamal A. R. Ismail; E-Mail: kamal@fem.unicamp.br

Academic Editor: Joana Sousa

Special Issue: [Energy Policies and Strategies for Achieving Sustainability](#)

Adv Environ Eng Res

2025, volume 6, issue 1

doi:10.21926/aeer.2501013

Received: August 14, 2024

Accepted: February 13, 2025

Published: February 26, 2025

Abstract

The recent tendencies of drastic variations of environmental conditions, inundations, severe winds, and gusts besides heavy and unexpected long-duration rains showed the world an image of what could happen if emissions and global warming are not adequately controlled. Implementing new energy solutions as fast as possible is essential to cope with climate change, one of the biggest threats to our survival. These alarming signs intensified research and development efforts to replace fossil-based activities with renewable, eco-friendly energy resources to ensure reduced emissions and global warming effects. Wind energy



© 2025 by the author. This is an open access article distributed under the conditions of the [Creative Commons by Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium or format, provided the original work is correctly cited.



Additive manufacturing in the wind power industry

Lohanna Ferreira Paiva¹ · Arthur Alves Fiocchi² · Alexandre Zuquete Guarato³ · Odenir de Almeida¹

Received: 9 June 2025 / Accepted: 23 September 2025

© The Author(s), under exclusive licence to Springer-Verlag London Ltd., part of Springer Nature 2025

Abstract

This work aims to provide a comprehensive literature review of Additive Manufacturing (AM) implementation in the Wind Turbine (WT) sector, whether offshore or onshore. The screening of applications was carried out through documentary and bibliometric research aiming to present AM processes, materials, large-format 3D printers, post-processes in AM, applications in large-scale additive manufacturing, supply chain and rapid repair, standardization, and potential application to other significant components. Even though AM has yet to achieve significant participation in the wind industry, it is possible to observe its evolution and excellent benefits compared to conventional manufacturing methods. AM offers a series of advantages to the wind industry, significantly improving the performance and life of structures, reducing manufacturing costs, and enabling greater market competitiveness among wind energy suppliers. AM can lead to constructing more complex and customized blades for the wind patterns of a given location; it can help in constructing towers at the installation site and the consequent manufacture of the heavy machinery inside the nacelle. This work also discusses the potential future AM trends in wind power generation (design, manufacturing, and maintenance) from an academic and industry perspective.

Keywords Additive manufacturing · Wind turbine · Large-scale additive manufacturing · Renewable energy

Lohanna Ferreira Paiva, Arthur Alves Fiocchi, Alexandre Zuquete Guarato and Odenir de Almeida contributed equally to this work.

✉ Odenir de Almeida
odenir.almeida@ufu.br

Lohanna Ferreira Paiva
lohanna@ufu.br

Arthur Alves Fiocchi
arthurfiocchi@ufu.br

Alexandre Zuquete Guarato
azguarato@ufu.br

¹ Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO-UFU), Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Avila, 2121 – Santa Mônica, Uberlândia, Minas Gerais 38408-100, Brazil

² Machining Teaching and Research Laboratory (LEPU) and FEMEC Maker, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, Brazil

³ Laboratory of Mechanical Design (LPM) and FEMEC Maker, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, Brazil

1 Introduction

The American Society for Testing and Materials (ASTM) defines Additive Manufacturing (AM) as the process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer by layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies, such as traditional machining ISO/ASTM 52900:2015(en) [1]. One of the significant advantages of AM is its ability to produce highly customized parts, making it ideal for low-volume markets [2]. AM also offers advantages such as shorter lead times, higher flexibility, lower material wastage, and the ability to fabricate complex geometries [3]. However, despite its advantages, AM also presents challenges to be overcome over the years. Implementing metallic AM parts in industries requires a deep understanding of processing and material properties, indicating that adoption is not straightforward [4].

AM encompasses various materials, including metals, ceramics, polymers, biomaterials, and organic compounds. For instance, these materials have been successfully processed using AM technologies, enabling the fabrication of components with complex geometries and structures [5], minimizing waste, reducing the need for excessive machine tool operations, and optimizing the topology and structure,



Experimental and Numerical Investigation of Scale Effects on the Flow Over a Sedan Vehicle

Guilherme Espíndola da Silva¹ · Rafael Rezende Dias¹ · Odenir de Almeida¹ · Anderson Ramos Proença²

Received: 18 July 2024 / Accepted: 15 March 2025
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2025

Abstract

Experiments and numerical modeling on vehicle aerodynamics were conducted in a Reynolds (Re) number one order of magnitude lower than that of typical full-scale application. Drag coefficient, velocity profile measurements and flow visualization were the focus with the proposition of comparing scale effects of a 1:10 sedan passenger vehicle model with numerical data from full-scale (1:1) based on the Reynolds Averaged Navier–Stokes (RANS) approach. After the validation of the numerical approach at 1:10 scale, additional investigation of sharp and rounded fillets presented on the car's geometry showed to be relevant to the calculation of the separating shear layers and drag prediction, although the general wake structures are qualitatively similar. Effects of the reduced scale are translated to low Reynolds number where viscous effects starts to play a role. Detailed flow features such as recirculating regions and reversing flow acts on the model's surface while the near wake velocity field is well captured and evaluated both experimentally and numerically. The results permitted to characterize flow details based on Re number flow, to show the effects of sharp corners on the model and to scrutinize the influence of scale effects on vehicle's aerodynamics.

Highlights

- Experimental wind tunnel and numerical modeling on a generic vehicle aerodynamics.
- Comparison of aerodynamic results between 1:10 and 1:1 scale.
- Friction drag influence due to scale effects.
- General and wake flow under Reynolds number effect.

Keywords Reynolds effect · Scale model · Car aerodynamics · Sedan vehicle · Aerodynamics

✉ Odenir de Almeida
odenir.almeida@ufu.br

¹ Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Faculty of Mechanical Engineering, Federal University of Uberlandia, Uberlandia, MG, Brazil

² School of Aerospace, Transport and Manufacturing, Cranfield University, Cranfield, UK



Experimental investigation of natural laminar-to-turbulent transition in straight and swept wings at low Reynolds numbers

Caio Roberto Botter¹ · Odenir de Almeida¹ · João Paulo Eguea² · Fernando Martini Catalano²

Received: 2024 e
Accepted: 2025

Abstract

The current study investigates the natural laminar-to-turbulent transition in the boundary layers of straight (STR) and swept (SWE) wings. The experiments are conducted in a subsonic low-speed wind tunnel using two wings configurations employing infrared thermography and pressure measurements. More specifically, image processing is used to analyze the flow pattern and infer the effects of Tollmien–Schlichting (T-S) and crossflow (CF) instabilities at low to moderate Re numbers ($Re < 10^6$), which is one of the main contributions of this research. Additionally, using the pressure distribution data as a reference, point analyses are conducted to explore the physical mechanisms of transition. The results of this study provide insight into the boundary layer transition region in straight and swept wings, concerning the effects of low Re numbers and their viscous associated implications, such as laminar separation bubbles (LSB) and adverse pressure gradient, phenomena that are encountered in many aerospace applications such as small UAVs with fixed wings.

Keywords Transition · Thermographic flow visualization · Image processing · Swept wing · Flow instabilities

Abbreviations

CF	Crossflow	EESC	São Carlos School of Engineering
CFI	Crossflow instability	IR	Infrared thermography
CPAERO	Experimental Aerodynamics Research Center	IRT	Infrared thermography
DNS	Direct numerical simulation	LAE	Applied Aerodynamics Laboratory
		LSB	Laminar separation bubble
		MAV	Micro-air vehicle
		STR	Straight wing
		SWE	Swept wing
		RANS	Reynolds-averaged Navier–Stokes
		Re	Reynolds number
		T-S	Tollmien–Schlichting
		UAVs	Unmanned aerial vehicles

Technical Editor: Daniel Onofre de Almeida Cruz.

Caio Roberto Botter, Odenir de Almeida, João Paulo Eguea and Fernando Martini Catalano have contributed equally to this work.

✉ Odenir de Almeida
odenir.almeida@ufu.br

Caio Roberto Botter
caiorbotter@gmail.com

João Paulo Eguea
joao.eguea@usp.br

Fernando Martini Catalano
catalano@sc.usp.br

¹ Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO-UFU), Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Avila, 2121—Santa Mônica, Uberlândia, MG 38408-100, Brazil

² Department of Aeronautical Engineering, São Carlos School of Engineering (EESC-USP), Avenida Trabalhador São-Carlense, 400 Pq Arnold Schmidt, São Carlos, SP 13566-590, Brazil

1 Introduction

The study of laminar-to-turbulent transition in boundary layers is crucial in aeronautical and aerospace sciences, particularly at low Reynolds numbers, where it significantly affects aerodynamic performance. This phenomenon is relevant to applications such as small unmanned aerial vehicles (UAVs), micro-air vehicles (MAVs), and wind turbines, where drag reduction is essential for efficiency. At low Reynolds numbers, the transition process is influenced by several factors, including wing geometry, Reynolds number, surface roughness, and operating conditions. The low momentum



Flight mechanics characteristics of wind-dispersed seeds from Brazilian savanna

Lohanna Ferreira Paiva¹ · Odenir de Almeida¹ · Helena Maura Torezan Silingardi² · Letícia Rodrigues Novaes³

: 19 arch 2025 / Accepted: 12 August 2025

© The Author(s), under exclusive licence to The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering 2025

Abstract

Seed dispersal mechanisms and their associated structural adaptations are crucial for maintaining biodiversity and ecological balance. Plants have evolved strategies to disperse seeds, including producing winged seeds capable of autorotational flight. The aerodynamic properties of wind-dispersed seeds exhibit remarkable efficiency in passive flight, making them an important subject of study for ecological and engineering applications. This study investigates the flight mechanics of three Brazilian Savanna species—*Banisteriopsis laevifolia*, *Peixotoa tomentosa*, and *Qualea grandiflora*—by analyzing their autorotational descent through experimental testing in a controlled environment. Key aerodynamic parameters, including terminal velocity, angular velocity, coning angle, wing loading, and power coefficient (C_p), were measured, calculated, and compared with theoretical predictions from rotor systems aerodynamics. The results confirm that wing loading strongly predicts descent behavior, and these seeds operate near-optimal rotor efficiency, akin to engineered rotor systems. The C_p obtained for the studied samarids were 0.458 for *B. laevifolia*, 0.567 for *P. tomentosa*, and 0.587 for *Q. grandiflora*. These values compare favorably to conventional wind turbines, which typically range from 0.45 to 0.48, and approach the theoretical Betz limit of 0.593, highlighting the aerodynamic efficiency of these seeds as natural rotors, such as wind turbine applications.

