

Franciele Bonatto
Jair de Oliveira
João Dallamuta
(Organizadores)

Ciência, Tecnologia e Inovação

Atena
Editora
Ano 2019

Franciele Bonatto
Jair de Oliveira
João Dallamuta
(Organizadores)

Ciência, Tecnologia e Inovação

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © da Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
---	--

C569	Ciência, tecnologia e inovação [recurso eletrônico] / Organizadores Franciele Bonatto, Jair de Oliveira, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.
------	--

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia.
ISBN 978-85-7247-125-1
DOI 10.22533/at.ed.251191802

1. Ciência – Brasil. 2. Inovação. 3. Tecnologia. I. Bonatto, Franciele. II. Oliveira, Jair de. III. Dallamuta, João.

CDD 506

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Há quase quarenta anos, Alvin Toffler em seu Best Seller, *The Third Wave*, profetizou; “Pode-se criar mais valor com uma ideia em dez segundos do que com dez mil horas em uma linha de produção”. Esta talvez seja a melhor definição de inovação, não exatamente do conceito, mas do que ela efetivamente gera como efeito nas organizações e na sociedade.

Ciência, tecnologia e ambiente, considerando neste último fatores econômicos, sociais e legais, são base para a inovação. No que no que concerne a nossos pesquisadores, eles tem feito a parte deles, produzido ciência e tecnologia a despeito das dificuldades econômicas e culturais no Brasil. Há muito que melhorar sim, mas também a muito há se reconhecer.

Esse livro apresenta dois pilares de inovação, ciência e tecnologia, em uma reunião de vinte e quatro artigos, que são o resultado de pesquisas realizadas nos mais diversos setores com uma riqueza de metodologias e resultados.

Nesta obra, temos a oportunidade de leitura é fruto de trabalhos científicos de diversos pesquisadores. Aos pesquisadores, editores e aos leitores para quem em última análise todo o trabalho é realizado, agradecemos imensamente pela oportunidade de organizar tal obra.

Boa leitura!
Franciele Bonatto
Jair de Oliveira
João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FORMAÇÃO DOCENTE E AS NOVAS MÍDIAS TECNOLÓGICAS	
Walkiria de Fatima Tavares de Almeida	
Daniel González González	
DOI 10.22533/at.ed.2511918021	
CAPÍTULO 2	8
LABPATI – LABORATÓRIO DE PROJETOS DE AUTOMAÇÃO E TECNOLOGIAS INOVADORAS	
Jefferson Uchôa Ponte	
Erivando de Sena Ramos	
Alan Cleber Morais Gomes	
Francisco Giovanildo Teixeira de Souza	
Ligia Maria Carvalho Sousa Cordeiro	
DOI 10.22533/at.ed.2511918022	
CAPÍTULO 3	13
UMA CURADORIA DIGITAL PARA OS DADOS CIENTÍFICOS DE PESQUISA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO: A CRIAÇÃO DO PROJETO PILOTO	
Nilson Theobald Barbosa	
Linair Maria Campos	
Fabrícia Carla Ferreira Sobral	
Roberto José Rodrigues	
DOI 10.22533/at.ed.2511918023	
CAPÍTULO 4	22
A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PROBLEMAS DE ACESSIBILIDADE EM ESPAÇOS PÚBLICOS	
Francisco da Silva Passos	
José William Menezes Ribeiro	
Marlon Amaro Coelho Teixeira	
DOI 10.22533/at.ed.2511918024	
CAPÍTULO 5	28
CASE DE GESTÃO ADMINISTRATIVA E MODULARIZADA COM USO DO GLPI	
Ricardo Lazzari da Rosa	
Jorge Alberto Messa Menezes Júnior	
Luciano Pereira de Vargas	
Francis Diego Duarte Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.2511918025	
CAPÍTULO 6	35
EXPERIÊNCIA DE USO DE MAPEAMENTO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO COMO FERRAMENTA DE APOIO AO LEVANTAMENTO E ELICITAÇÃO DE REQUISITOS DE SOFTWARE	
Fernanda Vieira Figueira	
Levi Cacau	
Alex Alves da Silva	
Kemis A. V. da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2511918026	

CAPÍTULO 7 41

CONJUNTO DE PRÁTICAS INTERDISCIPLINARES PROPOSTA PELO PROGRAMA SAVE: *GREEN PARK (Parque de diversão que gera energia limpa)*

Jiam Pires Frigo
Nandra Martins Soares
Andreia Cristina Furtado
Oswaldo Hideo Ando Junior

DOI 10.22533/at.ed.2511918027

CAPÍTULO 8 50

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO PARA SERVIDORES DO PCCTAE

Daniel Ferreira de Oliveira
Taiana Barbosa Pereira
Marcio Alexandre Silva Ferreira
Marcelo Duarte da Silva
Tarcila Gesteira da Silva
Julliany Sales Brandão
Enoch Cezar Pimentel Lins da Silva

DOI 10.22533/at.ed.2511918028

CAPÍTULO 9 57

GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Pisum sativum* L. SOB INFLUÊNCIA DE ARMAZENAMENTO

Alexandre Alves da Silva
Adriano Henrique Silva
Thaís Franco Pires de Lemos
Beatriz Moreira Zanatta
Caroline Luiza Benedito
João Pedro Bufalari da Cunha
Paulo Frezato Neto
Vinícius Bechelli Valadão de Araujo
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Maria Aparecida da Fonseca Sorace
Conceição Aparecida Cossa

DOI 10.22533/at.ed.2511918029

CAPÍTULO 10 62

GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE *Lactuca sativa* L. APÓS PRAZO DE VALIDADE

Thaís Franco Pires de Lemos
Alexandre Alves da Silva
Adriano Henrique Silva
Beatriz Moreira Zanatta
Caroline Luiza Benedito
João Pedro Bufalari da Cunha
Paulo Frezato Neto
Vinícius Bechelli Valadão de Araujo
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Maria Aparecida da Fonseca Sorace
Conceição Aparecida Cossa

DOI 10.22533/at.ed.25119180210

CAPÍTULO 11 68

PARÂMETROS DE CRESCIMENTO SOB ADUBAÇÃO FOSFATADA NO GRÃO-DE-BICO

Daniela Oliveira Silva
Mauren Sorace
Naielen de Lara Lopes
Débora Del Moura Soares
Bruna Lana Campanenute Soares
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Ana Beatryz Prenzier Suzuki

DOI 10.22533/at.ed.25119180211

CAPÍTULO 12 80

POTENCIAL ALELOPÁTICO DE EXTRATO AQUOSO DE TUBÉRCULOS DE *Cyperus rotundus* L.
SOBRE GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Digitaria insularis* L.

Olivia Pak Campos
Conceição Aparecida Cossa
Maria Aparecida da Fonseca Sorace
Ruan Carlos da Silveira Marchi
Leonardo Sgargeta Ustulin
Paulo Frezato Neto

DOI 10.22533/at.ed.25119180212

CAPÍTULO 13 86

CARACTERIZAÇÃO DE FARINHA DE SUBPRODUTO DE LARANJA (*CITRUS SINENSIS*) QUANTO
A COMPOSIÇÃO DE FIBRAS, COMPOSTOS FENÓLICOS TOTAIS E POTENCIAL ANTIOXIDANTE

Isabela Julio Iwassa
Cecília Pinzon
Eliane Dalva Godoy Danesi
Beatriz Cervejeira Bolanho Barros

DOI 10.22533/at.ed.25119180213

CAPÍTULO 14 95

AVALIAÇÃO SENSORIAL E INTEÇÃO DE COMPRA DE PÃES COM ADIÇÃO DE FARINHA DE
GERGELIM *Sesamum indicum* L.

