



Cleberton Correia Santos
(Organizador)

**Estudos Interdisciplinares
nas Ciências e da Terra
e Engenharias 4**

Cleberton Correia Santos
(Organizador)

Estudos Interdisciplinares nas Ciências
Exatas e da Terra e Engenharias 4

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^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a 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^a Dr^a 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^a Dr^a 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.^a Dr.^a 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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	<p>Estudos interdisciplinares nas ciências exatas e da terra e engenharias 4 [recurso eletrônico / Organizador Cleberton Correia Santos. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias; v. 4)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-622-5 DOI 10.22533/at.ed.225191109</p> <p>1. Ciências exatas e da Terra. 2. Engenharias. 3. Tecnologia. I.Santos, Cleberton Correia. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 016.5</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

O livro “Estudos Interdisciplinares nas Ciências Exatas e da Terra e Engenharias” de publicação da Atena Editora apresenta em seu 4º volume 37 capítulos com temáticas voltadas à Educação, Agronomia, Arquitetura, Matemática, Geografia, Ciências, Física, Química, Sistemas de Informação e Engenharias.

No âmbito geral, diversas áreas de atuação no mercado necessitam ser elucidadas e articuladas de modo a ampliar sua aplicabilidade aos setores econômicos e sociais por meio de inovações tecnológicas. Neste volume encontram-se estudos com temáticas variadas, dentre elas: estratégias regionais de inovação, aprendizagem significativa, caracterização fitoquímica de plantas medicinais, gestão de riscos, acessibilidade, análises sensoriais e termodinâmicas, redes neurais e computacionais, entre outras, visando agregar informações e conhecimentos para a sociedade.

Os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora aos estimados autores que empenharam-se em desenvolver os trabalhos de qualidade e consistência, visando potencializar o progresso da ciência, tecnologia e informação a fim de estabelecer estratégias e técnicas para as dificuldades dos diversos cenários mundiais.

Espera-se com esse livro incentivar alunos de redes do ensino básico, graduação e pós-graduação, bem como outros pesquisadores de instituições de ensino, pesquisa e extensão ao desenvolvimento estudos de casos e inovações científicas, contribuindo na aprendizagem significativa e desenvolvimento socioeconômico rumo à sustentabilidade e avanços tecnológicos.

Cleberton Correia Santos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MAPEAMENTO DAS ÁREAS DE RISCOS DE INUNDAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE PONTE NOVA – MG	
Anderson Nascimento Milagres Gian Fonseca dos Santos Danilo Segall César Yann Freire Marques Costa Klinger Senra Rezende Alixandre Sanquetta Laporti Luppi Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911091	
CAPÍTULO 2	8
MUTAGÊNESE DA LEVEDURA <i>Candida viswanathii</i> PARA A PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIPOLÍTICAS	
Luiz Renato Lima Silva Miranda Nayra Morgana Lima De Oliveira Erika Carolina Vieira Almeida Adriana Augusta Neto Alex Fernando De Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.2251911092	
CAPÍTULO 3	19
A RELAÇÃO ENTRE PROGRAMAS DE DESENVOLVIMENTO DE LIDERANÇA E O CAPITAL SOCIAL NAS ORGANIZAÇÕES	
Bruno Henriques Watté Márcio Vieira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2251911093	
CAPÍTULO 4	34
BRUNIMENTO FLEXÍVEL DE CILINDROS DE BLOCOS DE COMPRESSORES HERMÉTICOS: AVALIAÇÃO DO EFEITO DA GRANULOMETRIA E DO NÚMERO DE GOLPES DA FERRAMENTA NO PARÂMETRO DE RUGOSIDADE R_p	
Guilherme Henrique Caetano Barros Rosenda Valdés Arencibia Luciano José Arantes	
DOI 10.22533/at.ed.2251911094	
CAPÍTULO 5	41
ANÁLISE DA ACELERAÇÃO POR EXTRAPOLAÇÃO DA FONTE DE FISSÃO CONSIDERANDO A TEORIA DE DIFUSÃO DE NEUTRONS EM REATORES NUCLEARES	
Andrey Silva Pontes Henrique Matheus Ferreira da Silva Lenilson Moreira Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.2251911095	

CAPÍTULO 6	51
ANÁLISE DE DESEMPENHO E AVALIAÇÃO DOS PROTOCOLOS DE REDES DE SENSORES SEM FIO EM <i>SMART GRIDS</i>	
Álison De Oliveira Alves Felipe Denis Mendonça De Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.2251911096	
CAPÍTULO 7	64
SÍNTESE DE COMPOSTOS HÍBRIDOS PERILIL-DIHIDROPIRIMIDINONAS ATRAVÉS DA REAÇÃO DE HUISGEN COM FORMAÇÃO DE ANÉIS 1,2,3-TRIAZÓLICOS	
Vinícius Vendrusculo Dennis Russowsky	
DOI 10.22533/at.ed.2251911097	
CAPÍTULO 8	74
ANÁLISES DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICAS DA CASTANHOLA	
Jonas Soares de Mesquita Davi Pereira Araújo Maria Carolina Martins da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.2251911098	
CAPÍTULO 9	81
USO DE CATALISADORES DE NÍQUEL PARA A RESOLUÇÃO CINÉTICA DINÂMICA DE AMINAS PRIMÁRIAS	
Fernanda Amaral de Siqueira Natália Cavallaro Martins de Sousa Sania Maria de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.2251911099	
CAPÍTULO 10	92
AVALIANDO EM MATEMÁTICA: UM ESTUDO DE CASO NO CENTRO-OESTE MINEIRO	
Patrícia Milagre de Freitas Leandro Teles Antunes dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110910	
CAPÍTULO 11	102
AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA NO TRABALHO EM TRABALHADORES DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Andre Luis Martins De Souza Renata Evangelista Alexandre Bueno Ronaldo Marques Serigne Ababacar Felipe Rogério Hudson Luis	
DOI 10.22533/at.ed.22519110911	

CAPÍTULO 12 111

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE UM SOLO RESIDUAL DE GNAISSE MADURO ESTABILIZADO COM LAMA DE CAL

Danilo Segall César
Yann Freire Marques Costa
Anderson Nascimento Milagres
Gian Fonseca dos Santos
Eduardo Souza Candido
Klinger Senra Rezende
Adonai Gomes Fineza