Keywords Flight mechanics · Aerodynamics · Winged seeds · Brazilian savanna

Technical Editor: Sunetra Sarkar.

Lohanna Ferreira Paiva, Odenir de Almeida, Helena Maura Torezan Silingardi and Letícia Rodrigues Novaes contributed equally to this work.

✉ Odenir de Almeida
odenir.almeida@ufu.br

Lohanna Ferreira Paiva
lohanna@ufu.br

Helena Maura Torezan Silingardi
torezan.silingardi@ufu.br

Letícia Rodrigues Novaes
lrodrigues@us.es

¹ Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO-UFU), Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Avila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia, Minas Gerais 38408-100, Brazil

² Behavioral Ecology and Interactions Laboratory, Institute of Biology, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, Brazil

³ Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla, Seville, Spain

1 Introduction

Evolutionary adaptations to exploit dispersal vectors (e.g., wind, water, and animals) have arisen through natural selection, favoring traits that enhance the successful dispersal of fruits and seeds [1–4]. Many plants produce diaspores as dry, winged fruits in more than 140 genera, distributed across 45 plant families [5]. Samarids are winged diaspores with specific wind dispersal capabilities [6–8] and can be found on all continents, except Antarctica, in habitats that include deserts, dry or tropical forests, and temperate regions. Plants with samara or samarid fruits include trees, vines, shrubs, and herbs.

In this sense, anemochory, or dispersal of diaspores by wind, is the most frequent dispersal strategy provided by nature, especially in dry and open conditions [9, 10], as is the case in the Brazilian Savanna, locally called “*Cerrado Brasileiro*.” Anemochory represents one of the most exciting and significant examples of morphological computation in nature, providing a broad collection of appendages optimized for passive flight, landing, and drilling systems [11–15]. The morphology and weight of anemochorous



Numerical Simulations of High-lift Configurations on a NACA4412 Airfoil

Simulações Numéricas de Configurações de Alta-Sustentação em um Aerofólio NACA4412

Odenir de Almeida¹ , Thiago Rezende de Castro²

Received: June 10, 2025

Received in revised form: October 6, 2025

Accepted: October 26, 2025

Available online: December 15, 2025

ABSTRACT

This work addresses the performance of different configurations of various high-lift devices applied to a NACA4412 airfoil, identifying their advantages and disadvantages. Numerical analyses with the CFD open-source code OpenFOAM[®] were carried out on five different configurations — namely, the plain flap, split flap, slotted flap, Fowler flap, and Junkers flap — under similar conditions, allowing for a consistent comparison of outcomes. All flaps were deflected by 10° and analyzed at a Reynolds number of 1.7×10^5 over a range of angles of attack between -4° and 16° . The Spalart–Allmaras turbulence model was used in all simulations, which were carried out in the steady-state regime. Quantitative results were analyzed for the coefficients of lift (C_l) and drag (C_d) per unit span, as well as the pressure flow fields. It was found that the results were reliable and consistent. In addition, it was possible to identify the most efficient configuration for the industry, such as the slotted flap and the Fowler flap.

keywords

high-lift devices, aerodynamics performance, CFD, flap

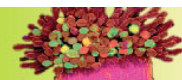
RESUMO

Este trabalho aborda o desempenho de diferentes configurações de vários dispositivos de alta sustentação aplicados a um aerofólio NACA4412, identificando suas vantagens e desvantagens. Análises numéricas com o código de CFD OpenFOAM[®] foram realizadas em cinco configurações diferentes — a saber, flap simples, flap dividido, flap com fenda, flap Fowler e flap Junkers — sob condições semelhantes, permitindo uma comparação consistente de resultados. Todos os flaps foram defletidos em 10° e analisados para um número de Reynolds de 1.7×10^5 em uma faixa de ângulos de ataque entre -4° e 16° . O modelo de turbulência Spalart–Allmaras foi usado em todas as simulações, que foram realizadas no regime de estado estacionário. Resultados quantitativos foram analisados para os coeficientes de sustentação (C_l) e arrasto (C_d) por unidade de comprimento e o coeficiente de pressão (C_p) nas superfícies dos aerofólios analisados, bem como os campos de escoamento de velocidade e pressão. Constatou-se que as simulações apresentaram resultados confiáveis e coerentes para geração de sustentação e arrasto, porém, para ângulos de ataque próximos ao estol, a convergência foi mais difícil. Além disso, foi possível identificar a superioridade na geração de sustentação das configurações de flap mais utilizadas na indústria aeronáutica, como o flap slotted e o flap Fowler.

palavras-chave NACA4412, dispositivos de alta-sustentação, desempenho aerodinâmico, DFC, flapes

¹Prof. Dr., Department of Mechanical Engineering, UFU, Uberlândia, MG, Brazil. odenir.almeida@ufu.br

²Undergraduate student in Aeronautical Engineering, UFU, Uberlândia, MG, Brazil. thiagocastrowork@gmail.com



RESEARCH ARTICLE

Unravelling the drivers of seed dispersal distance in Brazilian savanna anemochoric species: The role of abiotic and biotic factors

L. R. Novaes^{1,2} , E. S. Calixto^{3,4}, O. de Almeida⁵ & H. M. Torezan-Silingardi^{2,6}

1 Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla, Seville, Spain

2 Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade. Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil

3 Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida, USA

4 Programa de Pós-graduação em Entomologia. Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, Brazil

5 Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil

6 Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal. Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brazil

Keywords

aerodynamic seed group; anemochory; Cerrado; diaspore; wind speed; wing-loading.

Correspondence

L. R. Novaes, Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla, Seville, Spain.

E-mail: lrodrigues@us.es

Editor

C. Seal

Received: 6 June 2025;

Accepted: 7 August 2025

doi:10.1111/plb.701

ABSTRACT

- Seed dispersal is a critical ecological process shaping plant recruitment and community structure. In wind-dispersed (anemochoric) seeds, seed dispersal distance depends on both abiotic (e.g. wind) and biotic (e.g. plant and seed traits) factors. Drivers of seed dispersal distance in the Southern Hemisphere remain largely unknown, particularly in ecologically and climatically unique ecosystems, such as the Brazilian savanna, where anemochoric species comprise ~30% of the flora.
- We addressed three questions: (1) what are the main drivers of seed dispersal distance in anemochoric species of the Brazilian savanna; (2) how do wind and plant traits independently and interactively affect seed dispersal distance; and (3) are there trade-offs or trait syndromes among dispersal-related traits in Brazilian savanna species? We used field and wind tunnel experiments to assess the roles of wind speed and traits (plant height, seed mass, seed surface area, aerodynamic group) in shaping seed dispersal distance in six species.
- Seed dispersal distance was primarily driven by wind speed, with additional effects from seed mass, seed area, and aerodynamic group. Unlike other ecosystems, plant height had little influence, likely related to low-stature vegetation in this region. Variations within aerodynamic groups and interactions with wind speed, especially in high-wind conditions, highlight the complexity of dispersal dynamics.
- Combining field and wind tunnel data, we captured both natural variability and trait-specific responses across wind conditions. As climate change alters wind regimes and fragmentation intensifies, integrating trait-based, experimental and spatial data will be essential for predicting species persistence and informing conservation in this vulnerable ecosystem.

INTRODUCTION

Seed dispersal is a crucial biological event in plant recruitment, involving detachment of diaspores from parent plants and their transport to potential establishment sites (van der Pijl 1982; Levin *et al.* 2003). According to the Janzen–Connell model (Janzen 1970; Connell 1971), the success of this process depends on both seed density and dispersal distance, as seeds that fall near the parent plant often experience increased conspecific competition and heightened mortality due to predators and pathogens concentrated around the mother plant (Howe & Smallwood 1982). This ‘escape hypothesis’ suggests that seed dispersal enhances survival by enabling seeds to evade competition and predators. In contrast, the ‘colonization hypothesis’ predicts that seed dispersal facilitates the colonization of unpredictable new sites suitable for seed germination and development, given

the temporal and spatial variability of environmental conditions (Howe & Smallwood 1982; Casas *et al.* 2012). Both hypotheses are supported by numerous studies, suggesting that these hypotheses are not mutually exclusive (Clark & Clark 1984; Stevenson 2007; Swamy *et al.* 2011; Comita *et al.* 2014; Mariano & Christianini 2016). Beyond its effects on seed survival, dispersal is essential for maintaining community assembly in fragmented landscapes, sustaining gene flow, and influencing population and metapopulation dynamics, particularly in species capable of long-distance dispersal (Cain *et al.* 2000; Levin *et al.* 2003; Greene 2005; Trakhtenbrot *et al.* 2014). Dispersal patterns not only determine species distribution (Soons & Bullock 2008) but also contribute to plant reproductive success, and the structure and dynamics of communities and ecosystems, underscoring the importance of understanding the factors influencing seed dispersal distance in different environments.