Roberta de Oliveira Sousa Wanderley
Paulo Alves Wanderley
Wellita Azevedo Silva
Anna Catarina Costa Paiva
Janine Patrícia Melo Oliveira
Altevir Paula de Medeiros
Osvaldo Soares da Silva
Élida Ramalho da Silva

DOI 10.22533/at.ed.25119180214

CAPÍTULO 15 100

AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES HIGIÊNICO-SANITÁRIAS E ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E
MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA DE PANIFICADORAS SITUADAS NO MUNICÍPIO DE CAMPINA
GRANDE-PB

Deyzi Santos Gouveia
Fernanda Ellen Martins Oliveira Araújo
Yasmim Maria Azevedo Santos
Rebeca de Lima Dantas
Mércia Melo de Almeida Mota
Nubênia de Lima Tresena

DOI 10.22533/at.ed.25119180215

CAPÍTULO 16	115
ÓXIDO DE ZINCO (ZNO) E A DEGRADAÇÃO FOTOCATALÍTICA DA CAFEÍNA	
Lariana Negrão Beraldo de Almeida	
Giane Gonçalves Lenzi	
Juliana Martins Teixeira de Abreu Pietrobelli	
Onelia Aparecida Andreo dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.25119180216	
CAPÍTULO 17	130
INFRAESTRUTURA DE SÍTIOS INSTITUCIONAIS UTILIZANDO CONTÊINERES DOCKER	
Carlos Vinícius Braga dos Santos	
Felipe Evangelista dos Santos	
Luiz Carlos Barbosa Martins	
DOI 10.22533/at.ed.25119180217	
CAPÍTULO 18	136
DESENVOLVIMENTO DE SEMI-EIXO DE FIBRA DE CARBONO/EPÓXI PARA O PROTÓTIPO BAJA – SACI VII: PROJETO ESTRUTURAL E VALIDAÇÃO	
Rafael Pereira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.25119180218	
CAPÍTULO 19	153
ESTUDO NUMÉRICO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM DISSIPADORES	
Ulysses Lucius Salles Pereira	
Ana Lúcia Fernandes de Lima e Silva	
Amanda Aparecida Silva	
Angel Edecio Malaguera Mora	
DOI 10.22533/at.ed.25119180219	
CAPÍTULO 20	174
FATORES TERMODINÂMICOS ASSOCIADOS À CONVECÇÃO PROFUNDA SOBRE A REGIÃO DO CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA	
Gabriel Miller de Oliveira	
Marcos Daisuke Oyama	
DOI 10.22533/at.ed.25119180220	
CAPÍTULO 21	184
EVALUATION OF HETEROGENEOUS CATALYSTS DERIVED FROM WHITE AND BROWN CHICKEN EGG SHELL FOR SOYBEAN BIODIESEL SYNTHESIS	
Diego Oliveira Cordeiro	
Marta Maria da Conceição	
Luis Ferreira de Lima	
Janduir Egito da Silva	
Eduardo Lins Barros Neto	
DOI 10.22533/at.ed.25119180221	

CAPÍTULO 22	200
SÍNTESE E ESTUDO DE HIDROXIAPATITA E BETA FOSFATO TRICÁLCICO PARA USO BIOMÉDICO	
Thatiane Cristine Silva Pereira Batista	
Gerson Avelino Fernandes	
DOI 10.22533/at.ed.25119180222	
CAPÍTULO 23	213
DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES COM O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO NA INDÚSTRIA SUÍNA. ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE CUNHA, SÃO PAULO	
Larissa Ferraz Felipe Santos	
Christian Jeremi Rodriguez Coronado	
DOI 10.22533/at.ed.25119180223	
CAPÍTULO 24	228
PRODUÇÃO ECOLÓGICA DE SABÕES	
João Gabriel da Silva Andrade	
Valéria Aquilino Barbosa	
Tânia Mara Rizzato	
Vagner Roberto Batistela	
DOI 10.22533/at.ed.25119180224	
CAPÍTULO 25	244
PROPOSTA DE PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS NAS ETAPAS DE QUEIMA E, INSPEÇÃO E CLASSIFICAÇÃO, EM UMA INDÚSTRIA DE CERÂMICA VERMELHA NO MUNICÍPIO DE MARABÁ-PARÁ	
Magda Tayane Abraão de Brito	
Rayssa Bezerra Silva	
Antônio Pereira Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.25119180225	
SOBRE OS ORGANIZADORES	265

ESTUDO NUMÉRICO DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM DISSIPADORES

Ulysses Lucius Salles Pereira

Graduado em Engenharia Mecânica pela
Universidade Federal de Itajubá

Ana Lúcia Fernandes de Lima e Silva

Professora doutora em Engenharia Mecânica pela
Universidade Federal de Itajubá

Amanda Aparecida Silva

Mestranda em Engenharia Florestal pela
Universidade Federal de Lavras

Angel Edecio Malaguera Mora

Mestrando em Engenharia Mecânica pela
Universidade Federal de Itajubá

RESUMO: Dissipadores de calor são utilizados em diversos equipamentos em busca de um melhor rendimento, maior vida útil e menor tamanho, logo é importante que se crie dissipadores mais eficientes. Neste capítulo são apresentados estudos, bem como a realização de tutoriais e simulações no método numérico de volumes finitos utilizando o *software* de CFD de código aberto *OpenFOAM*, com o objetivo de verificar a taxa de transmissão de calor em um dado dissipador e comparar os resultados com os obtidos experimentalmente. Inicialmente, foi efetuada a familiarização com o *OpenFOAM* realizada através de um caso do tutorial. O caso escolhido foi de um escoamento isotérmico, incompressível em domínio bidimensional quadrado (caso *cavity*), foram feitas simulações

para vários números de Reynolds e os resultados comparados com os da literatura consultada, a análise e visualização dos resultados utilizou-se o programa *ParaView*. Os resultados obtidos do tutorial *Cavity* condizem com os apresentados na literatura, mostrando assim que as modificações nas condições iniciais estavam corretas e que o *OpenFOAM* simulou o caso de forma satisfatória. Em seguida, realizou-se um estudo de um dissipador de calor, do módulo *heattransfer*, foi escolhido o *solver chtMultiregionFoam* e fez-se simulações para diferentes condições iniciais e de contorno. Posteriormente procedeu-se a simulação do dissipador de calor em malha reduzida a fim de agilizar e pré-avaliar os resultados. Neste capítulo são apresentadas as etapas realizadas, que incluem introdução, estudo do código, realização de tutoriais, escolha de casos e finalmente simulação do problema, análise dos resultados dos tutoriais e do problema propriamente.

PALAVRAS-CHAVE: Transferência de Calor, Dissipadores, CFD, OpenFOAM

ABSTRACT: Heat sinks are needed by several equipment to achieve a better performance, grater life span and smaller size, therefore it is vital to develop more efficient heat sinks. In this chapter are presented studies, as well as tutorials and simulations on numerical method of

finite volumes, using an open source CFD software called *OpenFOAM* aiming to verify the heat transfer rate on a heat sink and compare the results with the experimental ones. In the beginning a tutorial case was simulated to get to know the *OpenFOAM* software, the chosen case was an isothermal and incompressible flow on a square two-dimensional domain called cavity case. Simulations were made for different values for Reynolds and compared the results with the ones found on the consulted literacy, the analysis and graphic view of the results were aided by a software called *ParaView*. The results from the Cavity case matched the experimental ones, demonstrating a correct simulation using *OpenFOAM*. The next phase was a study of a heat sink, from the *heattransfer* module on *OpenFOAM* using the solver *chtMultiregionFoam* the simulations involved different values of contour and initial conditions. Posteriorly was conducted a heat sink simulation on a reduced mesh in order to speed and pre-check the results. In this chapter are presented the steps followed, including introduction, code study, tutorial implementation, case choosing and finally the case simulation and an analysis of both tutorial and final case results.

KEYWORDS: Heat Transfer, Heat Sink, CFD, OpenFOAM.

1 | INTRODUÇÃO

A transferência de calor abrange um ponto importante no que diz respeito a retirada de calor de equipamentos, sejam eletrônicos como unidades de processamento de dados ou equipamentos mecânicos como motores, dado a utilização que fazemos de tais equipamentos nos dias atuais. Aumentar a retirada de calor gerado nestes equipamentos influencia em sua temperatura de trabalho, no rendimento dos equipamentos, na sua vida útil e viabilidade do projeto. Com o intuito de aumentar a taxa de calor retirado de tais equipamentos utiliza-se por exemplo dissipadores, que devem ser calculados para retirar o máximo de calor possível utilizando o menor volume ou o volume adequado a condições de projeto dos equipamentos.

Projetos de equipamentos visam ter seu rendimento aumentado para reduzir os gastos energéticos, como também devemos pensar na constante miniaturização de eletrônicos, a convecção natural em dissipadores se torna cada vez mais interessante e assim há a necessidade do aumento na eficiência de dissipadores para que a capacidade de retirar calor não seja criticamente prejudicada ao mudarmos de convecção forçada para convecção natural. A mudança para convecção natural elimina a necessidade do ventilador, reduzindo assim os custos de fabricação do equipamento.

Conhecendo as dificuldades e os custos de produzir protótipos de dissipadores de tamanhos e formas variadas, além do tempo necessário para se ensaiar cada um deles e também as dificuldades em relação a obtenção de grandezas como altura da camada limite, se torna trabalhoso ensaiar os dissipadores. Com o aumento da velocidade de processamento em computadores é possível projetar através de simulações numéricas dissipadores de calor com diversas geometrias e condições de

operação, revelando-se como um recurso interessante técnica e economicamente.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Descrição do *software* aberto OpenFOAM

O *OpenFOAM* (Open Source Field Operation and Manipulation) é inicialmente e principalmente uma biblioteca da linguagem *C++*, utilizada inicialmente para gerar executáveis, conhecidos como *applications*. As *applications* se dividem em duas categorias: *solvers*, que são unicamente projetados para resolver um problema específico da dinâmica dos fluidos; e *utilities*, que são projetados para realizar tarefas que envolvem manipulação de dados. O programa OpenFOAM contém vários *solvers* e *utilities* que abrangem uma ampla área de problemas, e também é equipado com ambientes de pré e pós-processamento. A interface para pré e pós-processamento são *utilities* do OpenFOAM, assim é possível garantir uma manipulação dos dados consistente em todos os ambientes.