DOI 10.22533/at.ed.22519110912

CAPÍTULO 13 122

AVALIAÇÃO TOXICOLÓGICA DE RESÍDUOS ELETRÔNICOS: ESTUDO DE CASO COM PILHAS ALCALINAS

Pedro Luiz Dias Barroso
Julia Santos Caetano
Jean Pierre Sayago
Joeci Ricardo Godoi
Rodrigo Souza Banegas
Letícia Flohr

DOI 10.22533/at.ed.22519110913

CAPÍTULO 14 132

CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO DE FILMES DE PAADDA/PSS E PDDA/PSS PREPARADOS POR LAYER-BY-LAYER

Samanta Costa Machado Silva
Jorge Amim Júnior
Ana Lucia Shiguihara

DOI 10.22533/at.ed.22519110914

CAPÍTULO 15 144

COMPOSIÇÃO QUÍMICA, FENÓIS TOTAIS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS FOLHAS DE *Simaba ferruginea*

Jessica Sara de Sousa Macêdo Oliveira
Lucivania Rodrigues dos Santos
Adonias Almeida Carvalho
Renato Pinto de Sousa
Gerardo Magela Vieira Júnior
Ruth Raquel Soares de Farias
Mariana Helena Chaves

DOI 10.22533/at.ed.22519110915

CAPÍTULO 16 157

DESENVOLVIMENTO DE MATERIAIS ALCALINAMENTE ATIVADOS PARA MITIGAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS

Jocélio Jairo Vieira Filho
Kelly Cristiane Gomes
Williamns Tadeu de Oliveira Lins Belo

DOI 10.22533/at.ed.22519110916

CAPÍTULO 17	183
ESTRUTURA AXIOMÁTICA DO ORIGAMI: UMA ABORDAGEM DOS POLIEDROS REGULARES NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA	
Anita Lima Pimenta Eliane Scheid Gazire	
DOI 10.22533/at.ed.22519110917	
CAPÍTULO 18	193
ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE BICOS EXTRUSORES EM BIOIMPRESSÃO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL	
Patrícia Muniz de Oliveira Isabela Poley Estevam Barbosa Las Casas Marina Spyer Las Casas Janaina Dernowsek	
DOI 10.22533/at.ed.22519110918	
CAPÍTULO 19	205
IMPACTO DA RESOLUÇÃO HORIZONTAL NA SIMULAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS NA AMÉRICA DO SUL USANDO O MODELO GLOBAL DO CPTEC	
Dayana Castilho de Souza Paulo Yoshio Kubota Silvio Nilo Figueroa Enver Manuel Amador Ramirez Gutierrez Caio Augusto dos Santos Coelho	
DOI 10.22533/at.ed.22519110919	
CAPÍTULO 20	218
<i>LESSON STUDY</i> : UMA ADAPTAÇÃO PARA O BRASIL	
Renata Camacho Bezerra Maria Raquel Miotto Morelatti	
DOI 10.22533/at.ed.22519110920	
CAPÍTULO 21	226
MICROSCOPIA DE DESFOCALIZAÇÃO COMO UMA FERRAMENTA DE ESTUDO DE PROPRIEDADES MORFOLÓGICAS E MECÂNICAS DE ERITRÓCITOS	
Paula M. S. Roma Luiza C. Mourão Marcelo P. Bemquerer Erika M. Braga Ubirajara Agero	
DOI 10.22533/at.ed.22519110921	
CAPÍTULO 22	232
PENSAMENTO ALGÉBRICO E SUA APLICAÇÃO EM EQUAÇÕES LINEARES	
Fábio Mendes Ramos Fabricia Gracielle Santos Daniel Martins Nunes	
DOI 10.22533/at.ed.22519110922	

CAPÍTULO 23	243
ENSINO DE QUÍMICA VERSUS TICs: RETRATO DE PUBLICAÇÕES BRASILEIRAS	
Eleonora Celli Carioca Arenare	
DOI 10.22533/at.ed.22519110923	
CAPÍTULO 24	253
PREPARAÇÃO E AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE BLENDS DE PHB/PC	
Francielle Schmitz	
Carolina de Andrade	
Ivonete Oliveira Barcellos	
DOI 10.22533/at.ed.22519110924	
CAPÍTULO 25	267
RESINAS DE POLIÉSTER INSATURADO E SUA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES EM FIBERGLASS	
Patricia Reis Pinto	
Sérgio da Silva Feitosa	
Alaíde de Sá Barreto	
DOI 10.22533/at.ed.22519110925	
CAPÍTULO 26	277
APLICAÇÃO DO MÉTODO DA PENALIZAÇÃO ROBUSTA PARA ANÁLISE DE PROBLEMAS DE OTIMIZAÇÃO MULTI-OBJETIVO	
Gustavo Barbosa Libotte	
Fran Sérgio Lobato	
Francisco Duarte Moura Neto	
Gustavo Mendes Platt	
DOI 10.22533/at.ed.22519110926	
CAPÍTULO 27	289
SÍNTESE DE FASE SÓLIDA HÍBRIDA MOLECULARMENTE IMPRESSA PARA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA EM AMOSTRAS ÁGUA SUPERFICIAL	
Fabiana Casarin	
Camila Santos Dourado	
Ana Cristi Basile Dias	
DOI 10.22533/at.ed.22519110927	
CAPÍTULO 28	302
SOLUÇÃO ANALÍTICA DE PROBLEMA BIDIMENSIONAL DE CONDUÇÃO DE CALOR UTILIZANDO FUNÇÕES DE GREEN	
José Aguiar dos Santos Junior	
José Ricardo Ferreira Oliveira	
Eduardo Peixoto de Oliveira	
Guilherme Ramalho Costa	
Jefferson Gomes Do Nascimento	
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo	
Gilmar Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.22519110928	