ANEXO B

Publicações em Congressos Nacionais e Internacionais

(2020 – 2026)

1ª Página do Artigo



COB-2023-0272

VALIDATION AND VERIFICATION OF AN OPEN-SOURCE CFD CODE FOR THE AERODYNAMICS SOLUTION OF AIR AND GROUND VEHICLES

Guilherme Espíndola da Silva

Odenir de Almeida

CPAERO - Aerodynamic Research Center, Federal University of Uberlândia, School of Mechanical Engineering, BR 05, Km 78, Bloco 1DCG, Campus do Glória, Uberlândia, Minas Gerais, 38400-902, Brazil

guilhermeespindola123@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *This work aims to present data in order to compare two Computational Fluid Dynamics (CFD) software: the commercial ANSYS Fluent and the open-source OpenFOAM, using experimental test data as a reference. This research seeks to validate OpenFOAM as a CFD tool for incompressible, steady-state external flow models. The study focuses on the aerodynamics of the Ahmed body with a 25° tilt angle and an air velocity of 40 m/s, resulting in a Reynolds number of 2.859×10^6 (based on the length of the body, which is 1.044 m). The focus of this work is built upon turbulence models, computational time, the influence of the mesh element count, and how all these configurations can affect the prediction of drag coefficient and velocity profiles. The adopted methodology consists of two steps, with the first being a mesh test in both software, varying the number of elements from 2 to 5 million. The second step investigates the influence of turbulence models: SST k-Omega, Realizable k-Epsilon, and Spalart-Allmaras. The results showed similar trends in velocity profiles but diverged with the Realizable k-Epsilon turbulence model. OpenFOAM achieved good accuracy with the SST k-Omega model, showing an error of 2.02% compared to ANSYS Fluent's 3.35%. However, OpenFOAM was four times slower. Furthermore, the use of the Spalart-Allmaras turbulence model resulted in an unfeasible error of over 50%.*

Keywords: *CFD, OpenFOAM, Turbulence Model, Open Source, Validation.*

1. INTRODUCTION

Ahmed body is a simplified car model originally developed for time-averaged vehicle wakes investigation since its form makes it possible to generate the main flow characteristics of real vehicles without its geometrical details. Aerodynamic studies on the Ahmed body reveal significant information about how the air flow is altered due to several vehicle aspects for instance its shape, size, and inclination angle at the rear of the vehicle. This allows for designers to perform adjustments in order to optimize and improve the aerodynamic aspects of the cars and therefore, their efficiency.

Although the vehicle wake structure is essentially unsteady, the inflow time average is capable of displaying the macrostructure responsible for the pressure drag generation on the rear region of the vehicle, which represents 85% of the total drag (Ahmed *et al.*, 1984). The research conducted by Ahmed in 1984 was able to characterize the regions of recirculation, flow separation and longitudinal vortex on the vehicle wake. Through the well established flow characterization, the Ahmed body emerged as a reference to qualitative flow comparisons between experimental and numerical methods. In virtue of the great number of published references, substantial experimental database and time averaged wake investigation possibility, the Ahmed body is one of the most widely bluff bodies used for theoretical automotive studies and computational fluid dynamics (CFD) software validation.

Significant breakthroughs have been made since the emergence of the CFD in 1960 whereas theoretical or in practice of numerical simulations. The numerical algorithms have evolved from finite differences and first order finite volumes to high order methods, namely compact finite differences and finite elements methods. These high order methods endorse more precise and efficient simulations. Furthermore, the high-performance computation has become more available, facilitating the numerical simulation of more complex problems, and providing better resolution. In addition, parallelization and workload distribution techniques have also contributed to the larger scale complex simulations.

Therefore, the present paper aim to present simulations data in order to validate an open source CFD software for the aerodynamic solution of air and ground vehicles. This paper proposes the validation of OpenFOAM, a freely distributed source code CFD software capable of managing external, incompressible, or steady flows. In order to generate a solid database that enables the validation, ANSYS Fluent computational simulations results were used, as well as experimental tests results taken from literature.

The chosen approach for this paper has its foundation on the turbulence models, computational time usage, mesh elements number and the influence of these configurations on the drag coefficient prediction and velocity profiles. The

ESTUDO DE CASO - CÁLCULO DA INCERTEZA ASSOCIADA À MEDIÇÃO DE TORQUE

Lohanna Ferreira Paiva

Odenir de Almeida

Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Glória Centro de Pesquisa em Aerodinâmica Experimental – CPAERO, BR 050, km 78, Uberlândia-MG.

lohanna@ufu.br; odenir.almeida@ufu.br

Rosenda Valdés Arencibia³

Universidade Federal de Uberlândia – FEMEC, Campus Santa Mônica, Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 5F, Uberlândia-MG. rosenda.arencibia@ufu.br

Resumo: Este artigo tem por objetivo avaliar a incerteza associada ao torque e pela aplicação do método de Monte Carlo ao conjunto de dados experimentais, a incerteza pode levar em consideração os efeitos de atuação da medição e torque em aplicações industriais, como bancada de teste. Estes efeitos incluem os efeitos de calibração e laboratório como histerese, linearidade e o esvio e interpolação repetível e, reprodutibilidade. O escopo deste trabalho é finalizar um modelo matemático realista e validar os resultados do cálculo da contribuição, por fim, foram feitas sugestões sobre como a incerteza pode ser reduzida para determinar as aplicações.

Palavras-chave: transdutores e torques rotativos, incerteza e medição, método de Monte Carlo.

1. INTRODUÇÃO

Nas mais diversas aplicações industriais que utilizam máquinas ou sistemas mecânicos, o conhecimento e a avaliação do esforço torcional ao qual está sujeito um determinado componente mecânico ou um conjunto de componentes são fundamentais para o seu dimensionamento e a sua correta utilização (Oliveira, 2015). Para a medição desses esforços, são amplamente utilizados os transdutores de torque. Dentre as possíveis aplicações deste instrumento, destaca-se seu uso em bancada de teste de desempenho de motores, máquinas de torção, bombas hidráulicas e em turbinas eólicas.

O desenvolvimento dos instrumentos e equipamentos utilizados para aplicação e medição de torque na indústria em geral, incluindo suas técnicas de uso e instrumentação, cada vez mais exatas e abrangentes, qualifica a metrologia em torque como uma das áreas da engenharia mecânica em maior desenvolvimento tecnológico e com crescente demanda em serviços de calibração (Oliveira, *et al.*, 2003; Dantas, 2007).

Neste contexto, diferentes padrões e diretrizes de calibração são amplamente utilizados para detalhar os procedimentos e a análise de dados na medição de torque. A ISO 6789 direcionada para ferramentas manuais de torque, foi publicada pela primeira vez em 1982 e revisada em 2017 (ISO, 2017a; ISO, 2017b). Para os transdutores de torque, que podem ser considerados a espinha dorsal das medições de torque, as normas DIN 51309 e BS 7882 são as mais utilizadas, sendo suas últimas versões emitidas em 2005 e 2017, respectivamente. Entretanto, é fato que apenas em casos muito raros uma calibração completa de acordo com as normas técnicas DIN 51309 (DIN, 2005) ou EA-10/14 (EURAMET, 2007) é realizada para estes transdutores. Mas, mesmo que uma calibração completa seja planejada, uma estimativa da incerteza de medição geralmente é necessária antes que os componentes estejam disponíveis no mercado, durante a fase de cotação ou de projeto. Para tais casos, são necessários métodos que permitam estimativas aproximadas com base nas especificações técnicas fornecidas pelos fabricantes nas folhas de dados (Wegener e Andrae, 2007).

Assim, para contribuir para a confiabilidade e a rastreabilidade metrológica do resultado das medições é necessário que o sistema de medição seja calibrado e que atenda os limites de erros impostos pelos fabricantes ou normas técnicas. A garantia da rastreabilidade metrológica é um dos requisitos técnicos estabelecidos pela NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017) e esta requer entre outros que a incerteza associada a todos os níveis da cadeia de rastreabilidade seja declarada (INMETRO, 2012). A avaliação e declaração da incerteza de medição é tão importante quanto a apresentação do resultado de medição (Désefant e Priel, 2017). A declaração da incerteza viabiliza que os resultados de medição possam ser comparados, seja entre si ou com valores de referência como manuais do fabricante, a *tasheet* de instrumentação ou certificados de calibração (INMETRO, 2012).

Todavia, apesar da importância da calibração periódica de forma a garantir que os resultados de medição sejam confiáveis, é muito comum em indústrias não adquirirem o certificado de calibração ou não os renovar devido ao seu custo, impactando no controle de qualidade e aumentando o risco de decisões errôneas na busca pela melhoria de processos e

COB-2023-0252

NUMERICAL ANALYSIS OF THE FLOW OVER AN E-VTOL CONCEPT VEHICLE

Gabriel Cicelini
Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78
gabrielcicelini@ufu.br
odenir.almeida@ufu.br

Abstract. Aerial vehicles called *e-VTOL's* (electric vertical take-off and landing vehicles) promise to be the future of urban transport of people and products. Companies from different countries study and develop their own models, always prioritizing energy efficiency and aerodynamics. This work presents a CFD analysis of a conceptual *e-VTOL* based on existing models and/or prototypes. Simulations are implemented using Navier-Stokes equations (RANS) in the Ansys software with the two-equation realizable $k-\epsilon$ and $k-\omega$ turbulence models; the mesh was constructed of tri and tetrahedral elements passing through a refinement process. The computational solution was prepared for a scaled-model, at lower relative air speeds, around 20 meters per second, consistent with the flight of an *e-VTOL*. The similarity of the numerical results with some experimental data is discussed, obtaining a good level of coherence between the data. The investigation of the effects of changes in geometry, as well as the proposal of new designs and concepts, are suggested for future work.

Keywords: *e-VTOL*, CFD, turbulence models simulation, RANS

1. INTRODUCTION

The concept of an aircraft that could take off and land without needing a relatively long runway arouse the attention of those concerned about the urban mobility. The urban transport modal of great megalopolises around the world could take advantage of VTOL (Vertical Take-off and Landing) aircrafts. Since one of the main concerns of the humankind nowadays is the reduction in emissions of pollutants resulting from the burning of fossil fuels, the concept of Electric Vertical Take-Off and Landing aircrafts (*e-VTOLs*), took place as the main goal of several companies and joint ventures. The main idea behind many of these projects is to make air-taxi operations a reality, so they can work in conjunction with current urban transport systems, always prioritizing safety, sustainability, and efficiency.

The development of *e-VTOL* aircrafts is a completely new path to be trodden, and it will present new challenges in addition to those requirements already known by the big companies in the aviation branch. These challenges have been noted by those who search to develop new concept *e-VTOL* aircrafts, like the autonomy of the power supply (batteries), the possibility of autonomous piloting, acoustic footprint, safety issues and how to diminish them, and many others.

Among the designs currently presented by the leading companies in that segment, some are more attractive than others. Figure 1 describes some *e-VTOL* vehicles being pursued by different aircraft's manufactures around the world. Those who present low rotor configuration, for example, convey the feeling that accidents could occur when a passenger tries to get to the cabin. Also, the concepts endowed with conventional wings in addition to the rotors tend to transmit a feeling of trust for offering a glide ratio in case of engine failure, while the projects that present drone configuration do not provide this additional safety feature. According to Stoll et al. (2014), the Distributed Electric Propulsion (DEP) system is another feature that contributes to the overall efficiency of the vehicle, especially when dealing with small aircrafts, like the one proposed by this thesis.