Inicialmente no pré-processamento tem-se a definição dos dados iniciais e a geração da malha, que pode ser feita no próprio software OpenFOAM ou importada de algum software CAD. Na sequência temos o processamento, em que as equações já implementadas no programa ou modificadas pelo usuário são resolvidas. Finalmente no pós-processamento, os resultados obtidos no processamento são exportados para visualização, neste trabalho foi utilizado o software ParaView para a visualização.

2.2.1 – Modelagem

A fim de simular o comportamento de um fluido, as equações de conservação de massa, quantidade de movimento e da energia devem ser resolvidas numericamente pelo solver. Estas equações são solucionadas para cada bloco da malha em cada intervalo de tempo escolhido.

Estas três equações diferenciais básicas para o escoamento de um fluido são (White 2002):

$$\text{Continuidade:} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (3.1)$$

$$\text{Momento:} \quad \rho \frac{dV}{dt} = \rho g - \nabla p + \nabla \tau_{ij} \quad (3.2)$$

$$\text{Energia:} \quad \rho \frac{d\hat{u}}{dt} + p(\nabla \cdot V) = \nabla \cdot (k\nabla T) + \Phi \quad (3.3)$$

Considerando que o fluido é newtoniano, ou seja, as tensões viscosas são

proporcionais à deformação do elemento, podemos introduzir a viscosidade dinâmica (μ) e assim a equação (2) se torna a equação de Navier-Stokes:

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho g - \nabla p + \mu \nabla^2 V \quad (3.4)$$

Admitindo que o fluido está inicialmente parado ou com uma baixa velocidade, podemos desprezar os termos convectivos e a dissipação (Φ) da equação (3.3), assim podemos reescrever a equação da energia como a equação da condução de calor:

$$\rho c_v \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T \quad (3.5)$$

Aplicando a Lei de Fourier e considerando a condutividade térmica constante temos:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = k \nabla^2 T \quad (3.6)$$

2.2 Tutorial do OpenFOAM caso Cavity

Neste item foi apresentado o uso do programa *OpenFoam* para execução do tutorial *Cavity*, por ser de fácil entendimento e manipulação, necessitando de pouco processamento se comparado com os outros tutoriais. O caso *Cavity* possui um escoamento isotérmico, incompressível, em domínio bidimensional de geometria quadrada e possui apenas a face superior aberta. Foi realizado a simulação de um escoamento laminar sobre uma cavidade quadrada, onde a tampa da cavidade se move na direção x com uma velocidade de 1m/s e as outras três faces ficaram inertes. O problema foi resolvido utilizando uma malha uniforme e o solver *icoFoam*. Para melhor entendimento foram descritos abaixo o pré-processamento e pós-processamento do problema que envolve um fluxo isotérmico, incompressível em um domínio bidimensional (eixos x e y).

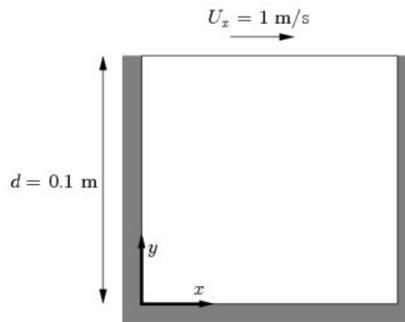


Figura 1- Geometria da cavidade. Fonte: (www.openfoam.com).

2.3 Tutorial do OpenFOAM caso MultiRegionHeater

A seguir, foi utilizado o solver chtMultiregionTransfer do módulo heattransfer do tutorial do OpenFOAM para simular a transferência de calor em dissipadores, já que o mesmo leva em conta variações de temperatura, possui um domínio tridimensional e incompressível. Neste solver dois casos são representados no tutorial do OpenFOAM, o caso chtMultiregionHeater e snappyMultiregionHeater, que diferenciam na forma de geração de malha do domínio computacional. Em geral o OpenFOAM apresenta duas formas de geração de malha, com o arquivo blockMesh e com snappyHexMesh. O primeiro é usado para geometrias simples e malhas na forma hexaédrica. No segundo para geometrias complexas ou quando deseja-se obter detalhes muito precisos do domínio computacional ou da geometria. O caso multiRegionHeater utiliza o blockMesh para geração da malha e o caso snappyMultiRegionHeater usa o snappyHexMesh. Por simplicidade, neste trabalho foi usado o caso multiRegionHeater.

2.3.1 – Explicação do caso

Neste caso temos um aquecedor em formado de T (vermelho, dois sólidos (verde) sendo um à esquerda e outro à direita do aquecedor, água (azul) banhando a parte inferior dos sólidos e a base do aquecedor e por fim temos a parte superior dos sólidos e do aquecedor em contato com o ar (branco), como mostra a figura 2 a seguir:

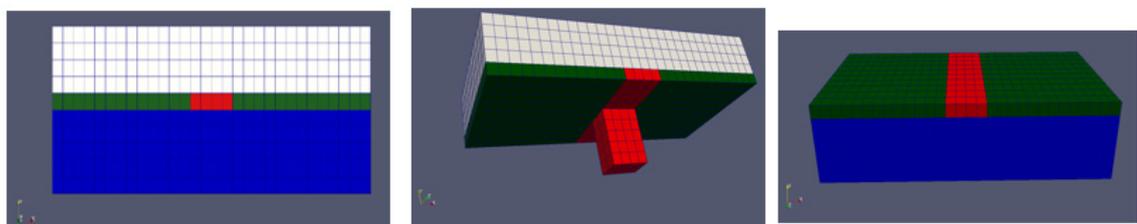


Figura 2 - Vista frontal, superior e inferior respectivamente. Fonte: Própria

2.4 Simulação do Dissipador Reduzido

Nesta etapa foi simulado um dissipador semelhante em dimensões ao dissipador simulado por Gomes (2015), porém com malha reduzida para adequar o tempo de

processamento, a fim de conferir e corrigir as condições iniciais e de contorno, como também de verificar a presença de irregularidades e discrepâncias incoerentes com a física, para esta simulação foram escolhidos parâmetros semelhantes ao do simulado por Gomes (2015) possibilitando a comparação dos resultados podendo assim validar a simulação. Após esse processo partimos para a malha original, com as variações de geometria e condições iniciais e de contorno.

Para a simulação foi escolhido o solver `chtMultiregionTransfer` do módulo `heattransfer` do OpenFOAM, já descrito, a variante em relação ao caso anterior seria a malha que foi um pouco mais refinada para este caso, a geometria que agora compõe de um dissipador aletado em um plano de madeira, aquecido pela parte inferior e transferindo calor para o ar ao redor, não há a presença da água neste caso, o que simplifica um pouco se comparado com o anterior. Neste caso inicial a temperatura na base do dissipador foi constante.

2.4.1 Explicação do caso

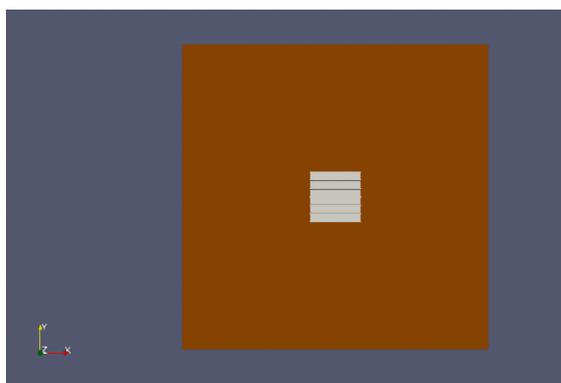


Figura 3 - Vista Superior.

Fonte: Própria.

Neste caso, como dito anteriormente, temos um dissipador aletado (cinza) aquecido pela base com temperatura constante, em um plano de madeira (marrom) que não troca calor com o meio externo e serve como um isolante da parte lateral do dissipador, temos ar em contato com toda a parte superior do conjunto, como se pode observar pela figura abaixo foi simulada uma grande região de atuação ao redor do dissipador, esta área de atuação grande é relacionada ao ar e se deve as previstas recirculações do ar devido ao gradiente de temperatura.

2.5 Simulação do Dissipador Aletado

Finalmente simulou-se o primeiro caso a fim de se obter resultados para análise propriamente dita, para esta simulação foram repetidos os parâmetros da simulação anterior, porém com o domínio e malha semelhantes ao do simulado por Gomes (2015),

com o objetivo de comparar e validar os resultados. Para esta simulação, como pode-se esperar, foram escolhidos os mesmos módulos, solvers, geometria e configuração do problema anterior.