CAPÍTULO 29	310
TAXAS DE FREQUÊNCIA E GRAVIDADE DOS ACIDENTES OCORRIDOS EM UM GRUPO DE PROPRIEDADES CAFEEIRAS CERTIFICADAS	
<ul style="list-style-type: none"> Rafael Augusto Silva Souza Geraldo Gomes de Oliveira Júnior Armando Mendes Nogueira Raphael Nogueira Rezende Agda Silva Prado Oliveira Adriano Bortolotti da Silva Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho 	
DOI 10.22533/at.ed.22519110929	
CAPÍTULO 30	315
UM SISTEMA COLABORATIVO DE INCENTIVO A DOAÇÃO DE SANGUE	
<ul style="list-style-type: none"> Alúcio José Pereira Fábio Abrantes Diniz Elder Gonçalves Pereira Francisco Paulo de Freitas Neto Elissandra Cheu Pereira do Nascimento 	
DOI 10.22533/at.ed.22519110930	
CAPÍTULO 31	329
UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA O ENSINO DE NÚMEROS DECIMAIS NO 5º ANO DO ENSINO FUNDAMENTAL	
<ul style="list-style-type: none"> Cristiana Monique Feltes Sivert Cassiano Scott Puhl 	
DOI 10.22533/at.ed.22519110931	
CAPÍTULO 32	339
ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS	
<ul style="list-style-type: none"> Wilmar Borges Leal Junior Fabiano Medeiros Tavares Ítalo Cordeiro Silva Lima Delfim Dias Bonfim Lucyano Campos Martins Nailson Martins Dantas Landim Haryson Huan Arruda da Silva Santos Douglas Ferreira Chaves 	
DOI 10.22533/at.ed.22519110932	
CAPÍTULO 33	349
REGRESSÃO POLINOMIAL E REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA AVALIAÇÃO DE IMÓVEIS	
<ul style="list-style-type: none"> Carlos Augusto Zilli Luiz Fernando Palin Droubi Norberto Hochheim 	
DOI 10.22533/at.ed.22519110933	
CAPÍTULO 34	363
ANALISE DE RECALQUES NO CONTORNO RODOVIÁRIO DA GRANDE FLORIANÓPOLIS	
<ul style="list-style-type: none"> Wagner de Sousa Santos Amanda Morlos 	
DOI 10.22533/at.ed.22519110934	

CAPÍTULO 35	376
SIMULAÇÃO DA ESTABILIDADE DE UM TÚNEL EM MACIÇO ROCHOSO	
Yann Freire Marques Costa	
Danilo Segall César	
Gian Fonseca dos Santos	
Anderson Nascimento Milagres	
Klinger Senra Rezende	
Adonai Gomes Fineza	
DOI 10.22533/at.ed.22519110935	
SOBRE O ORGANIZADOR	387
ÍNDICE REMISSIVO	388

ESTUDO DO EFEITO DOS PARÂMETROS DE PROJETO DE BICOS EXTRUSORES EM BIOIMPRESSÃO UTILIZANDO FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL

Patrícia Muniz de Oliveira

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Isabela Poley

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Estevam Barbosa Las Casas

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Marina Spyer Las Casas

Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Engenharia

Belo Horizonte, Minas Gerais

Janaina Dernowsek

Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer

Campinas, São Paulo

RESUMO: A demanda por doações de órgãos ainda é expressivamente maior que o número de doadores, mas o desenvolvimento de técnicas para biofabricar tecidos pode aliviar a crise de escassez de órgãos. A biofabricação de órgãos é abordada pela Engenharia de Tecidos e tem como objetivo construir, de forma automatizada, tecidos e órgãos funcionais. A bioimpressão pode gerar tecidos complexos a

partir da deposição tridimensional de diferentes tipos de células e biomateriais. A regulação da tensão de cisalhamento é de fundamental importância para a viabilidade celular durante e após o processo de bioimpressão. Neste artigo, o processo de bioextrusão é analisado por meio de simulações de dinâmica de fluidos computacional, para diferentes geometrias do bico de impressão da bioextrusora.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia de Tecidos, Bioimpressão, Bioextrusão, Biofabricação, CFD.

STUDY OF THE EFFECT OF THE PROJECT PARAMETERS OF EXTRUSION NOZZLES IN BIOPRINTING USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

ABSTRACT: The demand for organ donations is still considerably higher than the number of donors. The development of techniques for biofabricating tissues can reduce the crisis of organ shortage. The biofabrication of organs is approached by Tissue Engineering and its objective is the assembly of functional tissues and organs. Bioprinting can generate complex tissues from the three-dimensional deposition of different cell types and biomaterials. The control of shear stress levels has fundamental importance for cell viability during and after the

bioprinting process. In this study, the bioextrusion process is analyzed by computational fluid dynamics simulations for different geometries of bioextrusion nozzles.

KEYWORDS: Tissue Engineering, Bioprinting, Bioextrusion, Biofabrication, CFD.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande sistema público de transplantes e o número de doadores de órgãos tem crescido nos últimos anos. Entretanto, a demanda por doações ainda é expressivamente maior e, atualmente, há cerca de 40 mil pessoas na fila de espera para doação de órgãos no Brasil (Ministério da Saúde, 2017). Ademais, os receptores enfrentam ainda como obstáculos o alto custo e a possibilidade de rejeições imunológicas a partir de transplante alogênico (HUANG *et al.*, 2017). Muitas pesquisas têm gerado métodos para criar pele artificial e cartilagem, porém tecidos mais complexos e heterogêneos exigem estudos mais aprofundados (BAJAJ *et al.*, 2014).

Técnicas de manufatura aditiva para biofabricar tecidos podem aliviar a crise de escassez de órgãos e são abordadas pela Engenharia de Tecidos (HUANG *et al.*, 2017). Trata-se de uma área multidisciplinar, que tem como objetivo a recuperação e regeneração de tecidos e órgãos. Extenso campo de pesquisa para a Engenharia de Tecidos, a biofabricação consiste em técnicas e métodos para a produção de órgãos e tecidos, usando biomateriais e incorporando células. A bioimpressão é uma tecnologia inovadora com grande potencial na saúde que se desenvolveu a partir da manufatura aditiva ou impressão 3D. Essa tecnologia emergente permite a produção de suportes 3D e/ou microtecidos com uma distribuição homogênea de células, materiais e moléculas ao longo de estruturas complexas (GROL, *et al.*, 2016; DERNOWSEK, *et al.*, 2017, HUANG *et al.*, 2017).

As tecnologias mais amplamente adaptadas para a bioimpressão 3D são a impressão a jato de tinta, impressão por extrusão, impressão assistida a laser e estereolitografia (HUNG *et al.*, 2017; MOTA, 2008; GAO e CUI, 2015). Tais processos permitem o emprego de biopolímeros, biocerâmicas e compósitos para aplicações em tecidos duros e em tecidos moles (MOTA, 2008).