The study of *e-VTOL* concepts and the flow-structure interactions had been mostly conducted in an industrial environment. Therefore, there is a relatively small number of articles regarding this topic. However, as the *e-VTOL* study advances towards a tangible reality, is expected that more analysis will be taking place among the academics and hopefully, it will lead to the emerging of new technologies. With all the variety of designs proposed for *e-VTOL* concepts, the question about which would be the best configuration appears. Bacchini and Cestino (2019) discussed the advantages and disadvantages of all different categories, from the first concepts developed in the fifties and sixties to the present *e-VTOL* configurations. In a more practical analysis, they selected three aircrafts (E-Hang 184, Wisk Cora and Lilium) and estimated several dimensions of each concept through pictures. The data was used to build up information like the total energy required for a considered mission and the drag polar of each aircraft. This study revealed that the best *e-VTOL* configuration depends on the mission, once short-ranged missions are best fitted by multirotor designs due to the better hover performance, while long range missions require more range capability.

The aerodynamic modeling of an *e-VTOL* concept is also a complex process. Simmons and Murphy (2021) recently conducted the implementation of a methodology to develop a high-fidelity aerodynamic model for the Langley

COB-2023-0274

THE DEVELOPMENT OF A DIDACTIC PLATFORM FOR WIND TUNNEL EXPERIMENTS IN APPLIED AERODYNAMICS

Rafael de Rezende Dias
Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78
rafaelre endedias@ufu.br
odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *This work was devoted to design, build, and test a real physic platform for wind tunnel measurements with the main goal of either demonstrating phenomena or validate and verify mathematical theories in Applied Aerodynamics. To provide real-life examples that bring students, especially those in Aeronautical and Mechanical Engineering courses, closer to the phenomena seen in problems that are more related to the daily life of an engineer, this project developed a robust problem based learning (PBL) experimental aerodynamics didactic platform, with the design, construction, instrumentation, qualitative and quantitative analysis of a series of wind tunnel experiments with circular cylinder models (2D), streamlined and non- aerodynamic bodies, and 2D and 3D wing profiles. All the models were built by using additive manufacturing through 3D printing with ABS and PLA. The models have been carefully finished with surface painting and later instrumented by inserting pressure taps, mounting rods and attachment points for aerodynamic balance. A robust series of data was collected and statistically treated in terms of lift and drag coefficients as well as pressure distribution and flow visualization. All gathered data in the wind tunnel tests were compared with theoretical results and similar experimental data available in literature providing very good agreement.*

Keywords: *Wind Tunnel, 3D printed, Airfoil, Experimental aerodynamics*

1. INTRODUCTION

Since the dawn of human flight, experimental aerodynamics played a crucial role in the understanding of the phenomena behind the interaction of the air with solid bodies. Wind tunnels offer a controlled environment in which the experimentalist can either validate the theoretical approach or unfold a new array of hypothesis - Parlo and Pope (2015). In this sense, experimental aerodynamics can play an important role for the education of undergraduate students on mechanical and aeronautical engineering by giving a sense of the data collection process and demonstrating, using real world examples, the application of the theory presented in class - Mason (2010). It is, therefore, crucial for the students enrolled in an experimental aerodynamics course to have access to a well-planned experimental setup, in order to build a solid and incremental knowledge, avoiding unnecessary problems along the way.

This paper presents the process and results of the development of such a setup. Based on existing small scale commercial kits and on the available equipment at Federal University of Uberlandia - Brazil, a series of test subjects was designed to fill the needs of the students and to provide a robust experimental program.

The platform is structured according to the subject sequence of the Applied Aerodynamics course. The goal of each experiment is to demonstrate a key point in each chapter. Beginning by introducing the students to the operation, calibration and data gathering of a wind-tunnel, followed by pressure readings and subsequent pressure coefficient calculations of cylinders, drag force and coefficient of different body shapes and, finally, airfoil (C_L) and thin (C_L) lift, drag and pressure distribution. By the end of the experimental program, the student is expected to have a comprehensive understanding of how the physical phenomena relates to inviscid flow models and how viscosity affects the results.

2 PROBLEM DESCRIPTION'S

2 Wind-Tunnel Calibration

The first experiment consists of a wind-tunnel calibration exercise, where students will have their first contact with the wind-tunnel and are expected to learn the basic operational procedures to conduct aerodynamic experiments safely and efficiently. The goal of this experiment is to produce a wind-tunnel calibration curve, based on the input frequency, Pitot tube velocity indications and pressure-based calculations using Bernoulli's equation for incompressible flow. In these experiments students will also verify the validity of Bernoulli's principle by applying it in a real-world experiment and comparing the resultant speed to the Pitot tube's value. Similar approach is seen in literature through the following works: Doyle (1988), Erm and Macemin (2015) and as described in "Wind Tunnel Calibration Methodology" (Orkin Group, 2008).

COB-2023-0371

REVIEW OF THE TRANSITION PHENOMENA OVER SWEEPED WINGS

Caio Roberto Botter

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78

odenir.almeida@ufu.br

caiorbotter@ mail.com

João Paulo Eguea

Fernando Martini Catalano

Experimental Aerodynamics Laboratory (LAE) – São Carlos School of Engineering (EE C-UP), Av. Trabalhador, 00

joao.e.eguea@usp.br

catalano@usp.br

Abstract. *The drag force is ultimately linked to the aircraft performance, as it is inherited from the interaction between the airflow and the body. For conventional and commercial airplanes, although the wing is an aerodynamic device due to its usually low drag coefficient, if it is compared to other kinds of bodies, it is responsible for a huge portion of the airplane total drag. Since the drag is an effort that opposes the aircraft movement, it will impact the net thrust and the fuel consumption. Thus, it is of utmost desire for researchers and aircraft developers to decrease this aerodynamic force. However, working with the wing shape to reduce its drag has its limitations and other alternatives have been studied in the last years to reduce the drag via passive or active boundary layer control. The boundary layer, depending on the flow conditions and the body characteristics, it can start in a laminar regime and transition to a turbulent one. This matters for the drag study because at the laminar regime the boundary layer is thinner resulting in a less draggy characteristic if compared to the turbulent one. Therefore, methods for predicting and describing this phenomenon have been studied via numeric-computational, wind-tunnel testing and even in-flight approaches. The prediction to turbulence is still not fully comprehended so wind-tunnel testing is primordial to the study of the laminar to turbulence boundary layer transition in wings. Methods can couple the utilization of various techniques to either visualize this phenomenon or even quantify it. For this, infrared thermography, PIV, hot-wire anemometry and other techniques may be applied. Therefore, this article has the intention to provide a bibliographic review on the wind tunnel testing works for identifying the transition to turbulence on wings focusing on swept wings as a function of the Reynolds number and the techniques applied for each study. Some original data is also presented in this work. This article then can be used as a base reference that analyses the acknowledgments of each study and may contribute to future works on the subject.*

Keywords: laminar boundary layer, thermography, turbulence, drag force, swept wing

1. INTRODUCTION

In the flow passing over an aircraft, while the interaction of the wing with the air flow generates the lift necessary for it to remain in the air, there is also the generation of aerodynamic drag that opposes the movement of the aircraft itself.

Both the drag force and the lift depend, in addition to other parameters, on the shape of the wing and its surface finish. Considering the operating flight regime of the aircraft, among the design characteristics of a wing, basically the optimum point is sought between the profile of the cross-section, the sweep angle, the twist of the wing, its tapering, and, of course, its wing span and area to find the ratio that generates the greatest possible aerodynamic performance (generally, greater lift and less drag).

It is therefore known that an extremely thin layer of flow above the wing surface known as the boundary layer (BL) develops. In this region, the fluid starts from a non-slip condition and develops until it reaches the free flow velocity. Also, as the fluid travels across the surface of the wing, from the leading edge to the trailing edge, the boundary layer profile develops and almost always changes its thickness. Depending on the flow regime in terms of the Reynolds number and Mach number to which the wing is subjected, as well as external parameters, such as surface roughness, an angle of attack and wing shape, the boundary layer transitions from the laminar regime for the turbulent, in addition to being able to suffer possible detachment from the body before reaching the trailing edge. In an illustrative way, Figure 1 points out these flow regions over an airfoil.

It is true to say that the detachment of the boundary layer has serious consequences for the operation of the aircraft, since the detachment area greatly affects the aerodynamic efficiency through the reduction of lift and consequent increase in drag due to the formation of a wide wake and intense detachment of vortices.



XVII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIII ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
SÃO PAULO - SP

INFERÊNCIAS PARA A VENTILAÇÃO CRUZADA EM AMBIENTES INTERNOS A PARTIR DA SIMULAÇÃO AERODINÂMICA

Mariana Bittar (1); André Araujo (2); Odenir Almeida (3); Themis Martins (4); Maurício Sousa (5)

(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo, mariana.bittar@ufu.br, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1i, 105, Campus Santa Mônica 38 400 902, Uberlândia, 34 3239 4058

(2) Doutor, Arquiteto e Urbanista andre.araujo@ufu.br, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1i, 105, Campus Santa Mônica 38 400 902, Uberlândia, 34 3239 4058

(3) Doutor, Engenheiro Mecânico, odenir.almeida@ufu.br, Universidade Federal de Uberlândia, Rodovia BR 050, km 78, Campus Glória 38 410 337, Uberlândia, 34 3239 4411

(4) Mestre, Arquiteta e Urbanista themis.martins@ufu.br, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1i, 105, Campus Santa Mônica 38 400 902, Uberlândia, 34 3239 4058

(5) Graduando em Arquitetura e Urbanismo, mauriciodsousa@ufu.br, Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1i, 105, Campus Santa Mônica 38 400 902, Uberlândia, 34 3239 4058

RESUMO

Nos últimos anos, o processo projetual na arquitetura experimentou incrementos significativos decorrentes do projeto computacional, o que permitiu a exploração de alternativas de projeto em tempo real com base na modelagem paramétrica. No projeto do edifício, o entendimento da maioria dos sistemas de medição do contexto da ventilação natural pode direcionar a tomada de decisão a partir das simulações computacionais. Este trabalho apresenta um esforço para determinar o padrão de fluxo da ventilação natural em ambientes internos sob condições específicas, a partir da simulação aerodinâmica no Ansys Fluent® R22 composto por cinco configurações analisadas comparativamente a uma amostra controle. Respeitando as reduções científicas e utilizando diversas soluções de aferição consolidadas na Engenharia Aeronáutica, objetiva-se analisar o padrão do fluxo aerodinâmico em ambientes internos fundamentado a partir do registro de inferências significativas. Verificou-se que o posicionamento diagonal das aberturas acelera substancialmente a velocidade do vento em ambientes internos, fazendo com que essa estratégia de projeto se sobreponha à proposição de mais aberturas quando a intenção é aumentar a velocidade e a renovação do ar interno.

