



Ingrid Winkler  
Lilian Lefol Nani Guarieiro  
Josiane Dantas Viana Barbosa  
Alex Álisson Bandeira Santos  
Jeancarlo Pereira dos Anjos  
Keize Katiane dos Santos Amparo  
Ilan Sousa Figueiredo  
(Organizadores)

# Ciência, Tecnologia e Inovação: Desafio para um Mundo Global

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Natália Sandrini  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
C569	<p>Ciência, tecnologia e inovação [recurso eletrônico] : desafio para um mundo global / Organizadores Ingrid Winkler... [et al.]. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Ciência, Tecnologia e Inovação. Desafio para um Mundo Global; v. 1)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia. ISBN 978-85-7247-501-3 DOI 10.22533/at.ed.013192907</p> <p>1. Ciência – Brasil. 2. Inovação. 3. Tecnologia. I. Winkler, Ingrid. II. Guarieiro, Lilian Lefol Nani. III. Barbosa, Josiane Dantas Viana. IV. Santos, Alex Álisson Bandeira. V. Anjos, Jeancarlo Pereira dos. VI. Amparo, Keize Katiane dos Santos. VII. Figueiredo, Ilan Sousa. VIII. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 506</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

O livro *Ciência, Tecnologia e Inovação: Desafio para um Mundo Global* é uma coletânea de trabalhos apresentados no IV International Symposium on Innovation and Technology (SIINTEC) e VIII Research and Innovation Workshop (PTI), eventos realizados entre os dias 24 a 26 de Outubro de 2018 no Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador – BA.

O Workshop PTI é um evento promovido desde 2011 pelo SENAI CIMATEC, com apoio do Departamento Nacional (SENAI DN) e tem o objetivo de contribuir significativamente para o desenvolvimento científico e tecnológico do país, buscando a participação massiva da academia e da indústria, envolvida em pesquisa e desenvolvimento, e o fomento da mudança cultural, a favor do espírito empreendedor, que deve ser promovido e cultivado desde cedo e ser um dos motores da inovação. Na sua oitava edição, o PTI aconteceu concomitantemente com o IV SIINTEC buscando inovar e ampliar a divulgação científica a um nível internacional e enriquecer os debates sobre o tema do evento.

O evento foi patrocinado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e pelo Departamento Nacional do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI/ DN) e gerou a oportunidade de discussão sobre os principais temas relativos às inovações tecnológicas como base para atendimento dos desafios para uma sustentabilidade global, trazendo à tona a realidade, as dificuldades e os bem sucedidos exemplos de integração do trinômio, Tecnologia, Produto e Mercado, principalmente no âmbito das empresas iniciantes de base tecnológica em prol da sustentabilidade.

No VIII PTI e IV SIINTEC foram realizadas palestras, painéis de discussão sobre o tema central do evento e apresentação dos artigos completos aceitos para publicação no anuário do evento, na forma oral e de pôster. Neste contexto, alguns trabalhos apresentados merecem destaque e foram selecionados para serem publicados como capítulos para compor este livro de coletâneas.

Desta forma, esta obra pretende apresentar os desafios da Ciência, Tecnologia e Inovação para um mundo global, promovendo debates e análises acerca de várias questões relevantes, por meio de seus 21 capítulos, divididos em três eixos fundamentais: Revisões de Literatura, Análises de Cases de Inovação e Estudos preliminares e comparativos em diversos domínios de aplicação.

O primeiro eixo aborda estudos sobre Revisões de Literatura em diversas áreas de conhecimento relevantes para a compreensão do tema, tais como: Logística Reversa na Gestão das Cadeias de Suprimento Sustentáveis, Conectividade Veicular, Metodologias de Comissionamento para Implantação de Novo Processo em uma Planta Industrial, Realidade Aumentada na Indústria, Monitoramento de Frotas, Classificação Automática de Eletrocardiograma (ECG), Geração de Energia Eólica e Produção de Biosurfactantes no Refino do Processamento de Oleaginosas.

No segundo eixo, o foco foi dado à análise de diversos casos de inovação na perspectiva teórica neoschumpeteriana, em contextos distintos, como uma indústria química, uma startup na área de biotecnologia, uma spin-off do setor energético e uma empresa da indústria de compressores.

Finalmente, no terceiro eixo, foram abordados temas relacionados à análise de diversos experimentos, tais como: comparações de sobretensões atmosféricas e de desempenho de aterramento em torres de transmissão, reuso de efluente na indústria têxtil, utilização de jatos contínuos de ar para arrasto de partículas depositadas em módulo fotovoltaico através de fluidodinâmica computacional, tratamento biológico de efluente empregando bioaumentador, a influência de fatores geométricos de peça e ferramenta sobre a precisão de trajetórias de ferramenta para microfresamento e desempenho de misturas diesel com diferentes teores de biodiesel de OGR.

Nesse sentido, esta obra constitui-se como uma coletânea de excelentes trabalhos, na forma de experimentos e vivências de seus autores. Certamente os trabalhos apresentados nesta obra são de grande relevância para o meio acadêmico, proporcionando ao leitor textos científicos que permitem análises e discussões sobre assuntos pertinentes para compreensão dos desafios atuais da Ciência, Tecnologia e Inovação para um mundo global.

Os nossos agradecimentos a cada leitor pela contribuição com esta obra. Aos leitores, desejamos uma leitura proveitosa e repleta de novas reflexões significativas sobre o tema.