A técnica de extrusão é a tecnologia de bioimpressão mais usada nos últimos anos (HUANG *et al.*, 2017). Esse processo de bioimpressão permite altas densidades celulares com processamento mais suave (BAJAJ *et al.*, 2014; GAO e CUI, 2015) e tem compatibilidade com diferentes tipos de materiais, com uma ampla gama de viscosidades (HUANG *et al.*, 2017). Além disso, a viabilidade da sobrevivência celular após a deposição por extrusão é considerada alta, superior a 90% (SEOL *et al.*, 2014).

Na bioimpressão por extrusão, a superfície ou o cabeçote de extrusão é movido de maneira direcionada, controlando a deposição espacial da biotinta por um bocal (BAJAJ *et al.*, 2014). O operador pode controlar o procedimento de extrusão, a

velocidade e o deslocamento espacial do cabeçote e da superfície de deposição por meio de um software de computador (HUANG *et al.*, 2017). Através do bocal de extrusão, usando pressão pneumática ou bomba de seringa (Figura 1), depositam-se filamentos contínuos de hidrogel contendo células livres ou encapsuladas em esferoides e, controlando-se a pressão ou o deslocamento do pistão, ajusta-se a quantidade de hidrogel depositado (SEOL *et al.*, 2014).

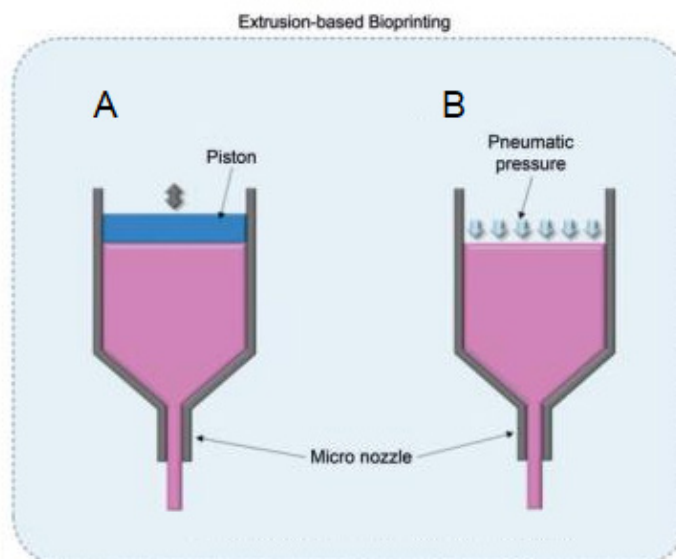


Figura 1 - Técnicas de bioimpressão baseadas em extrusão: (A) pistão ou (B) pressão pneumática (adaptada de SEOL *et al.*, 2014).

O processo de biofabricação pode ser realizado ainda por meio da extrusão de um biomaterial termoplástico através de uma feira (MOTA, 2008). Segundo Huang *et al.* (2017), a bioplotagem pode ejetar materiais como filamentos contínuos à temperatura ambiente ou fisiológica. Entretanto, a velocidade de impressão rápida pode fornecer altas tensões de cisalhamento, devido ao gradiente de velocidade do fluido na agulha fina. Se as tensões forem excessivas e o material contiver células, as membranas das células podem ficar sobrecarregadas e se romper, de modo que as células podem não sobreviver ao processo. A viabilidade celular varia com o processo de biofabricação empregado, bem como com as técnicas de manipulação celular, os tipos de células e parâmetros do processo, como a pressão de impressão, diâmetro da agulha, comprimento da agulha e viscosidade do meio de distribuição (LI *et al.*, 2015; BLAESER *et al.*, 2016).

2 | OBJETIVOS

Por meio de simulações de dinâmica computacional de fluidos realizadas com software comercial (CFD Fluent®, ANSYS), objetivou-se analisar diferentes geometrias projetadas para o bico de extrusão de uma bioimpressora. Variando-se o ângulo de convergência, o comprimento, o diâmetro de entrada e o diâmetro de

saída do bocal, buscou-se investigar as tensões de cisalhamento causadas pela passagem da biotinta pelo bocal estreito.

3 | METODOLOGIA

O escoamento da biotinta pelo bocal da bioextrusora apresenta simetria radial, portanto, é considerado um escoamento axissimétrico, possibilitando a modelagem bidimensional. Dessa forma, diferentes modelos bidimensionais de geometrias de bicos cônicos foram desenvolvidos no Rhinoceros® 5.0 (McNeel North America, Seattle, WA), variando o ângulo de convergência, comprimento, diâmetro de entrada e diâmetro de saída (Figura 2). Estes dados estão apresentados na Tabela 1.

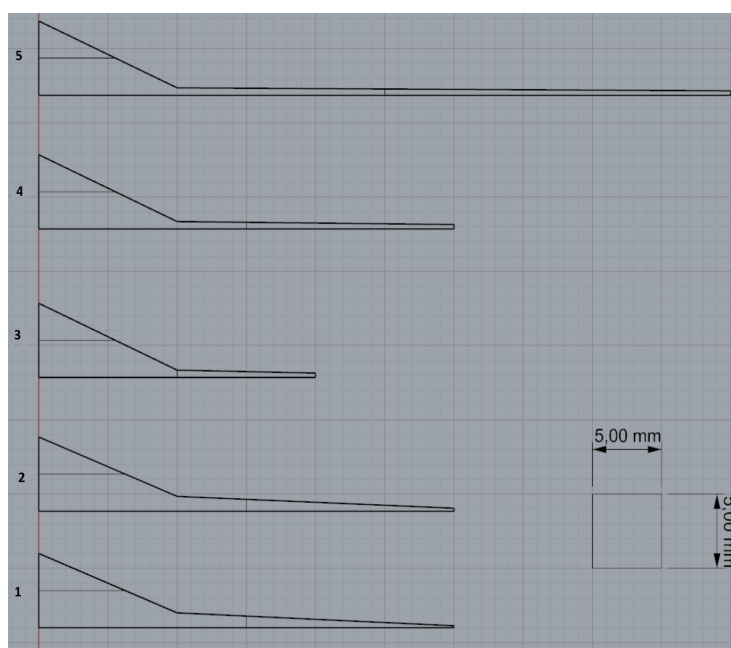


Figura 2 - Estruturas geométricas 2D dos bicos de bioimpressão.