Palavras-chave: Ventilação natural, Ventilação interna. CFD. Arquitetura baseada em simulação.

ABSTRACT

In recent years, the design process in architecture has experienced significant increments arising from computational design, which allowed the exploration of design alternatives in real time based on parametric modeling. In the building's design, understanding most of the measurement systems in the context of natural ventilation could drive the decision-making process from the tests with computational simulations. This paper attempts to determine the flow pattern of natural ventilation in indoor environments under specific conditions from the CFD Ansys Fluent® R22 comprising five configurations analyzed comparatively to a control sample. Respecting the scientific reductions and using computational techniques for measurement from Aeronautics, satisfactory inferences were registered. We concluded that the diagonal positioning of the openings substantially accelerates the wind speed in indoor environments. This design strategy overrides the proposition of more openings when the intention is to increase the speed and renewal of indoor air.

Keywords: Natural ventilation. Indoor ventilation. CFD. Simulation-Based Architectural Design

1. INTRODUÇÃO

CONEM2024-0566

AEROACOUSTIC MEASUREMENTS OF UNCONVENTIONAL UAV'S PROPELLERS

Odenir de Almeida, odenir.almeida@ufu.br¹
Evelyn Natalie Aguiar de Almeida, evelyn.almeida@ufu.br¹
Fernando Martini Catalano, catalano@eesc.usp.br²

¹Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Federal University of Uberlândia, BR 050 Km 78 – Campus Gloria, Uberlândia – MG

¹Experimental Aerodynamics Laboratory (LAE), São Carlos School of Engineering, Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Campus I, São Carlos - SP

Abstract: *The present study aims to evaluate the aerodynamic noise of unconventional propellers of unmanned aerial vehicles (drones). To test these concepts of propellers, an experimental test bench was proposed and by using a high-definition microphone for acoustic data acquisition it was possible to measure the different pressure levels. Through a code in Matlab the data has been interpreted and plotted as an A-weighting SPL, overall sound pressure level (OASPL) as function of distance and acoustic signature profiles to identify a possible noise reduction. All data were registered and compared with a conventional propeller design as a basis of comparison and to verify the benefits and drawbacks of each propeller assembly. Results indicated potential noise reduction at lower frequencies shedding light to future concepts that could help to mitigate noise levels in multirotor drones.*

Keywords: *unconventional propeller, aeroacoustics, data acquisition, noise reduction, SPL*

1. INTRODUCTION

Due to the large spreading of UAV's (unmanned aerial vehicle's) applications in the aerospace market, drone noise research is becoming imperative mainly driven by environmental preservation, urban quality of life, regulatory adherence, public perception, safety protocols, operational efficiency, and technological progression – Krishnamurthy (2021).

One of the main noise sources in a drone is the rotating propeller blades and its interaction with the surrounding air and interactions with the drone's structural components like the fuselage and wings. According to acoustic analogy theory, Ffowcs Williams & Halkings (1969), it is known that the propeller noise can be classified as thickness noise (noise generated by variations or irregularities in the thickness of a propeller blade as it rotates through the air), loading noise (noise generated by the interaction of a propeller blade with the surrounding fluid medium through its aerodynamic forces, creating regions of higher and lower pressure), and quadrupole noise (noise generated due to variations in pressure and flow velocity induced by the propeller's rotation, particularly in the vicinity of the propeller tips).

It is also important to emphasize that other noise sources are also present in drones such as motor noise, stemming from mechanical vibrations and electromagnetic forces within the motors powering the propellers, rotor hub noise, which may result from aerodynamic inefficiencies or mechanical vibrations at the propeller hub; electronic component noise, including electromagnetic interference from onboard equipment like ESC's (Electronic Speed Control) and flight controllers; and payload noise, albeit typically minor, emitted by additional equipment such as cameras or sensors.

By understanding propeller noise sources and propagation, engineers can develop quieter propulsion systems, reducing the environmental impact and community disturbance caused by drone operations. According to Candeloro *et al.* (2022), propeller noise is crucial for drone design as it affects mission success, and optimizing the propulsive system and its interaction with the airframe is the key for noise suppression.

In a drone's propulsion system the most common types of propellers used encompass fixed-pitch propellers, which offer simplicity and cost-effectiveness; variable-pitch propellers, allowing for dynamic adjustment of blade angle to optimize performance; folding propellers, which facilitate compact storage and transportation; counter-rotating propellers, enhancing stability and maneuverability through opposing rotations; and pusher propellers, positioned behind the drone's body to increase payload clearance and minimize propeller damage. Figure 1 illustrates a large drone with a pusher propeller configuration:

CONEM2024-0162
CHARACTERIZATION OF SPRAY PATTERNS IN RPAS SPRAYING SYSTEMS

Pedro Antônio Borges Madureira, Pedro.madureira@ufu.br¹

Odenir de Almeida, odenir.almeida@ufu.br¹

João Paulo Eguea, joao.eguea@usp.br²

¹Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Federal University of Uberlândia, BR 050 Km 78 – Campus Gloria, Uberlândia – MG

²Experimental Aerodynamics Laboratory (LAE), São Carlos School of Engineering, Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Campus I, São Carlos - SP

Abstract: In recent years, precise spraying operations using Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), also called drones, are growing in food-producing countries. The main objective of the research activity reported in this paper is to characterize the pattern of drops and/or spray in spraying with RPASs under different wind conditions. Since the influence of wind on the distribution of droplets and deposition of defenses in plants is little explored in real laboratories and scenarios and lack of knowledge can result in inefficient applications, defusing areas or causing environmental pollution. The research will be entirely experimental making use of wind tunnel and assembly of an autonomous and fixed spraying system along with a visualization system for the characterization of the drop pattern (spray). The experimental setup utilizes a fixed spraying system and a photo/filming configuration to quantify the influence of the wind, wind generated by a wind tunnel, on the drops pattern (spray). High-quality images of the drops are post-processed through a Python-code to calculate important parameters such as spray opening angle, deposition area, quantity of drops per square meter. The results are very satisfactory when compared to other more expensive techniques, showing good repeatability and characterization of drops patterns for application in RPAS spraying systems.

Keywords: RPAS, Spray Systems, Drop Pattern, Python, Wind Tunnel.

1. INTRODUCTION

The challenge of addressing previously perceived difficult and costly problems is a driving force behind many innovations in various industries, including agriculture. In the context of agricultural dispersant waste management, whether stemming from drift or inefficient application, the emergence of solutions like the RPAS (Remote Piloted Aircraft System for Spraying) signifies a tangible advancement in the market – Fig.1. The RPAS system offers several advantages over traditional spraying methods, including increased efficiency, reduced labor costs, and the ability to access difficult or hazardous terrain. By using drones, farmers can precisely target specific areas of their fields, minimize chemical wastage, and reduce environmental impact by avoiding excessive application. However, optimizing the efficacy of such solutions requires a deeper understanding through informed applications of knowledge.

Research, as highlighted by Chen *et al.* (2019), underscores the detrimental effects of drift-sensitive droplets during the spraying process, including damage to off-target crops, diminished pesticide effectiveness, and environmental contamination such as water pollution and illegal pesticide residues. To mitigate these challenges, extensive studies are underway to analyze spray drift and its influencing variables. Notably, wind tunnel experiments, as endorsed by Ling *et al.* (2018) and Grant *et al.* (2022), offer controlled environments for comparative analysis, particularly regarding variations in spray deposition data collection methods and wind speed control.

Moreover, the size of dispersant particles assumes critical importance, especially with the increasing utilization of drones in precision agriculture. Techniques like the petri dish and water-sensitive paper method, as advocated by Souza *et al.* (2022), facilitate the analysis of dispersant properties. Additionally, methodologies such as visual processing for spray cone characterization, as proposed by Zhang *et al.* (1994), Bloise *et al.* (2021) and Rosignoli and Postrioti (2021), enhance the isolation of influential parameters governing spray deposition and drift, which are often challenging to discern in field tests.

ENC-2024-0333

BIOINSPIRED AERODYNAMICS APPLIED IN ELECTRICAL MOTORCYCLE RACING COMPETITION

Lohanna Ferreira Paiva

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78, Campus Gloria

lohanna@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *In the fiercely competitive world of motorcycle racing, aerodynamics is paramount for team success, where every time lapse counts. From elite competitions like MotoGP, Moto2, and Moto3, showcasing top riders globally, to grassroots ventures like Motostudent in Aragon, Spain, the pursuit of superior aerodynamics is unyielding. Motostudent, held biannually, epitomizes this relentless drive. Participating students at Motostudent are tasked with designing, developing, and constructing a fully functional racing motorcycle prototype, demonstrating their academic and engineering prowess. Their creations undergo rigorous evaluation at the MotorLand Aragon FIM Circuit under real-world racing conditions. In a recent study, Brazilian students from the Federal University of Uberlandia innovated by drawing inspiration from nature, specifically the body shape of the Brazilian free-tailed bat, *Tadarida brasiliensis*, the fastest animal in the world. Utilizing computational tools like Ansys® and wind tunnel visualization tests with the Path Line Visualization, the research aims to analyze airflow patterns around the bioinspired fairing, enhancing speed and maneuverability on the track. This analysis aids in understanding the aerodynamic behavior, facilitating future design optimizations to reduce drag and increase downforce, thus improving overall performance. In conclusion, this research underscores the scarcity of motorcycle aerodynamic analyses and emphasizes their pivotal role in competitive racing. It highlights the significance of such analyses in enriching engineering students' knowledge and fostering innovation in motorcycle design.*

Keywords: *Bioinspiration; Motorcycle; Aerodynamics Optimization, Wind tunnel, CFD*

1. INTRODUCTION

Motorcycle racing, including prestigious events like MotoGP, Moto2, and Moto3, is a highly competitive and thrilling domain that captivates audiences globally. MotoGP, known as the Motorcycle Grand Prix, is recognized as the premier class of motorcycle road racing, featuring intense competitions held on road circuits spanning distances between 100 and 130 kilometers (Roi, 2024). This elite championship attracts top riders and teams, pushing the boundaries of speed, skill, and technology in the quest for victory.