Com a imagem abaixo pode-se observar a diferença de malha e de domínio entre a simulação descrita anteriormente e a com malha original, temos um aumento da malha de 150 mil blocos para 6 milhões de blocos, além do aumento do domínio de um volume de 0,006 para 0,216, aumentando assim consideravelmente o tempo de processamento.

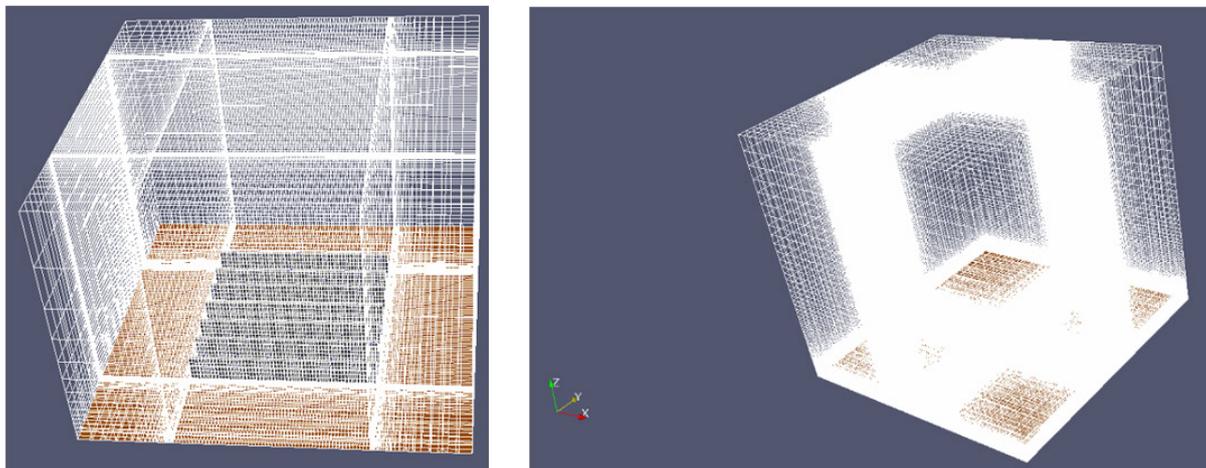


Figura 4 - Malha reduzida (esquerda) e malha original (direita). Fonte: Própria.

3 | RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

3.1 Tutorial do OpenFOAM caso Cavity

A seguir foram apresentados os resultados obtidos do caso Cavity, para este caso foram feitas 3 simulações variando-se o número de Reynolds através da viscosidade do fluido. Como foi mostrado, com o aumento do número de Reynolds há o aumento de movimentações e turbulências no fluido, aumentando o número de recirculações.

3.1.1 Etapas de solução

- Pré-processamento:

Número de Reynolds: Inicialmente o número de Reynolds foi definido alterando a viscosidade dinâmica no arquivo *transportProperties* da pasta *constant*.

Geração de malha: Para o refinamento o Reynolds usado foi 1000 pois possui maior variação dos resultados. O domínio da cavidade foi definido alterando o arquivo *blockMeshDict* na pasta *system*, que se utilizou de um domínio inicial discretizado de 20 por 20 células de acordo com a Figura 2, consiste de um quadrado de lado 0.1m no plano x-y. Para gerar a malha utilizou-se o comando *blockMesh*. Depois aumentou-se a discretização para 50 por 50 células e por fim para 100 por 100 células.

Condições iniciais e de contorno: Uma vez que a malha foi gerada definiu-

se as condições de contorno do problema no qual foram estabelecidas as paredes fixas e móveis. Isto foi realizado abrindo a pasta 0 e definindo a tampa da cavidade como uma parede móvel, e os outros contornos da cavidade como paredes fixas no arquivo U e p. Condições Iniciais: Após definir as condições iniciais do escoamento, foram definidas as condições iniciais fixando o valor constante de 1m/s para U.

Tempo de execução: o tempo de execução foi definido observando o tempo necessário para as propriedades do fluido ficarem constantes, observando os resultados no programa *ParaView*.

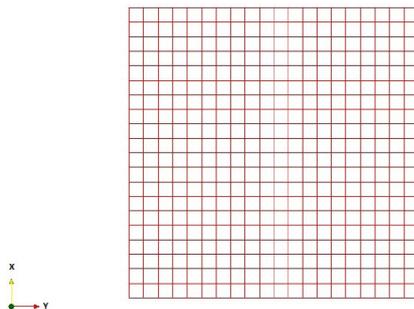


Figura 5 - Malha da cavidade (discretizada de 20 por 20 células), Fonte: Própria.

A escolha da malha foi feita pela menor malha que apresentasse resultados satisfatórios, a qualidade dos resultados foi feita comparando-se a malha com uma mais refinada. A malha escolhida foi a 50 por 50 devido à escassez de pontos nos gráficos da malha de 20 por 20.

- Processamento e pós-processamento:

Inicialmente foi indicada a pasta para o terminal, em seguida executa-se o comando *blockMesh*, para geração da malha, na sequência executa-se o comando *icoFoam*, para resolver numericamente o caso, e finalmente executa-se o comando *paraFoam*, para abrir o programa *ParaView* e visualizar os resultados obtidos.

3.1.2 Resultados do caso cavity

- Distribuição de Pressão:

As distribuições de pressão como visualizado na Figura 6 são contínuas, pois é feito uma interpolação entre as células da malha.

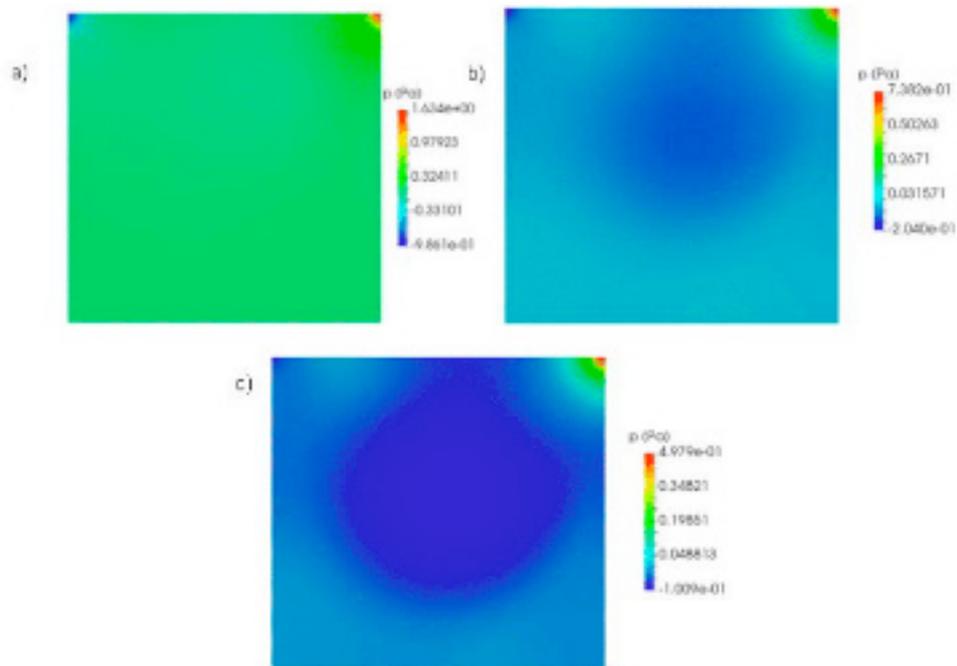


Figura 6 - Distribuição de Pressão no domínio da cavidade para $Re = 100$, $Re = 400$ e $Re = 1000$ respectivamente, Fonte: Própria.

Podemos observar na figura anterior que com o aumento do número de Reynolds há um aumento no gradiente de pressão dentro da cavidade, para Reynolds 100 apenas há gradiente de pressão nas duas extremidades superiores da cavidade, enquanto que para Reynolds 1000 é visível um gradiente de pressão no interior da cavidade.

- Campo de Velocidades:

Para a visualização do campo de velocidade do escoamento utilizou-se vetores *glyph* que são vetores localizados no centro de cada célula, como demonstrados pela figura 7 a seguir.