Ingrid Winkler  
Lilian Lefol Nani Guarieiro

## SUMÁRIO

### REVISÕES DE LITERATURA

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PRODUÇÃO DE BIOSURFACTANTES UTILIZANDO COMO SUBSTRATO RESÍDUOS DO REFINO DO PROCESSAMENTO DE OLEAGINOSAS – UMA REVISÃO	
Márcio Costa Pinto da Silva Edna dos Santos Almeida Érika Durão Vieira Itana Rodrigues Ferreira	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0131929071</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>9</b>
CONECTIVIDADE VEICULAR PARA REDUÇÃO DE EMISSÕES: UMA BREVE REVISÃO	
Marcus Vinícius Ivo da Silva Lilian Lefol Nani Guarieiro Paulo Renato Câmara da Silva Rafael Barbosa Mendes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0131929072</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>17</b>
LOGÍSTICA REVERSA COMO INSTRUMENTO DA GESTÃO DAS CADEIAS DE SUPRIMENTO SUSTENTÁVEIS – REVENDO A LITERATURA	
Clara Barretto Handro Francisco Uchoa Passos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0131929073</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>24</b>
METODOLOGIAS DE COMISSONAMENTO PARA IMPLANTAÇÃO DE NOVO PROCESSO EM UMA PLANTA INDUSTRIAL: UMA BREVE REVISÃO	
Valmir da Cruz de Souza Lílian Lefol Nani Guarieiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0131929074</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>31</b>
REALIDADE AUMENTADA E APRENDIZADO DE MAQUINA PARA TRACKING NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: UMA REVISÃO DA LITERATURA	
Rosalvo Matos Neto Liz Azevedo Ingrid Winkler Valter de Senna	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0131929075</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>39</b>
REALIDADE AUMENTADA E EFICIÊNCIA NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA	
Camila Santana Rossi Alex Álisson Bandeira Santos Ingrid Winkler Marinilda Lima Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.0131929076</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 47**

TECNOLOGIA DE *LOW POWER WIDE AREA NETWORK* (LPWAN) PARA MONITORAMENTO DE FROTAS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Paulo Renato Câmara da Silva  
Herman Augusto Lepikson  
Marcus Vinícius Ivo da Silva  
Rafael Barbosa Mendes

**DOI 10.22533/at.ed.0131929077**

**CAPÍTULO 8 ..... 55**

UMA REVISÃO DE LITERATURA SOBRE TÉCNICAS PARA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE ELETROCARDIOGRAMA (ECG)

Jandson Santos Nunes  
Valter de Senna

**DOI 10.22533/at.ed.0131929078**

**CAPÍTULO 9 ..... 61**

ASPECTOS DO GERENCIAMENTO DA ETAPA DE ENCERRAMENTO DO CONTRATO DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA NO BRASIL, COM ENFOQUE NA BAHIA

Lívia Fernanda Tavares Ornellas  
Luzia Aparecida Tofaneli  
Alex Álisson Bandeira Santos

**DOI 10.22533/at.ed.0131929079**

**ANÁLISES DE CASES DE INOVAÇÃO**

**CAPÍTULO 10 ..... 69**

ESTUDO DE CASO: INOVAÇÃO PARA DIVERSIFICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA QUÍMICA À LUZ DA ABORDAGEM NEOSCHUMPETERIANA

Alfredo Ruben Corniali  
Lara Machado Nelli  
Mariana Inah de Almeida  
Ingrid Winkler  
Renelson Sampaio

**DOI 10.22533/at.ed.01319290711**

**CAPÍTULO 11 ..... 79**

O CASE SUNEW ANALISADO NA ÓTICA NEO- SCHUMPETERIANA

Clara Barretto Handro  
Lívia Fernanda Tavares Ornellas  
Marcio Costa Pinto da Silva  
Ingrid Winkler  
Renelson Sampaio

**DOI 10.22533/at.ed.01319290711**



**CAPÍTULO 12 ..... 87**

O CASO DA NEOVECH – BIOTECNOLOGIA: PLATAFORMA PARA INOVAÇÕES EM DIFERENTES SEGMENTOS, UMA ANÁLISE SOB A ABORDAGEM NEO-SCHUMPETERIANA