In parallel, the Motostudent competition represents a unique challenge within motorcycle racing. Unlike the professional leagues of MotoGP, Motostudent focuses on ground vehicles and serves as a platform for engineering innovation and education (Baldissera and Delprete, 2014). Like competitions such as the SAE Formula, Shell Eco Marathon, and Solar Challenge, Motostudent emphasizes performance, fuel efficiency, and design, reflecting the diverse aims of these events and the broader engineering landscape.

Sponsorship plays a pivotal role in the success and visibility of MotoGP, influencing public purchase behavior and enhancing the event's reputation. The support from sponsors in MotoGP drives the sport's popularity and shapes consumer perceptions and behaviors, particularly evident in regions like Indonesia (Ramadhan and Kusumawati, 2021). The strategic partnerships and promotional activities associated with MotoGP contribute significantly to its widespread appeal and commercial success.

Moreover, aerodynamic advancements have become a key focus in the evolution of MotoGP motorcycles. The integration of aerodynamic appendages and the meticulous study of their performance have witnessed a notable surge in recent years, underscoring the importance of aerodynamics in enhancing speed, stability, and overall racing performance (González-Arcos, 2023). This emphasis on aerodynamic research and development highlights the relentless pursuit of technological innovation and competitive advantage in the dynamic world of motorcycle racing.

Aerodynamics is fundamental in motorsports, significantly impacting the performance and competitiveness of racing vehicles. Applying aerodynamic principles, especially in high-speed racing categories like Formula 1, MotoGP, and other racing series, is crucial for achieving optimal speed, stability, and cornering capabilities (Slaughter et al., 2022).

ENC-2024-0019

DESIGN, MANUFACTURE, AND TESTING OF A STATIC AND DYNAMIC BENCH FOR THRUST DETERMINATION OF UAV'S BRUSHLESS ENGINES

Fillipi Augusto Fernandes Rizzi

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78, Camp s loria

fillipi.rizzi@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Iur Marinho Silva

Vinicius Faria de Souza

Roberto Mendes Finzi Neto

Thrust Laboratory (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Av. Ocoaves de Ávila, Camp s ta onica

iurmarinho@ufu.br

vinicius.souza@ufu.br

finzi@ufu.br

Abstract. The thrust produced by UAV engines is a primordial parameter for determining its operational performance, according to the practical activities of these vehicles. Thus, this work aims to design, manufacture, and test an experimental test bench that allows static and dynamic tests that will be carried out with the support of a low subsonic wind tunnel. Details of the design process, construction, and validation will be explored in this work. The test bench allows digital measurement and post-processing of the thrust produced by an engine-propeller unit such as a BLDC motor with 540 kv and a propeller with 19 inches of diameter attached to it. The thrust measurement is performed with an interchangeable load cell installed for data collection, making it possible to measure up to 10 kg of load within the structural scope of the bench. From that, the results obtained by the preliminary thrust tests are compared with the engine technical datasheet and data available in the literature. Finally, this study becomes relevant for the UAV industry and academic research due to its versatility of measurement for different sizes of brushless motors and propellers, which is important for selecting the most efficient one for any specific required practical application.

Keywords: test-bench, brushless motor, UAV, thrust determination, wind tunnel

1 INTRODUCTION

The aeronautic industry has stood out in the global market searching for new projects of aerial vehicles, engines, and aeronautical structural materials to develop lighter, longer lasting, and less polluting aeronautical components. A few decades ago, the idea of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) appeared as a useful tool that served the armed forces of various countries as aircraft for security, surveillance, and defense, driven by internal combustion engines. With the emergence of brushless electric motors, the UAVs have also become helpful in serving civil applications in competition model aircraft, in sports logistics, in the world of astronomy in the mapping of rural areas, irrigation, and crop protection, among other applications.

One of the main challenges for electrical UAVs is to develop batteries that provide the engine system with a useful range and time of operation. Also, further investment is devoted to designing more efficient propellers with high propulsive efficiency while keeping noise levels under control. All these parameters are interconnected and are crucial for the design of such aerial vehicles. In this context, new electric engines and propellers have been produced and tested, searching to increase their performance to compensate for the limited energy supply, as a better alternative.

Moreover, it is also important to emphasize that the success arising from the brushless DC motors (BLDC motors) development is mainly due to the electronic controller emergence, named Electronic Speed Controller (ESC), that contributed to better reliability and maximum rotation speed than engines produced. The industry extended the use of BLDC motors and ESCs in UAV projects, allowing different combinations with many types of propellers attached to the engines. In fact, errors often provide inaccurate and limited specifications that frequently make it difficult to predict the

ENC-2024-0072

EXPERIMENTAL MEASUREMENTS OF A UAV PROPELLER WAKE

Pâmela Cristyne da Silva Martins

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78

pamela.martins@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) rely heavily on propeller efficiency and stability, which vary depending on design. Propeller effectiveness is intimately linked to the flow characteristics of their wakes. This article aims to establish an experimental setup for analyzing various propeller designs utilized in UAVs, focusing on their speed profiles and wake flow patterns. The experimental bench will employ a hot-wire anemometer arrangement to map the wake generated by different types of propellers. Specifically, the vertical velocity field behind the wake will be meticulously measured. The study will standardize the rotation speed at 4500 rpm for consistency across experiments. By gathering these measurements, the propeller thrust, and efficiency can be thoroughly assessed. The analysis will provide valuable insights into the aerodynamic performance of different propeller designs, shedding light on their efficiency and stability characteristics. These findings are crucial for optimizing UAV performance and maneuverability in various applications. The results gathered so far are very consistent and allow to characterize the propeller's wake and correlate with efficiency.*

Keywords: *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Propeller Wake, Experimental Bench, Hot-wire Anemometer, Aerodynamic Efficiency*

INTRODUCTION

Interest in research on propeller-driven Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) has increased over the years in proportion to the expansion of their use in civil and military applications. UAVs have been widely used in recent years in plant protection operations, remote sensing, medical and healthcare sectors, military reconnaissance, express logistics, emergency rescue, environmental management, mining operations, infrastructure development, and other fields (Liu *et al.*, 2020). It is more common to use propellers mounted on the main tips of drones, as this increases the aircraft's efficiency. This strategic positioning of the propellers helps to reduce the drag induced by the main tips, attenuating the vortex at the main tips caused by the propeller swirl (Linné and Arnheim, 2008). It is also possible to state that new UAV concepts can still open new markets and opportunities for use in diverse and yet unidentified operations.

Different propeller designs, as well as their positioning concerning the drone structure, present variable efficiency, and stability. This will depend on the operating environment and specific objectives, such as the payload, for example. For this reason, research is needed to evaluate the effectiveness of each one. Methods for studying propeller performance have been developed over time. The first developments regarding propeller theory were carried out in 1855 by Rankine

Froude, a study that became known as actuator disc theory or momentum theory (Rankine, 1855). As early as 1880, Dr. Prandtl presented a theory that considered here the blade elements were treated individually, as support surfaces moving helically, without considering the induced speed of the propeller itself, this theory became known as the blade element theory (Blade Element Theory) (Prandtl, 1880). Over the last few decades, variations, and improvements to these classic methods (Prandtl, 1880), Goldstein (1930), and Theodorsen (1928) methods are found in the literature, including becoming tools for academic and technical use, such as PROP and XFLR5 from Dr. Drela (2000) and Garrabee and French (1980), respectively.

Currently, to carry out efficiency analysis, it is common to carry out experimental tests using Pitot tubes and/or hot wire anemometers to scan the propeller wake. However, it is known that the problem itself is affected by many variables, such as dependence on the shape of the propeller, the precision of the instruments, and the controlled test conditions (rotation speed, temperature, ambient pressure, etc.), operational Reynolds number and even the effect of the turbulence of the flow that reaches the plane of rotation of the propellers. Due to the presence of all these influencing factors, the

ENC-2024-0144

FLOW ANALYSIS OVER A HIGHLY CAMBERED AIRFOIL AT LOW REYNOLDS

Thales Feitosa Ferreira
Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78
thales.ferreira@ufu.br
odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *Micro Air Vehicles (MAVs), such as fixed-wing aircraft and propeller-driven drones, are increasingly gaining prominence in various industries. These small-scale vehicles find applications in cargo transportation, agricultural spraying, video monitoring, and aerial photography. However, their development presents unique engineering challenges, particularly related to aerodynamics. When comparing micro vehicles to existing general aviation aircraft (GA), a significant difference lies in the Reynolds number at which they operate. While conventional aviation deals with much higher Reynolds numbers, micro vehicles operate in a regime where this number is significantly lower. This discrepancy impacts their aerodynamics, necessitating the use of more cambered airfoils. These airfoils generate greater lift forces at lower speeds but are also more susceptible to viscous effects due to the lower Reynolds number which reduces aerodynamic efficiency. In this context, this work aims to study experimentally and numerically the flow over a proprietary design of a highly cambered airfoil operating in a low Reynolds number regime ($2,7 \times 10^5$). The combination of computational fluid dynamics (CFD) and experimental analysis through wind tunnel, provided results and insights into the aerodynamic efficiency of the profile and accurately detailed the flow pattern. These findings contribute to the design approaches for micro air vehicles.*

Keywords: *Micro Air Vehicles, Cambered Airfoil, Wind Tunnel, CFD, Low Reynolds*

1. INTRODUCTION

The use of highly cambered wings is associated with the demand for a lot of lift, generally associated with projects whose area or speed are limiting, restricting the generation of lift, such as micro aerial vehicles (MAVs) and drones (UAVs). Such vehicles perform several important functions such as agricultural spraying, freight and passenger transport, video monitoring, aerial photography, etc. All of these operating in Reynolds number (Re) ranges much lower than conventional aviation. In this context, operation under a low Reynolds number regime (less than 5×10^5) is linked to the great influence of viscous forces on aerodynamic behavior, directly impacting the efficiency of the wing, especially when it comes to cambered wings and the separation of the flow due to the low energy present in the flow. As discussed by Kay *et al.* (2020), the Reynolds number range for small fixed-wing UAVs lies between 50,000 and 250,000.