Geometria	ângulo de convergência (cone) [°]	ângulo de convergência (agulha) [°]	comprimento (cone) [mm]	comprimento (agulha) [mm]	diâmetro (entrada) [mm]	diâmetro (saída) [mm]
1	43,60	4,98	10,0	20,0	2,00	0,26
2	43,60	4,55	10,0	20,0	2,00	0,41
3	48,46	2,29	10,0	10,0	1,00	0,60
4	48,46	1,15	10,0	20,0	1,00	0,60
5	48,46	0,57	10,0	40,0	1,00	0,60

Tabela 1 - Dados dos bicos de impressão.

Simulações do processo de extrusão foram realizadas utilizando o ANSYS FLUENT® 18.2 (ANSYS, Inc., Canonsburg, PA). Para obtenção das propriedades do fluido extrudado, considerou-se o trabalho de Dharmadasa (2016), cujo biomaterial utilizado consiste em celulose nanofibrilada e alginato, que exibe o comportamento

de um fluido não-newtoniano. Esta biotinta foi referenciada como *Ink6040* e modelada como um fluido com densidade igual a $998,2 \text{ kg.m}^{-3}$. O modelo *Power-Law* de viscosidade para fluidos não-newtonianos é o que melhor descreve o comportamento viscoso da biotinta *Ink6040*, dado por $\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} e^{T_0/T}$

$$\eta = k \cdot \dot{\gamma}^{n-1} e^{T_0/T} \quad (1)$$

onde k é o índice de consistência, igual a $109,73 \text{ Pa.s}$, e n é o índice de comportamento, que indica o quanto o fluido se desvia do modelo newtoniano, e é igual a $0,154$. Dharmadasa (2016) assumiu a viscosidade da biotinta *Ink6040* como independente de temperatura, portanto $T_0 = 0$. Para simulação computacional, foi necessário ainda indicar os limites superior e inferior da viscosidade da biotinta, considerada por Dharmadasa como $\eta_{max} = 62 \text{ 200 Pa.s}$ e $\eta_{min} = 8,94 \times 10^{-4} \text{ Pa.s}$.

Adotou-se o escoamento laminar para a biotinta e as condições de contorno foram definidas como vazão mássica na entrada do bocal e pressão na saída. Com base na literatura (YEO *et al.*, 2016; JIA *et al.*, 2016; DUBBIN *et al.*, 2017; GÖHL *et al.*, 2018), determinou-se o valor de 50 microlitros por minuto para a vazão volumétrica da biotinta. O dado de entrada no ANSYS FLUENT® é a vazão mássica, que corresponde a $8,3183 \times 10^{-7} \text{ kg/s}$. A pressão de saída foi definida como 0 Pa (zero), por estar em contato com o ambiente, submetida à pressão atmosférica.

A demonstração de independência de malha é condição necessária para a validade de um resultado. Empregou-se, neste trabalho, o método da malha adaptativa para o refinamento, a partir do gradiente da derivada da taxa de deformação do fluido. A região de contato do fluido com a parede do bocal é a área de maior interesse, por apresentar maiores tensões de cisalhamento. Para garantir maior qualidade no refinamento da malha nesta região, aplicou-se o comando *inflation*, com três camadas em média, e uma taxa de crescimento igual a $1,1$. A qualidade ortogonal foi utilizada como referência para avaliar a malha gerada e buscou-se garantir valores mínimos acima de $0,3$.

4 | RESULTADOS

As tensões cisalhantes médias e máximas na parede do bocal foram obtidas a partir das simulações e os resultados organizados nas tabelas abaixo, de acordo com a geometria.

A primeira geometria analisada tende a apresentar tensão de cisalhamento média (*wall shear*) igual 113 Pa e valores máximos entre 330 e 355 Pa (Tabela 2).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
37251	105,020	331,587
149004	112,919	350,680
596016	112,930	353,621
1487621	113,450	342,821
2806250	113,335	345,849

Tabela 2 - Resultados obtidos para a geometria 1.

O segundo bocal analisado tende a apresentar tensão de cisalhamento média igual 130 Pa e valores máximos entre 265 e 275 Pa (Tabela 3).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
83152	105,662	273,999
160657	118,338	269,438
231840	131,000	267,487
561711	129,553	267,653
1453125	129,718	268,451

Tabela 3 - Resultados obtidos para a geometria 2.

A geometria 3 tende a apresentar tensão de cisalhamento média igual 105 Pa e valores máximos entre 220 e 260 Pa (Tabela 4).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
52078	108,4190	222,736
208312	112,4850	238,509
587365	112,5240	250,400
833248	112,7880	255,671
1355216	112,9794	248,600

Tabela 4 - Resultados obtidos para a geometria 3.

A geometria 4 tende a apresentar tensão de cisalhamento média, aproximadamente, igual 120 Pa e valores máximos entre 220 e 265 Pa (Tabela 5).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
61206	114,4650	221,533
153264	119,0760	238,338
354297	119,1630	250,627
613584	119,2030	251,846
1789956	119,5280	264,507

Tabela 5 - Resultados obtidos para a geometria 4.

O quinto bocal analisado tende a apresentar tensão de cisalhamento média igual a, aproximadamente, 138 Pa e valores máximos entre 220 e 270 Pa (Tabela 6).

Numero de elementos	<i>wall shear</i> [Pa]	valor máximo <i>wall shear</i>
73341	131,5910	225,772
189012	137,4550	241,818
423453	137,5970	254,487
726792	137,7440	255,579
1383915	138,0360	267,460

Tabela 6 - Resultados obtidos para a geometria 5.

Comparados os valores de tensão de cisalhamento média obtida através das simulações computacional para os bicos 1 e 2 observou-se que o aumento no diâmetro de saída levou a uma maior tensão de cisalhamento e comparando os bicos 3, 4 e 5 observou-se que o aumento do comprimento (agulha) também levou a um aumento da tensão cisalhante nos bicos de extrusão.