Gabriela Chaves Valente

Taís Costa Lima

Silmar Batista Nunes

Ingrid Winkler

Renelson Sampaio

**DOI 10.22533/at.ed.01319290712**

**CAPÍTULO 13 ..... 95**

O CASE WISEMOTION SOB A ÓTICA NEOSCHUMPETERIANA

Antônio Rimaci Miguel Junior

Valmir da Cruz de Souza

Caroline C. Fernandes da Costa

Ingrid Winkler

Renelson Ribeiro Sampaio

**DOI 10.22533/at.ed.01319290713**

**CAPÍTULO 14 ..... 103**

UMA ANÁLISE DO CASE CLIEVER NA PERSPECTIVA SCHUMPETERIANA

Pedro Martins de Oliveira

Luciano Moura Costa Doria

Almir Filho

Renelson Ribeiro Sampaio

Ingrid Winkler

**DOI 10.22533/at.ed.01319290714**

**ESTUDOS PRELIMINARES E COMPARATIVOS EM DIVERSOS DOMÍNIOS DE APLICAÇÃO**

**CAPÍTULO 15 ..... 111**

ESTUDO COMPARATIVO DE SOBRETENSÕES ATMOSFÉRICAS EM DIFERENTES MODELOS DE TORRES DE TRANSMISSÃO

Raniere Varon Fernandes Mimoso

Guilherme Saldanha Kroetz

Daniel Travassos Afonso Bomfim

Frederico Ramos Cesário

**DOI 10.22533/at.ed.01319290715**

**CAPÍTULO 16 ..... 120**

ESTUDO COMPARATIVO DO DESEMPENHO DE ATERRAMENTO EM TORRES DE TRANSMISSÃO

Daniel Travassos Afonso Bomfim

Guilherme Saldanha Kroetz

Raniere Varon Fernandes Mimoso

Frederico Ramos Cesário

**DOI 10.22533/at.ed.01319290716**

<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>128</b>
ESTUDO DE PROCESSOS DE REUSO DE EFLUENTE EM UMA INDÚSTRIA TÊXTIL	
Clara Rodrigues Pereira	
Lílian Lefol Nani Guarieiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01319290717</b>	
<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>136</b>
ESTUDO PRELIMINAR DA UTILIZAÇÃO DE JATOS CONTÍNUOS DE AR PARA ARRASTO DE PARTÍCULAS DEPOSITADAS EM UMA FV ATRAVÉS DE FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL	
Pedro Freire de Carvalho Paes Cardoso	
Turan Dias Oliveira	
Paulo Roberto Freitas Neves	
Juliana de Oliveira Cordeiro	
Luzia Aparecida Tofaneli	
Alex Álisson Bandeira Santos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01319290718</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>144</b>
TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTE EMPREGANDO BIOAUMENTADOR	
Stephanie de Melo Santana	
Edna dos Santos Almeida	
Michelle Cruz Costa Calhau	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01319290719</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>151</b>
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES GEOMÉTRICOS DE PEÇA E FERRAMENTA SOBRE A PRECISÃO DE TRAJETÓRIAS DE FERRAMENTA PARA MICROFRESAMENTO	
Marcus Vinícius Pascoal Ramos	
Guilherme Oliveira de Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01319290720</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>160</b>
AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE MISTURAS DIESEL COM DIFERENTES TEORES DE BIODIESEL DE OGR	
Arx Henrique Pedreira Reis Bastos	
Keize Katiane dos Santos Amparo	
Egídio Teixeira de Almeida Guerreiro	
Maurício Lerina Bonifati	
Elliete Costa Alves	
Guilherme Cunha Martins	
Alex Brasil	
Caio Henrique Alves Maciel	
Rodrigo Alberto Moreira Gomes	
Lílian Lefol Nani Guarieiro	
<b>DOI 10.22533/at.ed.01319290721</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>168</b>

## ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE FATORES GEOMÉTRICOS DE PEÇA E FERRAMENTA SOBRE A PRECISÃO DE TRAJETÓRIAS DE FERRAMENTA PARA MICROFRESAMENTO

**Marcus Vinícius Pascoal Ramos**

Centro Universitário SENAI CIMATEC

Salvador - Bahia

**Guilherme Oliveira de Souza**

Centro Universitário SENAI CIMATEC

Salvador - Bahia

**RESUMO:** Durante a geração de trajetórias de ferramenta utilizando softwares CAM, maiores cuidados devem estar voltados à precisão destas trajetórias. Esta precisão possui relação direta com a tolerância CAM, que, assim como outros fatores, relacionados à diâmetro da ferramenta, penetração de trabalho e profundidade de usinagem, deve ser parametrizada nestes softwares. Em operações de microfresamento, uma das grandes preocupações é a de que os softwares CAM gerem trajetórias de ferramenta capazes de garantir a precisão requerida pelo processo. Neste contexto, este trabalho possui como objetivo avaliar a influência dos fatores raio de curvatura convexa da superfície usinada, diâmetro da ferramenta e tolerância CAM, no desvio médio das trajetórias de ferramenta geradas por dois softwares CAM comercialmente disponíveis. Para isto, foram criados modelos CAD e trajetórias CAM representativas desta escala, calculados os desvios de trajetória de ferramenta, resposta desta pesquisa, em seguida, estes desvios

foram avaliados sob o ponto de vista estatístico. Para os fatores, raio da geometria e diâmetro da ferramenta, não foram identificadas diferenças significativas para estes fatores e suas interações, entretanto, a tolerância CAM foi o fator mais influente. A tolerância de 0,01 mm apresentou o maior desvio de trajetória, já para as tolerâncias de 0,001 e 0,0001 mm, não foram encontradas diferenças significativas nas análises, indicando irrelevância estatística e demonstrando não existir distinção entre os softwares adotados ao trabalharem nestas escalas.

**PALAVRAS-CHAVES:** Microfresamento; CAM; Tolerâncias; Trajetória de ferramenta.

### ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF GEOMETRIC FACTORS OF WORKPIECE AND TOOL ON THE PRECISION OF MICROMILLING TOOL PATHS

**ABSTRACT:** During the tool path generation using CAM software, greater care should be given to the accuracy of these trajectories. This precision is directly related to the CAM tolerance, which, as well as other factors related to tool diameter, stepover and depth of cut, should be parameterized in these softwares. In micromilling operations, one of the main concerns is that CAM software generate tool

trajectories capable of guaranteeing the precision required by the process. In this context, this work aims to evaluate the influence of the factors of curvature of convex curvature of the machined surface, tool diameter and CAM tolerance, in the average deviation of the tool trajectories generated by two commercially available CAM software. For this, CAD models and CAM trajectories were created that were representative of this scale, calculated the tool trajectory deviations and the response of this research, then evaluated from the statistical point of view. For the factors, radius of the geometry and diameter of the tool, no significant differences were identified for these factors and their interactions, however, the CAM tolerance was the most influential factor. The tolerance of 0.01 mm presented the greatest deviation of trajectory, already for the tolerances of 0.001 and 0.0001 mm, no significant differences were found in the analyzes, indicating statistical irrelevance and demonstrating that there was no distinction between the software adopted when working on these scales.

**KEYWORDS:** Micromilling; CAM; Tolerances; Tool Path.

## 1 | INTRODUÇÃO

A usinagem é um dos principais processos de fabricação utilizados para a fabricação de micropeças e, em particular, o microfresamento vem recebendo destaque. Sua vantagem mais atraente advém da capacidade de fabricação de geometrias tridimensionais complexas, em vários materiais, formas e interfaces funcionais, além da possibilidade da usinagem de materiais com elevada razão de esbeltez (CHOI; JERARD, 2012) (GHERMAN et al., 2017) (POPOV et al., 2006).

Este processo, devido à escala micro e à complexidade das geometrias processadas, necessita de suporte computacional para a sua realização, o que é feito por meio de tecnologias CNC (Comando Numérico Computadorizado) e CAM (*Computer Aided Manufacturing*). O papel desta última tecnologia é o de gerar trajetórias de ferramenta que serão posteriormente transformadas em programas CN (Comando Numérico) para serem executados em máquinas CNC.

As trajetórias de ferramenta são calculadas a partir de um modelo geométrico 3D gerado em um software CAD em um processo conhecido como *Tool Path Generation* (Geração de Trajetória de Ferramenta). Para isto, os sistemas CAM disponibilizam rotinas parametrizáveis que, além do modelo geométrico da peça, levam em consideração outras informações, como as da geometria de ferramenta, do padrão de movimentação a ser adotado, das grandezas de penetração  $a_p$  (profundidade de usinagem) e  $a_e$  (penetração de trabalho) e da tolerância geométrica. Este último parâmetro deve informar o quanto é tolerável que a trajetória de ferramenta calculada pelo CAM se afaste da geometria de referência, o modelo CAD da peça e, portanto, tem forte relação com a precisão da operação de fresamento que utilizará o programa CN gerado.