Several key phenomena significantly influence aerodynamic performance in low Reynolds number flows around highly cambered airfoils. The flow tends to have a laminar boundary layer, which may transition to turbulence due to disturbances or adverse pressure gradients, leading to separation bubbles that increase drag and reduce lift. These airfoils are highly sensitive to changes in the angle of attack, which can cause rapid variations in lift and drag due to flow separation. The dominance of viscous forces and reduced flow momentum increase the likelihood of separation and recirculation regions, especially around the trailing edge, contributing to wake formation and vortex shedding (Kay *et al.* (2020)). These effects result in unsteady flow behavior, impacting stability, control, and aerodynamic efficiency, particularly in applications such as micro air vehicles.

Selig and Guglielmo (1997) noticed the trend of using cambered wings to achieve increased lift, and consequently load capacity, reduction of runway length and stall speed, and began research related to hyperlift airfoils applied to low Reynolds flows using the wind tunnel. Over time, research has evolved, using computational fluid dynamics (CFD) and highlighted the capacity of these profiles in producing lift and applications in this operating range, for instance, Winslow *et al.* (2018) where the high lift linked to profiles with high camber lines stood out, but were penalized by a large drag force produced, especially at lower Reynolds values. However, although there have been many studies, these are limited to the characterization of the S1223 profile, arched NACA airfoils, and curved plate, (Selig and Guglielmo (1997), Ayvazoğlu *et al.* (2024), Kay *et al.* (2020), Winslow *et al.* (2018)) being lacking in the application of airfoils with higher camber lines (above 6%).

Unlike laminar, symmetrical and slightly arched profiles, the flow on highly arched airfoils detaches easily at interme-

ENC-2024-0334

OPTIMIZING WIND TURBINE EFFICIENCY: INSIGHTS FROM COMPUTATIONAL AERODYNAMICS

Lohanna Ferreira Paiva

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78, Campus Gloria

Lohanna@ufu.br

Odenir.almeida@ufu.br

Abstract. In the wake of escalating environmental concerns, maximizing horizontal wind turbine blade efficiency is pivotal in advancing green energy initiatives. Research in wind turbines, mainly small-scale wind turbines, has become increasingly important in the quest for sustainable energy solutions. This study investigates the performance attributes of a conventional blade design employing SG6043 airfoils under varying wind speeds and rotational velocities, using the Moving Reference Frame (MRF) model and QBlade® to validate data. Additionally, this research served as a reference for a subsequent study on blade optimization through biomimetics, wherein a zero-degree angle of attack was established to understand the biomimetic behavior of the blade.

Keywords: Wind turbine; SG6043; Aerodynamic Optimization; CFD; Biomimetics.

1. INTRODUCTION

Wind energy has become a significant component of the global renewable energy mix, providing a sustainable alternative to traditional fossil fuel-based power generation. Wind turbines have emerged as a prominent power source worldwide (Bortolini *et al.*, 2014). Among these, small wind turbines, typically those with an output power of less than 50 kW, play a crucial role in decentralized energy generation, especially in areas with limited grid connectivity (Khalil *et al.*, 2020). Unlike large-scale wind farms in areas with optimal wind conditions, small wind turbines are strategically positioned closer to the power consumption point, such as residential areas or buildings (Makkawi *et al.*, 2009).

The utilization of small wind turbines has expanded to include innovative locations like rooftops, where wind flow can be effectively harnessed (Bertens *et al.*, 2000). Studies have demonstrated that small wind turbines can be integrated into urban environments, offering a local source of renewable energy easily accessible to consumers (Takahashi *et al.*, 2009). Advancements in airfoil design and aerodynamics have enhanced the performance of small horizontal-axis wind turbines, improving their efficiency and power output (Giguère and Selig, 1998). Furthermore, developing technologies such as variable-speed control and pitch control systems have enabled small wind turbines to operate more effectively across various wind speeds, maximizing their energy capture potential (Vidal *et al.*, 2012; Pozo *et al.*, 2013).

The aerodynamics of small wind turbines are crucial for determining their efficiency and performance. The choice of airfoil, the blade's cross-sectional shape, is a critical factor in optimizing the aerodynamic characteristics of small wind turbines (Giguère and Selig, 1998; Karthikeyan *et al.*, 2015). Studies have shown that selecting the appropriate airfoil profile can significantly enhance the aerodynamic performance of small wind turbine blades, leading to improved energy capture and power generation (Lin and Xing, 2022; Shah *et al.*, 2014).

Advancements in Computational Fluid Dynamics (CFD) have significantly enhanced the analysis and optimization of small wind turbines. By enabling detailed simulations of aerodynamic performance with various airfoil designs (Dhert *et al.*, 2016; Mohamed *et al.*, 2015; Moon *et al.*, 2021), CFD techniques provide insights into how airfoil shapes impact lift, drag, and overall efficiency (Leishman, 2002). Through CFD simulations, engineers can evaluate aerodynamic characteristics induced by different airfoil profiles, leading to the development of more efficient small wind turbine systems (Chan *et al.*, 2020).

The SG6043 airfoil, developed by Selig and Giguère specifically for small variable-speed wind turbines, has been identified as optimal for these applications. Studies have shown that the SG6043 airfoil demonstrates enhanced lift-to-drag ratio performance compared to existing airfoils at a Reynolds number of 300,000 (Shin and Kim, 2020). This airfoil has been extensively analyzed and optimized using CFD simulations, providing valuable insights into its behavior under different operating conditions and contributing to designing efficient small horizontal-axis wind turbine rotors (Chaudhary and Subramanian, 2019).

The concept of a Moving Reference Frame (MRF) is crucial in analyzing and optimizing wind turbine aerodynamics in the context of airfoil design and performance evaluation. In the field of wind energy, a MRF is a computational tool

ENC-2024-0394

UAV PROPELLER PERFORMANCE PREDICTION THROUGH COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

José Maurício Passos Vieira

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlandia (UFU), Rod 050 Km 78

jose.passos@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *Worldwide, there's a notable increase in the industry of drones and Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). Despite the growth and advancement in this field, numerous engineering challenges persist, particularly in relation to the design and operation of these vehicles. A crucial yet complex challenge lies in accurately predicting the thrust of the propellers, a key parameter in the performance and control of such vehicles. This paper provides an in-depth focus on this issue, specifically predicting the thrust and torque of a commercial propeller (APC 10X7E). The study employs the MRF (Moving Reference Frame) approach, a widely used method in computational fluid dynamics (CFD) for simplifying the problems associated with moving boundary problems. The study applies the MRF approach across a range of RPM conditions, using Ansys Fluent, a comprehensive tool for computational fluid dynamics. The findings from this study are then compared with experimental data to validate the predictions and test the limits and drawbacks of the MRF approach. The objective is to evaluate its effectiveness and reliability in predicting propeller performance. These insights significantly contribute to the ongoing efforts to improve the design and operation of drones and small UAVs, leading to enhanced performance and control.*

Keywords: UAV, Propeller, CFD, MRF, Performance

1. INTRODUCTION

In recent years, the aeronautical industry has witnessed a remarkable surge in the development and deployment of unmanned aerial vehicles (UAVs). These versatile platforms are revolutionizing various sectors, including agriculture, surveillance, logistics, and military (Cai *et al.*, 2014), by providing cost-effective, efficient, and flexible solutions for tasks traditionally performed by manned aircraft. The proliferation of UAV technology is driven by advancements in materials science, propulsion systems and computational methods, which collectively enhance the performance, endurance, and reliability of these vehicles.

Central to the performance of UAVs is the efficiency of their propulsion systems, particularly the propellers, which directly influence thrust, fuel consumption, and overall aerodynamic efficiency. Understanding and optimizing propeller performance is therefore crucial for improving UAV capabilities. Traditionally, propeller performance has been evaluated through experimental testing and using the Blade Element Momentum Theory (BEMT) – Rwigema (2010), among its variations to include wake influence and propeller tip losses. However, these approaches can be either time-consuming, costly, or limited in their ability to capture the complex aerodynamic phenomena involved.

The advent of computational fluid dynamics (CFD) has revolutionized the analysis and optimization of aerodynamic components. By leveraging advanced numerical techniques and high-performance computing, CFD provides a powerful tool for simulating fluid flow and predicting the performance of various aerodynamic configurations with high accuracy (Baysal and Eleshaky, 1991).

Among the numerous CFD methods, the Multiple Reference Frame (MRF) approach has gained prominence for its ability to model rotating systems, such as propellers, in a steady-state approach (Shan *et al.*, 2015). However, while MRF is a useful technique, especially for its simplicity and reduced computational cost, it has also several limitations and drawbacks when applied to aircraft propellers. One of the most important limitations of the MRF approach is its inability to accurately capture transient and unsteady aerodynamic effects (Prakash *et al.*, 2014). On the other hand, the MRF has its advantages such as reduced computational cost, simplification of modeling rotational components, well-suited for applications where the steady state is prominent, and very useful for preliminary design assessments and parametric studies.