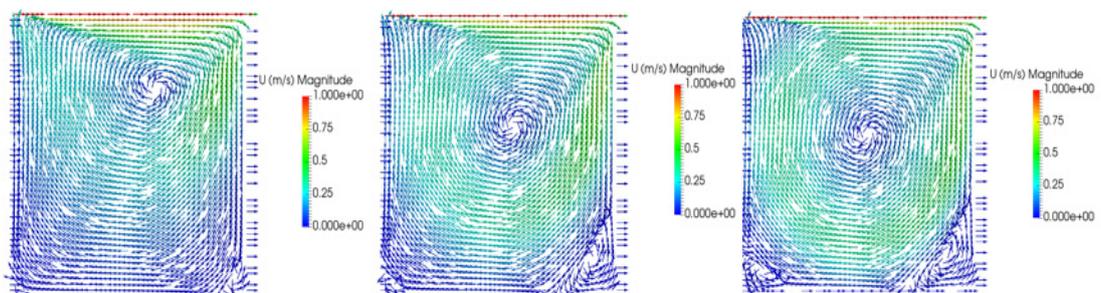


Figura 7 - Campo de velocidade no domínio da cavidade para $Re=100$, $Re=400$ e $Re=1000$, respectivamente.

Fonte: Própria.

A figura mostra que com o aumento do número de Reynolds a parte inferior da

cavidade é mais afetada com os efeitos da velocidade, como também há um grande aumento nas recirculações do fluido.

- Linhas de Corrente:

As linhas de correntes representam a direção instantânea da velocidade das partículas fluidas no domínio da cavidade. Foi observado na Figura abaixo, recirculações na parte inferior da cavidade, isto é, devido ao aumento do número de Reynolds. A significância fundamental do número de Reynolds é que o mesmo permite avaliar a instabilidade do escoamento, logo se conclui que quanto maior o número de Reynolds mais recirculações terá o fluxo.

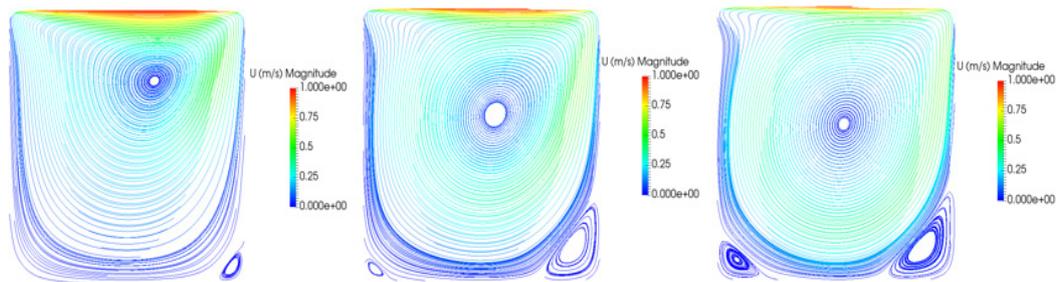


Figura 8 - Linhas de corrente no domínio da cavidade para $Re = 100$, $Re = 400$ e $Re = 1000$ respectivamente,

Fonte: Própria

A figura acima mostra, junto com a figura de campo de velocidades (7) que com o aumento no número de Reynolds há uma maior perturbação do fluido dentro da cavidade e um aumento das recirculações, mostradas nas extremidades inferiores da cavidade.

- Validação dos Resultados:

Para validação dos resultados numéricos comparou-se os perfis de velocidades obtidos com os obtidos experimentalmente por Ghia et al (1982). Foram analisados o comportamento das componentes U_x (μ) e U_y (ν) da velocidade em função da posição x e y , na região central da cavidade ($x = 0,5$ e $y = 0,5$), os resultados foram comparados para $Re = 100$, $Re = 400$ e $Re = 1000$ com aproximação semelhante à mostrada na figura 9 abaixo:

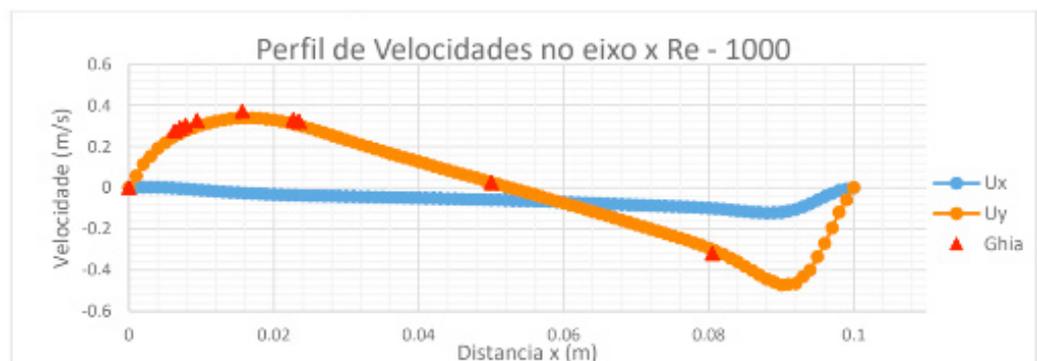


Figura 9 - Perfil de Velocidade no eixo x para $Re=1000$. Fonte: Própria

Com este gráfico é possível analisar que os resultados foram coincidentes com os da literatura obtidos de forma empírica, o que era esperado de uma simulação feita corretamente.

3.2 Tutorial do OpenFOAM caso MultiRegionHeater

Neste caso como foi dito no capítulo 4 trata-se de um aquecedor em formato de “T” com duas placas de metal em suas extremidades, água na região inferior e ar na região superior. A seguir é mostrado as etapas de processamento e as modificações feitas neste caso para adequá-lo à sua utilização como solver do dissipador aletado.

3.2.1 Refinamento da Malha

O primeiro parâmetro que foi estudado e modificado neste tutorial foi a malha, o refinamento da malha foi utilizado na simulação do dissipador. A primeira modificação foi aumentar o número de blocos da malha, gerando assim uma malha mais refinada de maneira geral, na sequência foi estudado o refinamento localizado, onde é refinada apenas as áreas de interesse, dessa forma é possível obter resultados satisfatórios sem aumentar muito o tempo de processamento, mostrado na figura 10 a seguir.

Neste exemplo foi escolhido o refinamento do aquecedor apenas para treino do refinamento em uma região específica, sem nenhum cálculo prévio de refinamento de malha. Todo o refinamento foi feito modificando-se o arquivo *blockMeshDict*, portanto o refinamento utilizado neste tutorial teve o intuito de aprendizado sobre os comandos necessários e métodos de refinamento.

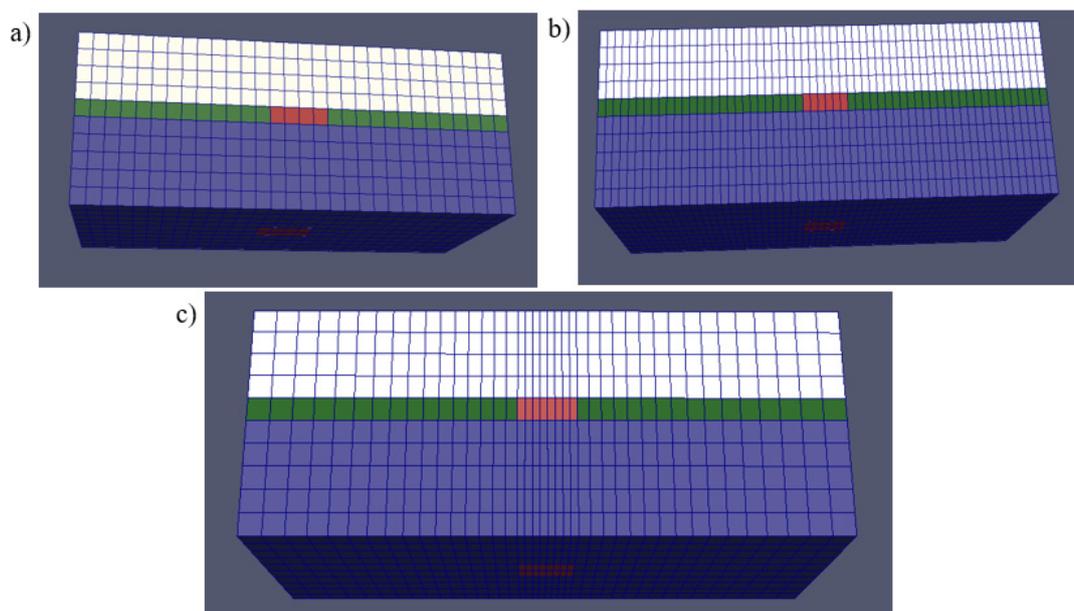


Figura 10 - Refinamento da malha, sendo a) sem refinamento, b) malha refinada, c) malha refinada em região específica.

Fonte: Própria.

3.2.2 Condições de Contorno

Após o refinamento de malha, foi decidido aprender sobre as condições de contorno vigentes no tutorial e como modifica-las.

Portanto foi analisada a pasta 0, contendo as condições iniciais e o arquivo *changeDictionaryDict* na pasta referente a cada região dentro da pasta *System*.