O que resulta desse processo é um arquivo nativo, conhecido como CLDATA

(*Cutter Location Data File*) que consiste basicamente de uma sucessão de pontos de localização de ferramenta, conhecidos como CL (*Cutter Location*), pelos quais a ferramenta deve passar. O programa CN é criado a partir do arquivo CLDATA na etapa de pós-processamento, que traduz a trajetória de ferramenta para uma linguagem apropriada para o CNC da máquina em que a operação será executada (THEPSONTHI; ÖZEL, 2014).

No que se refere ao microfresamento, ainda que o mercado de softwares CAM seja altamente fragmentado e competitivo, poucos softwares comercialmente disponíveis assumem ser dedicados ou possuem módulos especiais voltados às operações em microescala. Sob esse aspecto, um software CAM para operações de usinagem em escala convencional nem sempre apresentará resultados satisfatórios em operações de microescala (CHOI; JERARD, 2012).

Uma das principais preocupações é com a precisão das trajetórias de ferramenta geradas, que precisa atender aos requisitos de precisão micrométricos e submicrométricos de operações de microfresamento. Neste sentido, este artigo tem como objetivo verificar se as proporções da geometria a ser usinada e da fresa a ser utilizada possuem influência na precisão das trajetórias de ferramenta geradas. Para tal, foi analisada a influência dos fatores, raio de curvatura convexa da superfície a ser usinada, diâmetro da fresa e tolerância CAM, sobre o desvio médio calculado das trajetórias de ferramenta geradas por dois softwares CAM comercialmente disponíveis, um que se propõe a gerar trajetórias para microfresamento e outro que não.

## 2 | METODOLOGIA

A influência dos fatores geométricos de peça e ferramenta sobre a precisão das trajetórias de ferramenta foi analisada estatisticamente e o experimento foi delineado como fatorial completo, com 4 fatores de controle em 2 e 3 níveis, conforme informado na Figura 1. Para determinar a precisão das trajetórias de ferramenta, foram calculados os desvios das trajetórias com relação a um modelo analítico de referência. Estes desvios foram, portanto, as respostas do experimento utilizadas na análise estatística.

<b>Fatores de controle</b>	<b>Níveis</b>	<b>Respostas</b>
Raio da geometria (RG)	0,5 mm; 1 mm; 10 mm	Desvios das trajetórias da ferramenta
Diâmetro da ferramenta (DF)	0,1 mm; 0,5 mm; 1 mm	
Tolerância (TOL)	0,01 mm; 0,001 mm; 0,0001 mm	
Softwares CAM (CIM ou HSM)	Cimatron; Inventor HSM	

**Figura 1.** Fatores de controle, níveis e respostas da pesquisa.

Dois sistemas CAM comercialmente disponíveis foram utilizados nesta pesquisa. O primeiro, o software *Cimatron E14*, do fabricante *3D Systems*, é o

único software comercial que anuncia capacidade de gerar trajetórias de ferramenta para microfresamento através de um módulo específico integrado, e o *Inventor HSM Ultimate*, versão 2017, da *Autodesk*, que disponibiliza licença sem custo para estudantes e instituições de ensino. Foram geradas 27 trajetórias para cada sistema CAM e os arquivos CLDATA foram utilizados para o cálculo e análise dos desvios.

Para o cálculo dos desvios, pontos de referência foram calculados utilizando o software *Microsoft Excel 2017*, que dispõe de uma resolução de 15 dígitos. Os cálculos utilizados para a determinação do desvio ( $\Delta_{cl}$ ), obedeceram às relações representadas na Figura 2. A seguir, são listadas as considerações fundamentais para este cálculo:

- as superfícies usinadas foram cilíndricas, com raio conhecido (0,5, 1 e 10 mm) e modeladas em torno do eixo Y;
- essas superfícies constituíam modelos CAD nativos, ou seja, foram modeladas em arquivos separados para cada superfície diretamente nos módulos CAD dos softwares adotados;
- as trajetórias de ferramenta foram compostas de passes paralelos com direção de avanço perpendicular ao eixo de simetria da superfície cilíndrica;
- a curva composta pelos pontos de contato (CC), ou tangência, da ferramenta com a superfície cilíndrica eram arcos de raio conhecido e igual ao da superfície em usinagem  $R_g$  (0,5, 1 e 10 mm), com centro em  $(X; Z) = (0;0)$  e contidos em planos paralelos ao plano XZ;
- para cada trajetória de ferramenta, os desvios foram calculados apenas para um trecho de 1 passe (1 arco), considerado do primeiro ao último ponto em que havia contato, ou seja, desconsiderando movimentos de engajamento e saída.