Blaeser *et al.* (2016) investigaram os efeitos em curto prazo e possíveis efeitos em longo prazo da tensão de cisalhamento induzida em células-tronco mesenquimais primárias humana, durante o processo de bioimpressão. Concluíram que, com o aumento da tensão de cisalhamento, a viabilidade celular imediatamente após a bioimpressão diminuiu significativamente. Tensões cisalhantes abaixo de 4 kPa conferiram viabilidade celular satisfatória, da ordem de 94%. O crescimento de células expostas a baixas tensões de cisalhamento, isto é, inferiores a 5 kPa, não foi afetado pelo processo de bioimpressão. Por outro lado, o crescimento celular foi fortemente afetado por níveis mais elevados de tensão de cisalhamento. Eles indicam também que níveis moderados de tensão de cisalhamento podem até estimular a proliferação celular, enquanto esse efeito é revertido quando certo limiar de estresse é excedido.

5 | CONCLUSÃO

Tendo em vista os resultados obtidos a partir dos métodos fluidodinâmicos computacionais, para as características da tinta em questão e para as geometrias analisadas, esse processo de bioimpressão por extrusão não oferece prejuízo para a viabilidade celular. Como as tensões cisalhantes médias apresentadas foram pequenas, isto é, muito inferiores a 4 kPa, é possível propor trabalhos com vazões ainda maiores e optar por agulhas mais finas, que conferem maior resolução ao tecido.

REFERÊNCIAS

- BAJAJ, P. *et al.* **3D Biofabrication Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine.** Annu Rev BiomedEng, 2014.
- BLAESER, Andreas et al. **Controlling Shear Stress in 3D Bioprinting is a Key Factor to Balance Printing Resolution and Stem Cell Integrity.** Advanced Healthcare Materials, 2016.
- DERNOWSEK, JA, REZENDE RA, SILVA JVL. **The role of information technology (IT) in the future of 3D biofabrication.** Journal of 3D Printing in Medicine, 1(1):1-18, 2017.
- DHARMADASA, Varuna. **Investigation of cell-viability in the bioprinting process.** Degree Project in Mechanical Engineering, Kth Royal Institute. Stockholm, 2016.
- DUBBIN, Karen; TABET, Anthony; HEILSHORN, Sarah. **Quantitative criteria to benchmark new and existing bio-inks for cell compatibility.** IOP Publishing, Biofabrication, 2017.
- GAO, Guifang; CUI, Xiaofeng. **Three-dimensional bioprinting in tissue engineering and regenerative medicine.** BiotechnologyLetters, vol. 37, n. 11, 2015.
- GÖHL, J. et al. **Simulations of 3D bioprinting: predicting bioprintability of nanofibrillar inks.** IOP Publishing, Biofabrication, 2018.
- GROLL J. et al. **Biofabrication: reappraising the definition of an evolving field.** Biofabrication. 8; 8(1):013001, 2016.
- HUANG, Y. *et al.* **3D bioprinting and the current applications in tissue engineering.** Biotechnology Journal, 2017.
- JIA, W. *et al.* **Direct 3D bioprinting of perfusable vascular constructs using a blend bioink.** Biomaterials, vol. 106 pa. 58-68. Elsevier, 2016.
- MINISTÉRIO da Saúde. **Transplantes de órgãos: uma luta contra o tempo para salvar vidas.** Governo do Brasil, 2017. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/saude/2017/09/transplantes-de-orgaos-uma-luta-contra-o-tempo-para-salvar-vidas>>. Acesso em 13 de jul. de 2018.
- MOTA, Carlos. **Sistema de Bioextrusão para a Engenharia de Tecidos.** Dissertação (Mestrado) – em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, 2008.
- SEOL, Y. *et al.* **Bioprinting technology and its applications.** European Journal of Cardio-Thoracic Surgery, pp. 1-7, 2014.
- YEO, M. *et al.* **Fabrication of hASCs-laden structures using extrusion-based cell printing supplemented with an electric field.** Acta Biomaterialia, vol. 38, p. 33-43. Elsevier, 2016.

APÊNDICE A – RESULTADOS NUMÉRICOS

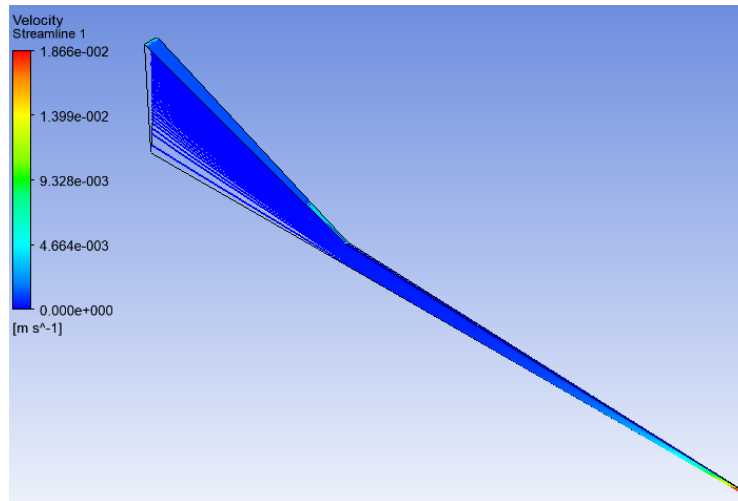


Figura 3 - Geometria 1: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

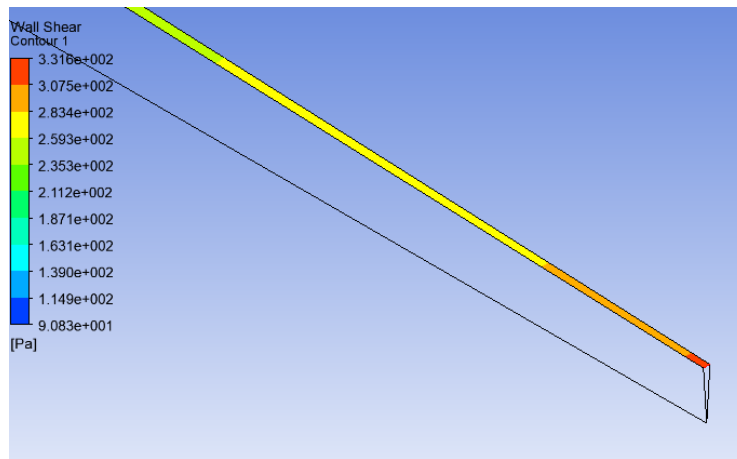


Figura 4 - Geometria 1: detalhe tensão cisalhante na parede.