A pasta "0" dita as condições iniciais na região ao redor do sistema simulado, o meio externo, enquanto que o arquivo *changeDictionaryDict* define as condições internas de contorno de cada região em específico, podendo definir propriedades constantes, como por exemplo o campo escalar de velocidades da entrada e da saída da água no sistema. Podemos definir também condições constantes no contato entre duas regiões, como por exemplo definir temperatura constante no contato entre aquecedor e sólido esquerdo, se nada for dito sobre o contato entre duas regiões o programa calcula automaticamente.

As condições de contorno pré-definidas no tutorial foram:

·Água:

- U: 0,001m/s em $x=0$; $U=0$ m/s em $z=0$, $z=\text{máx.}$, $y=0$; Ou seja: água entra a 0,001m/s no sentido positivo do eixo x e não há fluxo de massa entre o sistema e o meio externo no eixo z nem no eixo y.
- T: 300K em $x=0$; Ou seja: A água entra a 300k e não há troca de calor com o meio externo nas laterais ($Z=0$ e $z=\text{máx.}$) nem na parte inferior ($y=0$).

· Aquecedor:

- T: 500k em $y=0$; Temperatura constante na base do aquecedor de 500k. Não há troca de calor entre o aquecedor e o meio externo, como não há troca de calor entre o aquecedor e o sólido esquerdo.

· Sólido Esquerdo:

- T: Não há troca de calor entre o sólido e o aquecedor nem com o meio externo.

· Sólido Direito:

- T: Não há troca de calor entre o sólido e o meio externo.

· Ar:

- U: 0,1m/s em $x=0$; $U=0$ m/s em $z=0$, $z=\text{máx.}$ e $y=\text{máx.}$; Ou seja o ar entra a 0,1m/s no sentido positivo do eixo x e não há fluxo de massa entre o sistema e o meio externo no eixo z nem no eixo y.
- T: 300k em $x=0$; ou seja, o ar entra a 300k e não há troca de calor com o meio externo nos eixos z e y.

· Meio externo:

- T: 300k; Temperatura constante igual a 300k.
- p: 10^5 Pa; Meio externo à pressão atmosférica.

As condições iniciais pré-definidas no tutorial foram:

·Água:

- U: 0,01m/s na direção x positivo para todo o volume.
- T: 300K em todo o volume.
- p: Pressão atmosférica em todo o volume.
- Aquecedor, Sólido Esquerdo e Sólido Direito:
 - T: 300k em todo o volume.
- Ar:
 - U: 0,1m/s na direção x positivo para todo o volume.
 - T: 300k em todo o volume.
 - p: Pressão atmosférica em todo o volume.
- Meio externo:
 - U: 0,1m/s na direção x positivo.
 - T: 300k.
 - p: 10^5 Pa.

3.2.3 Pós-Processamento

Neste caso não há motivo para o estudo do pós-processamento, pois para validar os resultados obtidos seria necessário encontrar um caso semelhante na literatura ou experimentá-lo em laboratório, como este caso não é o foco deste trabalho os resultados obtidos no pós-processamento foram apenas comparados com eles mesmos após modificações nas condições de contorno, domínio e refinamento de malha para experiência e treino próprio. Os resultados não serão publicados aqui pois não foram verificados.

3.3 Simulação do Dissipador Aletado Reduzido

Como dito anteriormente esta é a simulação do dissipador propriamente dito na pesquisa, com malha reduzida a fim de agilizar a obtenção de resultados e correção de erros simples, além de possibilitar a visualização do efeito da redução de malha nos resultados. Os conjuntos de pastas e método de solução são semelhantes ao do caso anterior que foi escolhido exatamente por este motivo. Dito isso não há a necessidade de explicar os arquivos e pastas novamente, apenas informar os valores adotados. Os arquivos e pastas para criação da simulação são semelhantes ao do exemplo anterior, com a diferença de conter apenas 3 elementos sendo eles: heater (dissipador), madeira e air (ar).

3.3.1 Refinamento da Malha

Como o objetivo desta etapa era obter resultados de forma mais rápida, não

foi feito um refinamento da malha e o domínio do problema foi reduzido. A escolha do tamanho da malha foi feita a fim de ser a menor possível, mas que ainda assim atenda às necessidades básicas do problema, ou seja, os blocos de malha continham apenas um material (não havendo ar e madeira no mesmo bloco) e a transição entre os diferentes materiais ocorrendo de maneira sutil, sem discontinuidades. A malha escolhida, como no problema original, foi mais refinada no dissipador do que no resto do domínio, contendo blocos de mesmo tamanho. Nas outras partes do domínio (madeira e ar) a malha foi menos refinada e os blocos aumentam de tamanho conforme se distanciam do dissipador.

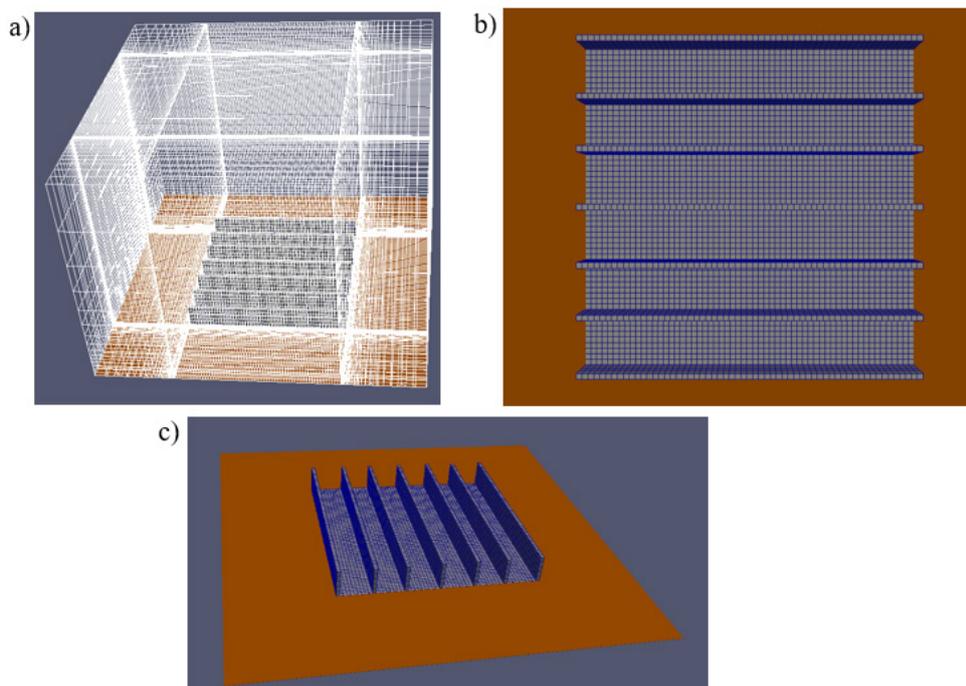


Figura 11 - Malha Reduzida, a) domínio todo, b) dissipador aletado, c) vista isométrica. Fonte: Própria

3.3.2 Pré-processamento

Para as condições iniciais e de contorno foram definidos os seguintes parâmetros:

· Ar

- $U = 0$ m/s em todo domínio, ou seja, o ar se inicia parado e o contorno é um ambiente fechado.
- $T = 295,6309$ K em todo domínio, temperatura inicial do ar e temperatura da parede.
- Pressão = 10.000 Pa em todo domínio, pressão atmosférica.

· Dissipador

- $T = 295,6309$ K em todo domínio com exceção do contorno na base (todo plano do dissipador com eixo $z = 0$) que está constantemente a 369,26 K. Portanto o dissipador aquece da base para as pontas das aletas.

- Madeira
 - $T = 295,6309$ K para todo domínio.

Foi definido também no pré-processamento editando o arquivo *controlDict*, já citado anteriormente, o tempo de simulação de 25 segundos, intervalo entre visualizações de 0,1 segundos e foram criadas duas sondas, artifícios utilizados para medir a variação de determinada grandeza física em um ponto específico, uma na ponta da aleta central e outra no ar logo acima da primeira sonda, com a finalidade de medir a variação de temperatura. A posição específica das sondas no ar e na aleta foram (0,15 0,15 0,02) e (0,15 0,15 0,017) nos eixos x, y e z respectivamente.

3.3.3 Pós-Processamento

Após o processamento do caso, ele foi visualizado no ParaView, permitindo assim a análise da distribuição de temperatura, velocidade do escoamento do ar, linhas de corrente e campo de velocidades.

- Distribuição de temperatura:

Na figura 12 abaixo pode-se reconhecer claramente o dissipador aletado (vermelho) com temperatura aparentemente constante e uniforme de 370K e também a dissipação de calor através do ar, gerando recirculações. Devido ao número ímpar de aletas e a condição de contorno do ar pode-se observar que o ar aquecido pela aleta central inicia a recirculação apenas no topo do domínio e as recirculações são de grande influência na transferência de calor do dissipador para o ar, assim vemos que a altura do domínio (eixo z) tem grande importância na simulação.