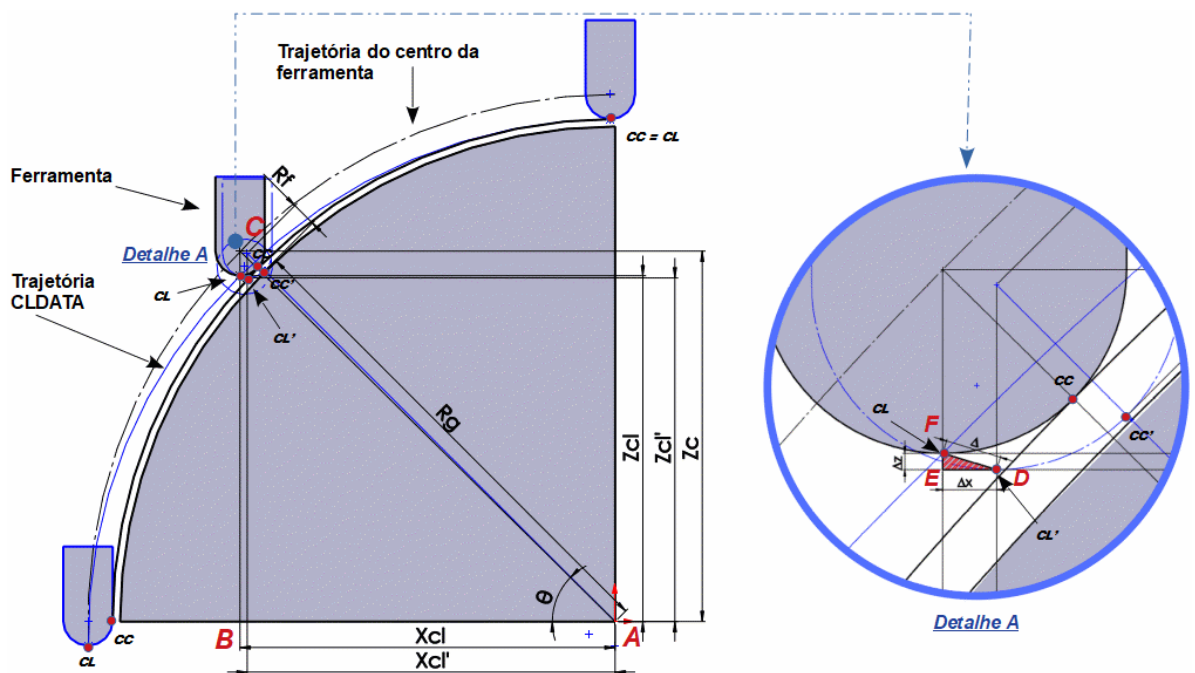


Figura 2. Representação geométrica para o cálculo dos desvios de trajetória.

Desta forma, a partir da posição em Z do arquivo CLDATA ( $Z_{cl}$ ) e conhecendo o raio ( $R_f$ ) da ponta da ferramenta de topo esférico, foi possível encontrar a coordenada Z do centro da esfera ( $Z_c$ ) para cada ponto e determinar a trajetória do centro da ferramenta, conforme Equação 1.

$$Z_c = Z_{cl} + R_f \quad (1)$$

Com a determinação da posição do centro da ferramenta, assumindo que a posição em X ( $X_{cl}$ ) permanece a mesma, da relação trigonométrica observada a partir do triângulo ABC da Figura 2, foi possível determinar o ângulo de posição da ferramenta ( $\theta$ ) para cada ponto CL das trajetórias (Equação 2):

$$tg \theta = \frac{Z_c}{X_{cl}} = \frac{Z_{cl} + R_f}{X_{cl}} \rightarrow \theta = arctg\left(\frac{Z_{cl} + R_f}{X_{cl}}\right) \quad (2)$$

Na sequência, cada ângulo de posição ( $\theta$ ) foi utilizado para calcular um Ponto de Referência ( $X_{cl'}$ ;  $Z_{cl'}$ ), determinado considerando novamente a relação trigonométrica do triângulo ABC, além da informação do raio da superfície cilíndrica ( $R_g$ ) através das Equações 3 e 4.

$$sen \theta = \frac{Z_c}{R_g + R_f} = \frac{Z_{cl'} + R_f}{R_g + R_f} \rightarrow Z_{cl'} = sen \theta \cdot (R_g + R_f) - R_f \quad (3)$$

$$cos \theta = \frac{X_{cl'}}{R_g + R_f} \rightarrow X_{cl'} = cos \theta \cdot (R_g + R_f) \quad (4)$$

O Ponto de Referência ( $X_{cl'}$ ;  $Z_{cl'}$ ) corresponde à posição da ferramenta, para um determinado ângulo de posição  $\theta$ , calculado por um modelo analítico. Ou seja, essas seriam as coordenadas da posição da ferramenta para um determinado ângulo de posição  $\theta$ , caso a trajetória da ferramenta fosse calculada utilizando um modelo analítico. Logo, os desvios de posição das coordenadas foram encontrados a partir da diferença entre a posição calculada pelos softwares CAM ( $X_{cl}$  e  $Z_{cl}$ ) e a posição das coordenadas calculadas a partir do modelo analítico ( $X_{cl'}$  e  $Z_{cl'}$ ), descrita nas Equações 3 e 4. Portanto, as Equações 5 e 6, determinam a variação dos desvios de posição para as coordenadas X ( $\Delta_x$ ) e Z ( $\Delta_z$ ).

$$\Delta_x = X_{cl'} - X_{cl} \quad (5)$$

$$\Delta_z = Z_{cl'} - Z_{cl} \quad (6)$$

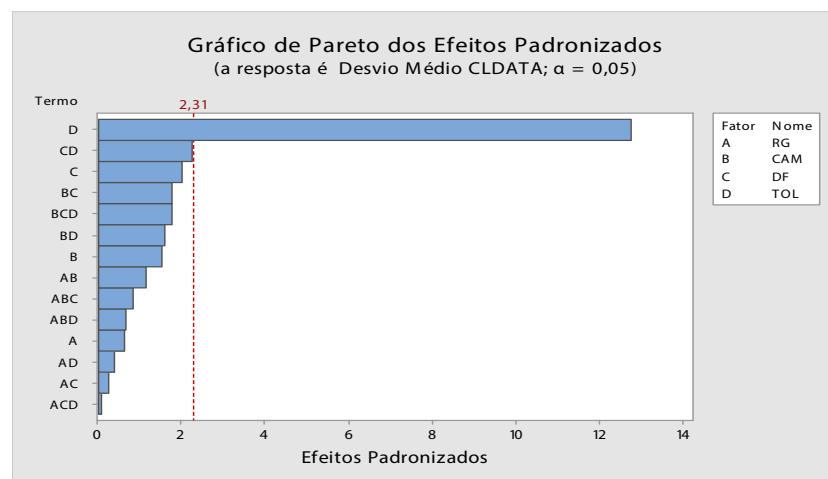
Por fim, o *Detalhe A* da Figura 2 ilustra, na forma de linhas tracejadas da ferramenta e trajetória, o desvio ( $\Delta_{cl}$ ) encontrado entre a trajetória gerada pelos softwares CAM e a trajetória calculada analiticamente, sendo assim, atendendo a relação trigonométrica do triângulo *DEF* gerado nesta nova posição pelos pontos de localização esperada da ferramenta (*CL'*) e de localização *CLDATA* (*CL*), foi possível determinar os desvios entre trajetórias (Equação 7):