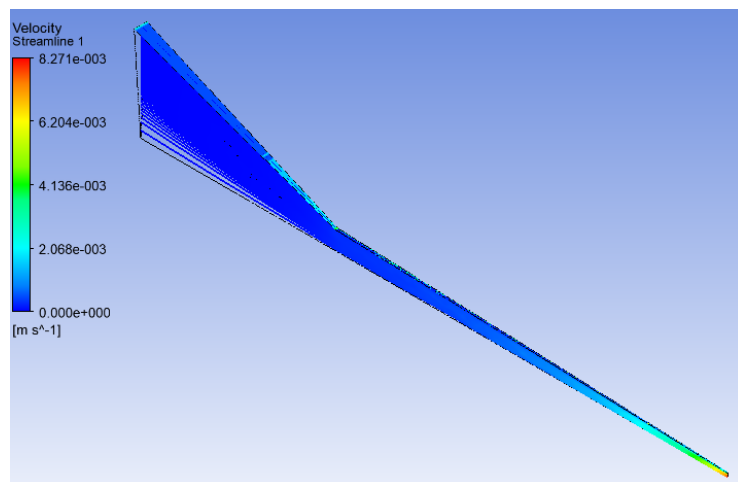


Figura 5 - Geometria 2: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

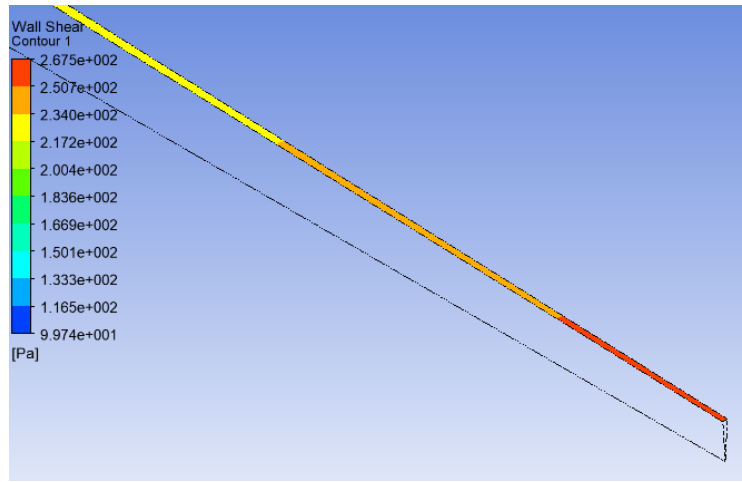


Figura 6 - Geometria 2: detalhe da tensão cisalhante na parede.

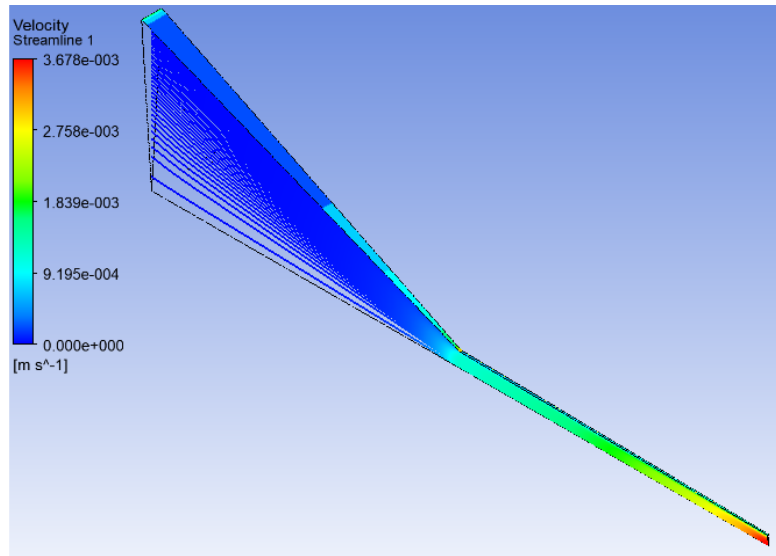


Figura 7 - Geometria 3: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

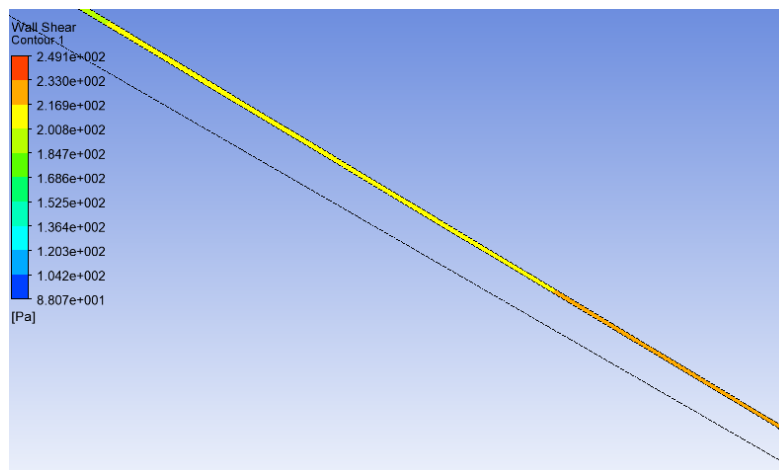


Figura 8 - Geometria 3: detalhe da tensão cisalhante na parede.