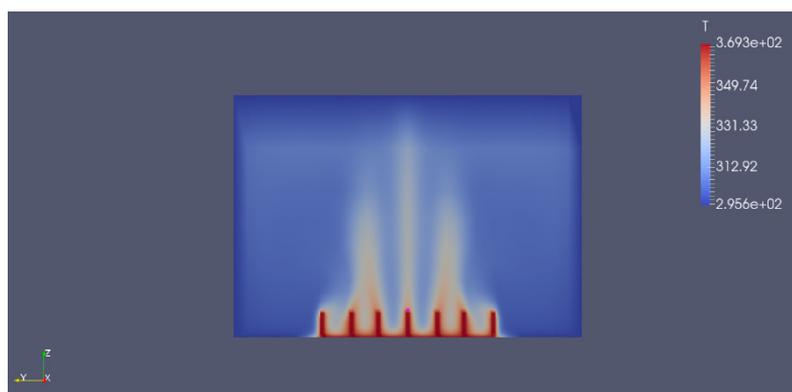


Figura 12 - Distribuição de temperatura. Fonte: Própria.

- Campo de Velocidades:

Na figura 13 abaixo podemos observar o escoamento do fluido (ar), há a presença de dois grandes vórtices, um de cada lado, responsáveis pela recirculação do ar, fazendo com que o ar quente suba pelo centro e retorne pela periferia. Pode-se observar também a indicação de recirculações nos espaços entre as aletas, auxiliando

assim a dissipação de calor pelas laterais das aletas.

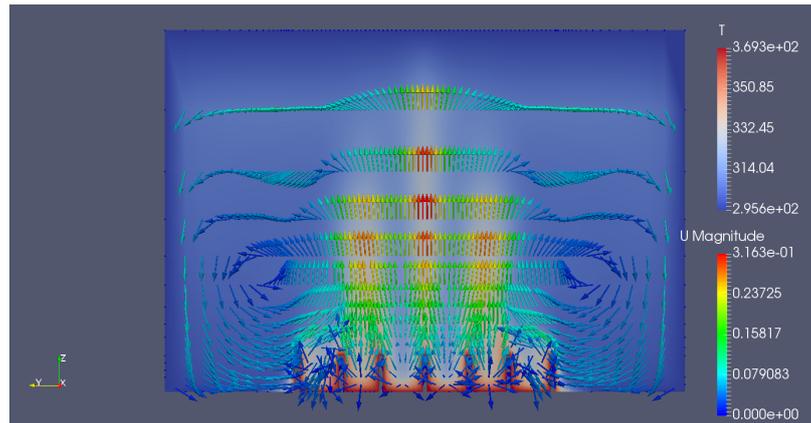


Figura 13 - Campo de velocidades. Fonte: Própria.

- Linhas de corrente:

Representam a direção instantânea da velocidade, no caso cavity foi mostrado linhas de corrente em um plano, neste caso, mais complexo, as linhas de corrente são apresentadas planificadas de uma visualização 3D, devido ao método de integração das velocidades utilizado (Runge-Kutta) foi necessário um volume.

Através das linhas de correntes mostradas na figura 14 fica fácil notar as recirculações do ar, e o sentido do escoamento. Este comportamento era o esperado em um volume fechado onde o ar não pode escapar, gerando assim recirculações.

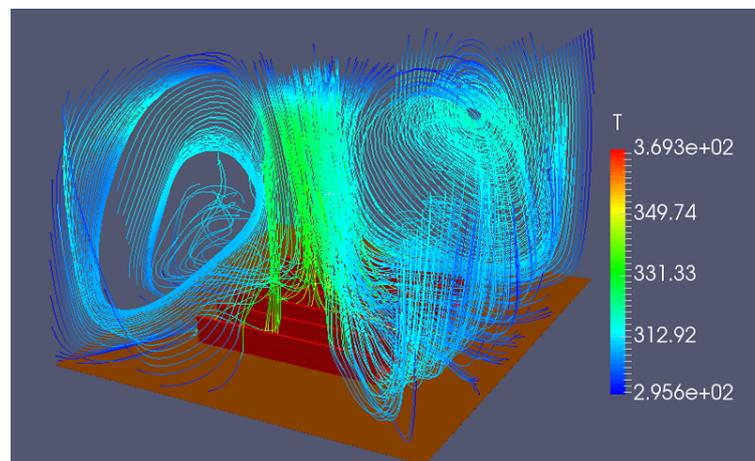


Figura 14 - Linhas de Corrente. Fonte: Própria.

- Sondas:

Como dito no pré-processamento, foram colocadas duas sondas na simulação, uma na aleta e outra no ar logo acima da aleta, a fim de poder verificar a variação da temperatura com o tempo. Assim foi possível criar os dois gráficos a seguir:



Figura 15 - Variação de temperatura da sonda no aquecedor.

Fonte: Própria.

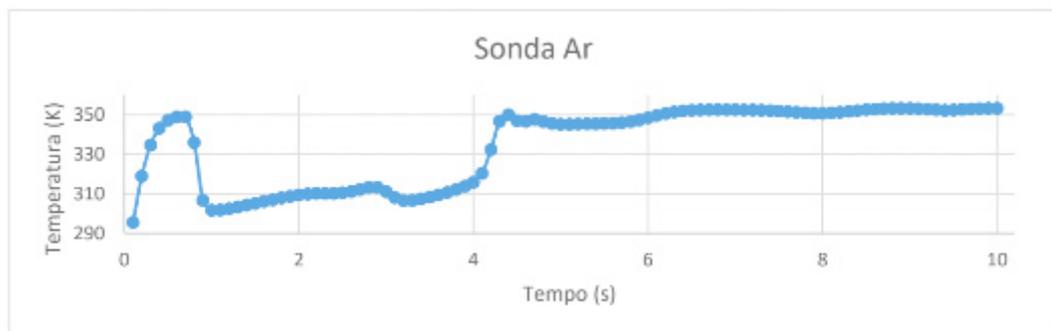


Figura 16 - Variação de temperatura da sonda no ar.

Fonte: Própria.

Através de ambas as imagens podemos observar que no início da simulação há várias discontinuidades na temperatura, devido ao início da movimentação do ar e diferença inicial de temperaturas entre o dissipador e o ar, esta diferença de temperatura mostra a diferença na condutividade de calor do dissipador e do ar, o dissipador se aquece mais rápido que o ar e fica com temperatura mais constante (variações de até 1 K), enquanto que o ar demora mais para se aquecer e possui maior gradiente de temperaturas (variações de 50 K).

- Resíduos:

Um parâmetro importante a ser analisado para validação dos resultados, são os valores residuais das iterações, indicam o erro residual durante o processamento. Quando as iterações convergem os valores residuais diminuem, ao passo que quando os valores residuais aumentam significa que as iterações estão divergindo, indicando assim um erro no processamento ou nas condições de contorno. A figura 16 a seguir mostra os residuais para as variáveis referentes a velocidade do ar, indicando que as iterações convergiram.

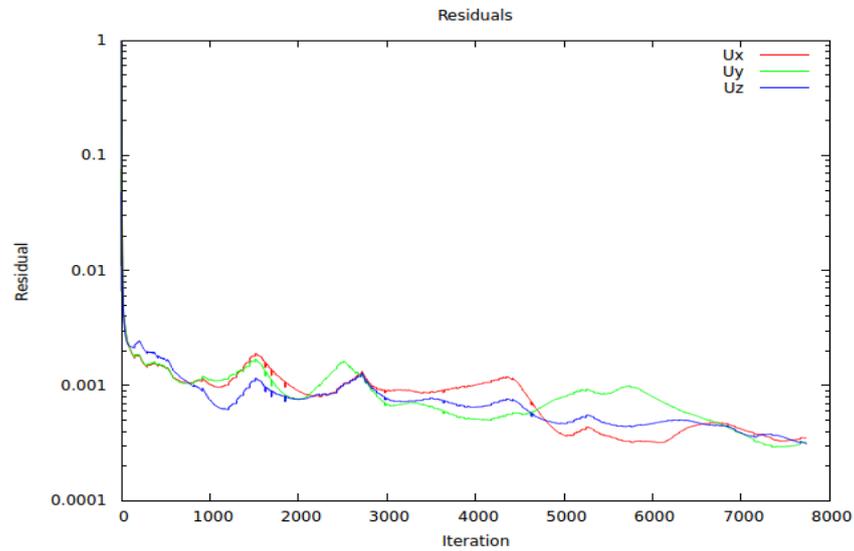


Figura 17 - Erro dos componentes da velocidade do ar em cada iteração.
Fonte: Própria.

3.4 Simulação do Dissipador Aletado

Como descrito no capítulo anterior esta é a simulação do dissipador semelhante a feita por Gomes (2015), e o caso reduzido já foi explicado e demonstrados os resultados.