$$\Delta_{cl} = \sqrt{(\Delta_x^2 + \Delta_z^2)} \quad (7)$$

A significância dos fatores foi analisada mediante o gráfico de Pareto e o de efeitos principais, para isso, utilizando a versão de avaliação do software estatístico *Minitab 18*. Todos os testes foram realizados adotando um nível de confiança de 95% para todos os intervalos, o que corresponde a um nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o gráfico de Pareto dos efeitos para os fatores: raio da geometria (A), software CAM (B), diâmetro da ferramenta (C) e tolerância de trajetória (D), individuais e combinados, sobre o desvio de trajetória médio.

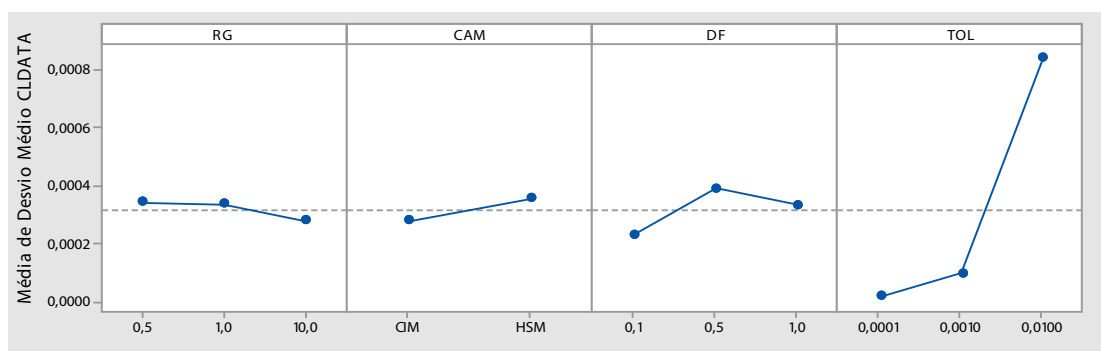


**Figura 3.** Gráfico de Pareto dos efeitos padronizados dos fatores analisados sobre o desvio de trajetória médio.



Conforme análise do gráfico, as barras que cruzam a linha de referência (em 2,31), são consideradas estatisticamente significativas. Nesse caso, observa-se que os fatores avaliados não apresentam influência significativa no desvio médio das trajetórias (com 95% de confiança), com exceção da tolerância (D). Isto significa que não há relevância estatística nos desvios em decorrência da variação o raio da geometria (A), diâmetro da ferramenta (C), software CAM (B) e na interação entre eles. Portanto, enfatiza-se que a variável mais influente entre os fatores no desvio da trajetória é a tolerância.

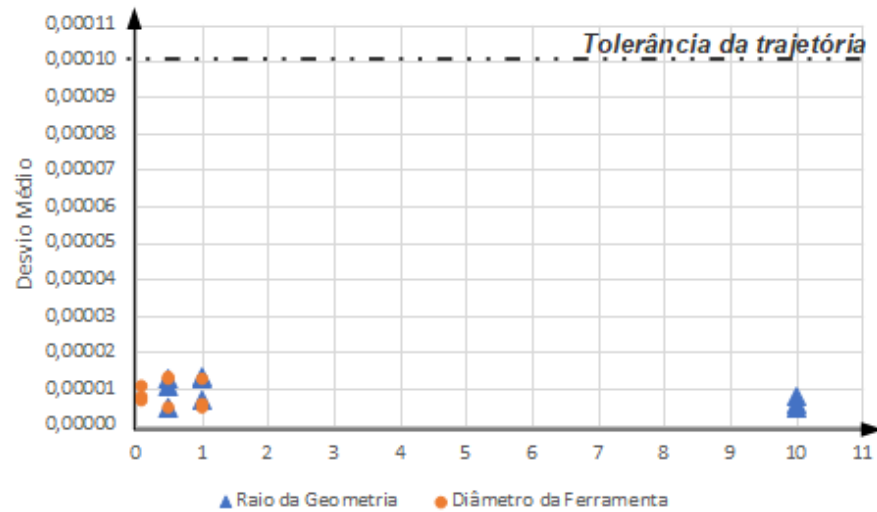
Como o gráfico de Pareto exhibe o valor absoluto dos efeitos, é possível determinar quais fatores, ou combinação destes, possui maior influência do desvio médio das trajetórias, no entanto, não é possível determinar de modo específico quais efeitos possuem influência no aumento ou redução dos desvios de trajetória. Assim sendo, para apoiar adequadamente as considerações aqui descritas, o gráfico de efeitos principais foi investigado. As avaliações gráficas estabelecidas pela análise dos efeitos principais em torno das médias, caracterizando a influência de cada fator isoladamente no desvio médio para as trajetórias da ferramenta geradas a partir do arquivo CLDATA, podem ser feitas a partir da Figura 4.



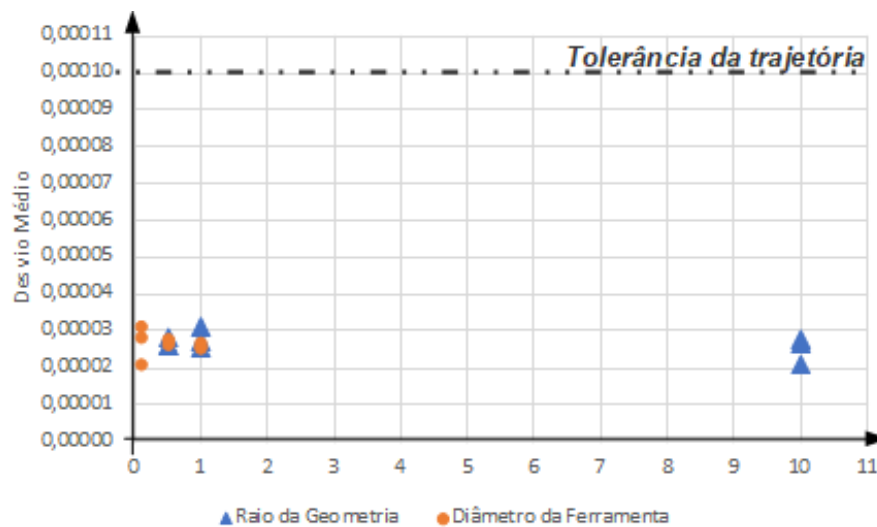
**Figura 4.** Gráfico de efeitos principais para o desvio médio gerado a partir do CLDATA.