In the literature, some other authors have also applied the MRF to aircraft propeller's analyses. Xiran *et al.* (2023) presented comparison studies on aerodynamic performances of a rotating propeller for small-size UAVs. High fidelity CFD computations with MRF have been used to assess BEMT achieving 5% error on thrust and power coefficients when compared to experimental data. A similar approach has been conducted by Loureiro *et al.* (2021) for evaluating a low

ENC-2024-0629

WIND INFLUENCE ON SPRAY PATTERNS FROM RPA'S SPRAYING IN AGRICULTURAL SETTINGS

Pedro Antônio Borges Madureira

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO), Federal University of Uberlandia, BR 050 Km 78 – Campus Gloria,
Uberlândia – MG

pedro.madureira@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

João Paulo Arantes Rodrigues da Cunha

Institute of Agricultural Sciences (ICIAG), Federal University of Uberlandia, BR 050 Km 78 – Campus Gloria, Uberlândia – MG

jpgcunha@ufu.br

João Paulo Eguea

Experimental Aerodynamics Laboratory (LAE), São Carlos School of Engineering, Av. Trabalhador São Carlense, 400 – Campus I,
São Carlos - SP

Joao.eguea@usp.br

Abstract. *In recent years, there has been a rise in the utilization of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS), commonly known as drones, for precise spraying operations in agricultural settings. The focus of the research activity reported in this paper is to mathematically characterize the pattern of droplets in the spray patterns during RPAS spraying operation across varying wind conditions. Since the limited exploration of wind's influence on distribution of droplets for the deposition of defenses in plants at controlled conditions and scenarios in laboratory, there is a lack of knowledge in this field that can result in ineffective applications and environmental pollution. The research is entirely experimental, making use of an assembly of an autonomous and fixed spraying system and of a wind tunnel as well as a visualization system and a specifically developed image analysis software for the characterization of the drop patterns (spray). For the research a spraying system is fixed and utilizing photo/filming systems of the droplet pattern is measured under the influence of wind generated by a wind tunnel by characterizing the drop pattern both qualitatively through images/video as well as quantitatively by the image analysis software measuring important parameters such as quantity of drops per square meter and deposition area.*

Keywords: *Spray pattern, RPAS, Wind Tunnel, Python, spray systems*

1. INTRODUCTION

In recent times, the agricultural sector faces an increasing responsibility due to global demographic growth and the substantial rise in food production demands and addressing previously perceived difficult and costly problems becomes increasingly important. As such, the concept of precision agriculture (PA) thru Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) comes to the forefront in the solution of problems of like dispersant waste management, whether stemming from drift or inefficient application, since the use of RPAS promote precisely target applications of dispersant according to the necessities of the cultivation possess.

Once this problem affects the agricultural sector in many aspects, causing environmental deregulation by affecting other areas reached by the drift or the pesticide, reducing effective volume of product used for a specific application and, requiring increased purchased by the agricultural industry, impacting in the cost of the cultivation. Or even, as pointed out by (Chen *et al.*, 2020), promoting excessive spraying of pesticides can seriously pollute the ecological environment and threaten food and human safety. Their combat is shown to be of great importance.

Even though aerial spray operations have been implemented for three decades, starting in some Asian countries, and spreading worldwide, a crucial challenge has always been, in accordance with (Ruiz *et al.*, 2022), the drift problem, reducing the efficiency of that solution and sustaining the risk and necessity in careful assessment in use of pesticide processes.

Thus, optimizing the efficacy of this solution requires a deeper understanding of the drift in spray particles and its influencing variables. As such the academic approach endorsed by (Wang *et al.*, 2020b) and (Grant *et al.*, 2022), consists

COB-2025-1205

COMPUTATIONAL MODELING AND ADDITIVE MANUFACTURING OF UAV PROPELLERS: DESIGN, VALIDATION, AND EXPERIMENTAL ANALYSIS

Fillipi Augusto Fernandes Rizzi

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlândia (UFU), Rod 050 Km 78, Campus Glória

fillipi.rizzi@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *The advancement of additive manufacturing has significantly impacted the development of UAV propellers, addressing the growing demands in agriculture, military, and civil applications. Additive manufacturing allows for rapid prototyping and production of complex geometries, enhancing design flexibility and customization. In this context, a computational procedure was developed to facilitate the CAD modeling of UAV propellers, enabling both the creation of novel designs and the accurate replication of existing models. This methodology streamlines the design-to-production pipeline and supports iterative optimization for improved aerodynamic performance. As a case study, the widely used APC 10x7E propeller model was digitally reconstructed using the developed computational framework. To validate the accuracy and feasibility of the process, experimental thrust tests were conducted on the recreated propeller. These tests were performed using an experimental bench setup, allowing for the comparison of measured performance with existing reference data. The results confirm that the computational algorithms used for propeller modeling effectively capture the essential geometric and aerodynamic characteristics necessary for high-fidelity reproduction. The findings of this study demonstrate the potential of computationally driven propeller design in combination with additive manufacturing for UAV applications. The use of 3D printing offers practical benefits such as reduced manufacturing time and cost while maintaining satisfactory aerodynamic efficiency. Moreover, the validated propeller models can provide a solid foundation for future UAV projects while enabling further performance optimization through iterative testing and in-flight assessments. By integrating computational modeling with experimental validation, this research highlights the practicality of additive manufacturing for UAV propeller production. The proposed methodology provides a valuable tool for engineers seeking to develop high-performance UAV propulsion systems with greater adaptability to specific operational requirements. Future work will focus on expanding the database of validated propeller models, refining computational algorithms for enhanced precision, and conducting flight tests to further assess real-world performance.*

Keywords: *UAV propeller, additive manufacturing, computational modeling, aerodynamic validation, experimental testing.*

1. INTRODUCTION

The emergence of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV), contributed to new research extension in the aeronautical world. That new mode of transport is a direct competitor of airplanes and helicopters, while serving army forces and people in various actuation areas such as agronomy, trading, photography, and soon, in passenger transport. Current trends in the UAV's market consist in studying the best configuration between structure, engines and payload in a project that allows efficient and safe flights. New materials and manufacturing techniques have been developed to make up this market, for example, composite materials and additive manufacturing. Electric motors have gained prominence in recent years due to the growing demand for sustainable, efficient, and quiet solutions. In this context, the development of more powerful and longer lasting batteries is the main challenge in the industrial environment today, during the time that the propulsion system can be studied to deliver more efficient propulsive force to an aircraft.

The propulsion system of most current UAV's consists of motors and propellers, where the motors generate power to rotate the propellers. A propeller is the component that converts the motor's mechanical energy into propulsion and lift force for the vehicle due to the interaction between the air with the blades. Its geometry consists of different sections combinations along the radius, with some parameters changing such as the airfoil type, chord, twist angle, maximum thickness and thickness ratio. The chord is the distance from the leading to the trailing edge, twist is the change in angle of incidence along the span, maximum thickness is the largest vertical distance between the upper and lower surfaces, and thickness ratio is the ratio between maximum thickness and chord. In an aircraft design project, propellers are usually manufactured by specialized companies, which are not necessarily the same as those designed by the aircraft's manufacturer. In this case, the company designing the aircraft specifies the performance requirements for the propeller,

COB-2025-0581
**NUMERICAL INVESTIGATION OF NATURAL
LAMINAR-TO-TURBULENT TRANSITION ON A STRAIGHT WING AT
LOW REYNOLDS NUMBERS**

Lucas Sousa de Vasconcellos

Odenir de Almeida

Experimental Aerodynamics Research Center (CPAERO) - Federal University of Uberlândia (UFU), Rod 050 Km 78, Campus Gloria
sousa.vasconcellos@ufu.br

odenir.almeida@ufu.br

Abstract. *The laminar-to-turbulent transition plays a crucial role in the aerodynamic performance of low Reynolds number wings, directly influencing drag, lift, and flow stability. This phenomenon is particularly important in the design and optimization of low Reynolds number aerodynamic surfaces, such as unmanned aerial vehicles (UAVs), high-altitude long-endurance (HALE) aircraft, gliders, and micro air vehicles (MAVs). A better understanding of transition mechanisms is essential for improving aerodynamic efficiency and predicting flow behavior under varying operating conditions. This study numerically investigates the transition process on a straight wing at low Reynolds numbers, focusing on boundary-layer instability mechanisms and transition onset. Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations are performed using transition-sensitive turbulence models, including the $k-\omega$ SST transition models and the $\gamma-Re_\theta$ transition model, to accurately capture the effects of pressure gradients, surface curvature, and flow development. A detailed analysis is conducted on the influence of mesh resolution (boundary layer discretization), turbulence model parameters, and angle of attack (AoA) on transition location, aerodynamic coefficients, and overall flow characteristics. Special attention is given to ensuring numerical accuracy through validation against experimental data and linear stability theory (LST), particularly the e^N method. This validation ensures that the computational approach reliably predicts transition behavior and flow development in low Reynolds number regimes. The findings from this research contribute to an improved understanding of laminar-to-turbulent transition phenomena, leading to more accurate predictive models for aerodynamic design. By refining turbulence modeling techniques and improving transition prediction capabilities, this study provides a foundation for enhanced aerodynamic efficiency and performance optimization in low Reynolds number flight applications.*

Keywords: *Transition, Boundary Layer, Computational Fluids Dynamics, Turbulence, Stability Theory.*

1. INTRODUCTION

The aerodynamic efficiency of a wing is strongly influenced by the extent of laminar flow over the airfoil surface, with longer laminar flow regions generally resulting in lower skin friction drag. However, in practical flight conditions, even at low Reynolds numbers, it is rare for an aircraft to operate entirely within a laminar flow regime. Consequently, accurately identifying the location of the laminar-to-turbulent transition is essential, particularly for small wings, as this knowledge enables targeted improvements in airfoil design and performance. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) represent a prominent example of an industry that greatly benefits from advancements in aerodynamic analysis. Due to their relatively short fuselage and wingspan, UAVs are highly sensitive to aerodynamic effects. Therefore, the development of accurate and efficient analysis methods is particularly desirable for improving their performance and supporting design optimization. Although wind tunnel experiments remain the most reliable method for analyzing transition behavior, recent improvements in computational fluid dynamics (CFD) have made this method a faster and more cost-effective alternative for preliminary investigations and design optimization.

Although widely employed, CFD methods are not without limitations. In the context of low Reynolds number analyses, several studies have reported various challenges, particularly related to achieving convergence and obtaining accurate results. For example, Yue Liu (2021) found out that the prediction of the turbulent transition improves as the Reynolds number increase, due to the reduced size of laminar separation bubbles, and the high influence of the angle of attack for the convergence; furthermore, D. Di Pasquale (2009) and S. Langer (2023) encountered difficulty in manipulate the classical two equations simulation methods, what will be discussed in the results and conclusion of this paper. The papers referenced in this work examine different turbulence models, highlighting both their advantages and limitations. For the present study, the models selected were those that best meet the requirements of low Reynolds number analysis, namely the $\gamma - Re_\theta$ transition model and the $k - \omega$ SST model. A more detailed discussion of these choices is provided in Section 3.

The present work is focused on the numerical investigation of the determination of the point on the airfoil chord where the laminar-to-turbulent transition occurs. Using the 3609 airfoil (characterized by 3% camber located at 60% of the