3.4.1 Refinamento da Malha

Para o refinamento da malha, o ideal seria que fosse analisado os resultados após cada refinamento e quando os mesmos não variassem de um refinamento para o próximo a malha pode ser considerada como suficiente, neste caso, porém, como as condições de pré-processamento já foram feitas no artigo de Gomes (2015), não há a necessidade de fazer o refinamento todo novamente, portanto foi adotado o refinamento escolhido por Gomes (2015). As imagens abaixo mostram os detalhes da malha.

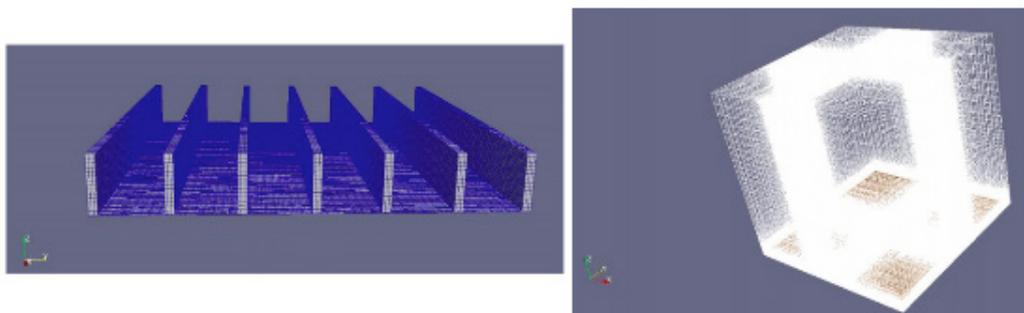


Figura 18-Refinamento da malha, dissipador aletado (esquerda), domínio todo (direita).
Fonte: Própria.

3.4.2 Pré-processamento

Para as condições iniciais e de contorno foram definidos os mesmos parâmetros do caso reduzido:

·Ar

- $U = 0$ m/s em todo domínio.
- $T = 295,6309$ K em todo domínio.
- Pressão = 10.000 Pa em todo domínio.

·Dissipador

- $T = 295,6309$ K em todo domínio com exceção da base que está constantemente a 369,26 K.

·Madeira

- $T = 295,6309$ K para todo domínio.

Semelhante ao caso reduzido, foi definido o tempo de simulação de 10 segundos, intervalo entre visualizações de 0,1 segundos e foram criadas duas sondas, uma na ponta da aleta central e outra no ar logo acima da primeira sonda. A posição específica das sondas no ar e na aleta foram (0,15 0,15 0,02) e (0,15 0,15 0,017) nos eixos x, y e z respectivamente.

3.4.3 Pós-Processamento

Devido ao refinamento da malha e ao volume do espaço simulado, a utilização da capacidade de processamento e da alocação de memória do computador disponível foi crítica. Somado a isso houve interrupções no processamento devido à queda de energia, assim dos 10 segundos programados para serem processados, foi possível obter resultados de apenas 0,5 segundos de simulação, como 0,5 segundos não é suficiente para o escoamento se desenvolver completamente não foi possível visualizar resultados passíveis de comparação com o caso simulado por Gomes (2015).

4 | CONCLUSÕES

Neste relatório, foi apresentado um estudo de temas relacionado a utilização de métodos numéricos e sua importância, assim como um estudo do programa de código aberto OpenFOAM contendo a realização de tutoriais, foi feita uma análise sobre o refinamento de malhas numéricas e algumas simulações foram realizadas e seus resultados comparados com o da literatura.

Em relação ao estudo de temas este relatório contém uma revisão bibliográfica, contendo menções a várias geometrias das aletas dos dissipadores, posições variadas, convecções naturais e forçadas, dados contidos na literatura, entre outras coisas. Portanto este objetivo de estudo foi realizado satisfatoriamente.

No que diz respeito ao estudo do OpenFOAM e realização de tutoriais, em ambos tutoriais (*Cavity* e *multiRegionHeater*) foram modificados os arquivos iniciais do programa e feitas simulações para diferentes malhas, condições iniciais, tempos de execução, entre outros. Ambos os tutoriais simularam suas respectivas situações de modo satisfatório, no caso *Cavity* comprovado pela comparação com os dados obtidos empiricamente por Ghia et al (1982). Assim, pode-se concluir que este objetivo foi cumprido como o esperado.

Em se tratando da simulação do caso reduzido, foi possível observar e corrigir alguns erros simples que tinham passado despercebidos até então, como a direção da aceleração da gravidade; o processamento foi rápido e os resultados foram condizentes com o esperado, após a correção de alguns parâmetros, foi possível também observar o efeito de um volume pequeno para a simulação, aprender sobre a utilização de sondas e conferir os resíduos das iterações.

A simulação final em tamanho original, como explicada no capítulo anterior, não pôde ser concluída, assim o processamento do caso e estudo dos resultados ficam como sugestão de trabalhos futuros.

Portanto a pesquisa foi de grande auxílio no entendimento de diversas disciplinas da grade de engenharia mecânica da Universidade Federal de Itajubá, pois os fundamentos de dinâmica dos fluidos são fundamentais para estas disciplinas e amplamente utilizado tendendo a especificar os conceitos (vistos de forma geral em transferência de calor) em suas respectivas áreas de estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus e às nossas famílias pelo apoio. Agradecemos também à CAPES e à FAPEMIG pela oportunidade, suporte tecnológico e financiamento, sem o qual nada disso seria possível.

REFERÊNCIAS

AIHARA T., MARUYAMA S., KOBAYAKAWA S., (1989), Free Convective/Radiative Heat Transfer from Pin-fin Arrays with a Vertical Base Plate, Japan, 10p.

CHAPMAN C. L., LEE S., SCHMIDT B. L., (1994), THERMAL PERFORMANCE OF AN ELLIPTICAL PIN FIN HEAT SINK, Aavid Engineering, Inc., Laconia, **New Hampshire and Silicon Graphics Computer Systems**, Mountainview, California, 7p.

GHIA U., GHIA K. N., (1982), **High-Re solutions for incompressible flow using the Navier-Stokes equations and a multigrid method**, University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, USA, 25p.

GOMES, L. A. C. N. (2015), **Estudo da Transferência de Calor em Dissipadores Usando OpenFOAM**, Itajubá, 96p. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

GOSHAYESHI H. R, AMPOFO F. (2009), **Heat Transfer by Natural Convection from a Vertical and Horizontal Surfaces Using Vertical Fins**, London, UK, 89p.

HALDAR S. C., MANNA S., (2011), **FREE CONVECTION LIMIT TO HEAT TRANSFER FROM**

HEATSINKS WITH SQUARE FINS ON A HORIZONTAL BASE: COMPARISON WITH CYLINDRICAL FINS, Haldia, Medinipur (E), West Bengal, India, 12p.

HOU S., ZOU Q., CHEN S., DOOLEN G. D., COGLEY A. C., (1993), **Simulation of Cavity Flow by the Lattice Boltzmann Method**, Los Alamos, NM, United States, 46p.

HUANG RT, SHEU WJ, WANG CC. **Orientation effect on natural convective performance of square pin fin heat sinks**. Int J Heat Mass Transfer 2008; 51p.

LEDEZMA G., BEJAN A., (1995), **Heat Sinks with Sloped Plate Fins in Natural and Forced Convection**, Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Duke University, Durham, 11p.

OMARI R., (2013), **CFD SIMULATIONS OF LID DRIVEN CAVITY FLOW AT MODERATE REYNOLDS NUMBER**, Department of Mathematics, Al-Balqa Applied University, Irbid University college, Irbid, Jordan, 35p.

SANTOS, Flávia Milo. **Análise Numérica da Transferência de Calor em Dissipadores Aletados**. 2009. 99p. Tese de Mestrado, Área de Aerodinâmica, Propulsão e Energia – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

WHITE, F.M., “**Fluid Mechanics**” Mc Graw Hill, 2002

YU S., LEE K., YOON S., (2010), **Natural Convection around a Radial Heat Sink**, Seoul, Republic of Korea, 4p.

SOBRE OS ORGANIZADORES

FRANCIELE BONATTO. Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)- Campus Guarapuava. Graduação e Mestrado em Engenharia de Produção pela UTFPR. Doutorado em andamento em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: *Supply Chain*, gestão da qualidade e gestão da produção.

JAIR DE OLIVEIRA Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Administrador de empresas pela UENP. Mestre em administração pela UFPR e doutor em engenharia de produção pela EESC-USP. Trabalha com os temas: Pequena empresa e Ensino para o empreendedorismo.

JOÃO DALLAMUTA. Professora assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, gestão Engenharia da Qualidade, Planejamento Estratégico, Estratégia de Marketing

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-125-1