Assim como analisado no gráfico de Pareto, o gráfico de efeitos principais mostra que a tolerância apresentou maior variação em torno da média e distanciamento entre os níveis e, portanto, exerce maior influência nos desvios médios das trajetórias, quando comparada com os outros fatores. Considerando os efeitos individuais dos níveis no fator tolerância, pode-se observar que os maiores desvios de trajetória foram encontrados para a tolerância de 0,01 mm. Percebe-se, entretanto, que não existem diferenças estatísticas para as tolerâncias de 0,001 mm e 0,0001 mm. Nestes casos, a faixa de variação destes desvios é extremamente pequena.

Visando avaliar o comportamento dos desvios médios das trajetórias dentro das faixas de tolerâncias, em especial para a tolerância de 0,0001 mm, indicada para o microfresamento, foram verificadas as posições destes desvios dentro da banda de tolerância estabelecida nos softwares CAM, conforme Figuras 5 e 6 a seguir.



**Figura 5.** Gráfico representativo dos pontos de desvios médios para a banda de tolerância de 0,0001 mm do CLDATA do *Inventor HSM*.



**Figura 6.** Gráfico representativo dos pontos de desvios médios para a banda de tolerância de 0,0001 mm do CLDATA do *Cimatron*.

Da análise das figuras, foi possível inferir que, para as trajetórias geradas, os dois softwares CAM apresentaram desvios dentro da banda de tolerância estabelecida nas configurações de trajetória destes softwares (0,0001 mm) e, portanto, apresentam precisão de cálculo adequada para aplicações de microfresamento.

#### 4 | CONCLUSÃO

A análise do gráfico dos efeitos principais e de Pareto permitiu avaliar que os fatores, raio de geometria, diâmetro da ferramenta e software CAM, não possuem influência significativa nos desvios gerados das trajetórias dos softwares CAM, individualmente, ou quando se relacionam, indicando irrelevância estatística. Por outro lado, foi possível apreciar que o fator que apresentou maior influência nos desvios de trajetórias da ferramenta, individualmente e nas interações com outros fatores, foi a tolerância.

Os maiores desvios de trajetória encontrados estão relacionados com a tolerância de 0,01 mm. Para tolerâncias na faixa micrométrica (0,001 mm) e submicrométrica (0,0001 mm), os desvios não são considerados significativos para os diversos fatores e suas interações. Sendo assim, no que tange à utilização dos softwares estudados, não foi evidenciada significância estatística que os diferencie.

A análise de posição dos desvios médios das trajetórias dentro da banda de tolerância de 0,0001 mm (Figuras 5 e 6), configurada nos softwares CAM e recomenda para o microfresamento, corrobora a conclusão de que, em termos de precisão dos cálculos matemáticos de geração de trajetórias, não foram encontradas diferenças entre os dois softwares avaliados para a geração de trajetórias com tolerâncias recomendadas para aplicações em microfresamento. O que é uma conclusão importante, uma vez que aponta para a possibilidade de gerar trajetórias de microfresamento em softwares CAM que não têm módulos dedicados a estas aplicações.

Por fim, é importante mencionar que a metodologia do cálculo empregado neste trabalho avalia de forma individual o desvio de trajetória de ferramenta na condição em que existam pontos em desvio entre a posição local ao longo da trajetória e o ponto ideal local, que por sua vez, resultaria em tangência com a superfície da peça, não levando em consideração os pontos de desvio que estejam entre a posição ideal local (tangência) e a posição local, que resultaria em invasão da ferramenta sobre a peça (desvio cordal).

## REFERÊNCIAS

CHOI, B. K.; JERARD, R. B. **Sculptured surface machining: theory and applications**. Springer Science & Business Media, 2012.

GHERMAN, L.; GLEADALL, A.; BAKKER, O. RATCHEV, S. **Manufacturing Technology: Micro-machining**. In: FASSI, I.; SHIPLEY, D. (Ed.). **Micro-Manufacturing Technologies and Their Applications: A Theoretical and Practical Guide**. Cham: Springer, 2017. Cap. 4. p. 97-127.

POPOV, K.; DIMOV, S.; PHAM, D.; IVANOV, A. **Micromilling strategies for machining thin features**. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, v. 220, n. 11, p. 1677–1684, 2006.

THEPSONTHI, T.; ÖZEL, T. **An integrated toolpath and process parameter optimization for high-performance micro-milling process of Ti-6Al-4V titanium alloy**. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 75, n. 1–4, p. 57–75, 2014.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**INGRID WINKLER** Professora e Pesquisadora dos PPGs Stricto Sensu em Gestão e Tecnologia Industrial (GETEC) e em Modelagem Computacional (MCTI) do Centro Universitário SENAI CIMATEC, é graduada em Computação pela Universidade Mackenzie (1998) e Doutora em Administração pela Universidade Federal da Bahia (2012), com estágio doutoral na Ecole de Gestion - HEC Montreal. É líder do Grupo de Pesquisa CNPQ Realidade Aumentada, Realidade Virtual e interfaces inovadoras para Interação Humano-Computador na Indústria, Saúde e Educação, onde investiga temas relacionados à Indústria 4.0, Manufatura Avançada, eHealth, Tecnologias Assistivas e Metodologias Ativas de Ensino, entre outros. Possui sólida experiência na captação de recursos e execução de projetos de pesquisa aplicada, contribuindo de forma direta para o aumento da competitividade da indústria brasileira ao coordenar 23 projetos de inovação e desenvolvimento tecnológico financiados por players como EMBRAER, SHELL, VALE, FORD, TOTVS, Petrobras e startups, através de recursos da EMBRAPPII (Empresa Brasileira de Inovação Industrial), ANP (Agência Nacional de Petróleo) e SEBRAE, entre outros programas de fomento.

**LILIAN LEFOL NANI GUARIEIRO** Possui Graduação em Química pelo Centro Universitário de Lavras (2003), Mestrado em Química Orgânica e Especialização em Química do Petróleo pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2006), Doutorado em Química Analítica pela Universidade Federal da Bahia (2010), Doutorado Sanduíche na Virginia Polytechnic Institute and State University em Blacksburg, VA-EUA e Pos-Doc pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energia e Ambiente (2011). Foi membro afiliado da Academia Brasileira de Ciências para o quinquênio 2014-2018 e é membro Júnior da Academia de Ciências da Bahia. Atualmente é Professor Adjunto do SENAI CIMATEC, Salvador-BA onde atua como Coordenadora do Mestrado Profissional de Desenvolvimento Sustentável (MPDS), Coordenadora do Laboratório de Pesquisa Aplicada em Química (LIPAQ), Membro do Corpo Docente do CONSU e do CONSEPE do Centro Universitário SENAI Bahia (SENAI CIMATEC) e Membro permanente dos Programas de Pós Graduação (PPG) em Gestão e Tecnologia (GETEC), PPG em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (MCTI) e MPDS. Já recebeu os prêmios: (2007) Best of Biorenewables (ACS). (2009 e 2011) Prêmio PUBLIC-FAPEX, (2010) Prêmio Inventor UFBA, (2012) Medalha RVq, (2012) Prêmio Ciência Tecnologia e Inovação em Biodiesel, (2013) Inova SENAI e (2014) Prêmio PubliTec.

**JOSIANE DANTAS VIANA BARBOSA** Graduada em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2004) e Pós-graduada em nível de Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Campina Grande (2011). Atualmente é Coordenadora do Mestrado Profissional e do Doutorado em Gestão e Tecnologias Industriais - PPGGETEC. É docente dos Programas de pós-graduação em Gestão e Tecnologias Industriais - GETEC no SENAI CIMATEC e no Programa de Tecnologias em Saúde na Faculdade Bahiana de Medicina. Atuou por seis anos como Gerente da área de Materiais no SENAI CIMATEC, desempenhando atividades de coordenação de equipe, projetos de P&D&I e gestão da qualidade de laboratórios de calibração e ensaios mecânicos. No âmbito de projetos de pesquisa vêm desenvolvendo estudos relacionados a nanocompósitos, blendas de polímeros biodegradáveis, processamento de polímeros, compósitos poliméricos, biomateriais, e materiais aplicados a saúde. Atualmente trabalha no Projeto de Implantação do Instituto de Tecnologia em Saúde - ITS CIMATEC.

**ALEX ÁLISSON BANDEIRA SANTOS** Doutorado pelo Programa de Energia e Ambiente do Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente (CiEnAm) da Universidade Federal da Bahia (2010). Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Bahia (1998) e Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (2001). Professor e Pesquisador do SENAI CIMATEC, e, Membro Sênior da Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM). Coordenador do Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC. Também no SENAI CIMATEC, foi Gerente do Departamento de Eficiência Energética e Energias Renováveis e do Departamento de Manutenção Industrial. Coordenou projetos de infraestrutura e de P&D com empresas de atuação nacional e internacional, como também com financiamento de agências e secretarias de estado como CNPq, FINEP, SECTI/Governo da Bahia, SEINFRA/Governo da Bahia e FAPESB. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica atuando principalmente nos seguintes temas: combustão industrial, formação e controle da fuligem e de NOx, energia, engenharia térmica, manutenção industrial, eficiência energética de processos e equipamentos industriais.

**JEANCARLO PEREIRA DOS ANJOS** Possui graduação em Química (Licenciatura) pela Universidade Federal de Lavras - UFLA (2008) e Mestrado em Agroquímica (2010) pela mesma universidade. cursou o Doutorado em Química pela Universidade Federal da Bahia - UFBA (2014), com ênfase em Química Analítica. Foi bolsista de Pós-doutorado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Energia e Ambiente (INCT - E&A), na Universidade Federal da Bahia - UFBA (2014-2016). Atualmente, é Professor adjunto e vice-coordenador do Mestrado Profissional em Desenvolvimento Sustentável no Centro Universitário SENAI CIMATEC (Salvador-BA). Tem experiência na área de Química, atuando principalmente nos seguintes temas: técnicas de separação (cromatografia líquida e cromatografia a gás), técnicas de preparação de amostras (extração, pré-concentração e clean-up), análises físico-químicas de aguardente, controle de qualidade de bebidas e coleta/análise de poluentes atmosféricos (fase gasosa e particulada)

**KEIZE KATIANE DOS SANTOS AMPARO** Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial no SENAI CIMATEC. Possui graduação em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário Jorge Amado (2016) e graduação em Tecnólogo em Sistemas Automotivos pela Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC (2013). Atualmente é bolsista de Desenvolvimento e Inovação Tecnológica da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC.

**ILAN SOUSA FIGUEIREDO** Possui graduação em Engenharia de Petróleo pelo Centro Universitário Jorge Amado (2013), especialização em Engenharia de Dutos pela PUC-Rio (2015), mestrado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (MCTI) pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC (Departamento Regional da Bahia). Atualmente é doutorando em MCTI no Senai Cimatec com linha de pesquisa voltada para a área de Engenharia e Modelagem Computacional. Foi professor da Universidade Regional da Bahia nos cursos de Engenharia Química, Engenharia de Produção, Engenharia Ambiental e Tecnólogo de Petróleo e Gás. Tem experiência na área de engenharia, emissões, química, automotiva, modelagem computacional, petróleo e mineração

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-501-3



9 788572 475013