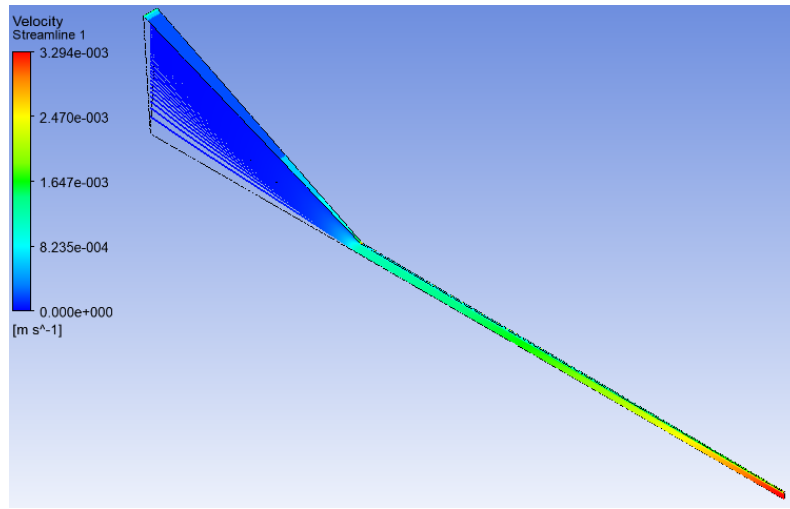


Figura 9 - Geometria 4: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede

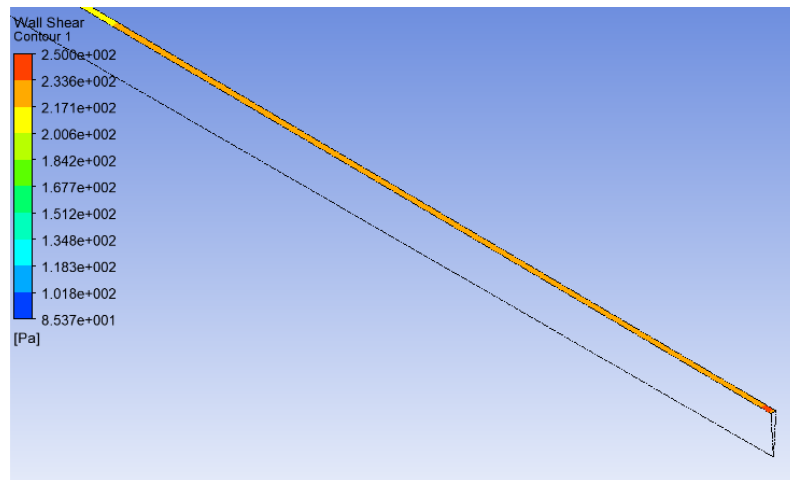


Figura 10 - Geometria 4: detalhe da tensão cisalhante na parede.

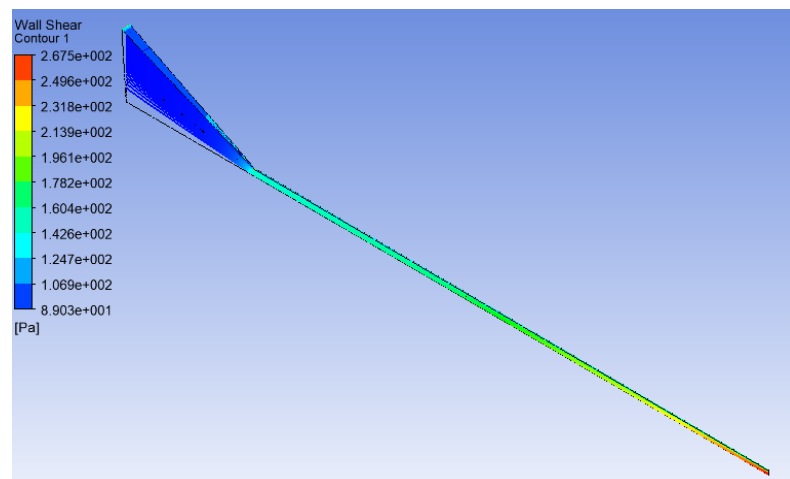


Figura 11 - Geometria 5: escoamento do fluido e tensão cisalhante na parede.

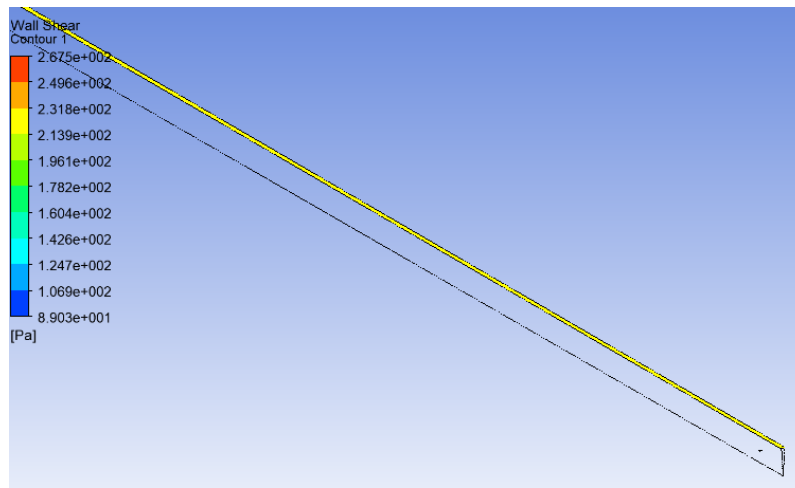


Figura 12 - Geometria 5: detalhe da tensão cisalhante na parede.

SOBRE O ORGANIZADOR

CLEBERTON CORREIA SANTOS- Graduado em Tecnologia em Agroecologia, mestre e doutor em Agronomia (Produção Vegetal). Tem experiência nas seguintes áreas: agricultura familiar, indicadores de sustentabilidade de agroecossistemas, uso e manejo de resíduos orgânicos, propagação de plantas, manejo e tratamentos culturais em horticultura geral, plantas medicinais exóticas e nativas, respostas morfofisiológicas de plantas ao estresse ambiental, nutrição de plantas e planejamento e análises de experimentos agropecuários.

(E-mail: cleber_frs@yahoo.com.br) – ORCID: 0000-0001-6741-2622

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acidentes 109, 310, 311, 312, 313, 314

Aminas primárias 81, 84, 85

Atividade antioxidante 144, 146, 151, 152, 153, 155, 156

B

Bioimpressão 193, 194, 195, 196, 199

C

Castanhola 74, 75, 79

Compostos multifuncionais 64, 67

Compressores Herméticos 34, 35, 36, 39, 40

Construção Civil 102, 105, 112, 113, 157, 179, 363

CPTEC 205, 206, 207, 208, 217

E

Equações lineares 45, 233, 236, 237, 238, 239, 240, 353

Estrutura axiomática 183, 186, 189

F

Fonte de fissão 41, 42, 44, 45, 47, 48, 49

G

Geoprocessamento 1, 2

H

Hemocentro 317, 322, 323, 324, 326

Hibridização 64, 65, 67, 68, 69, 71

L

Lesson Study 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225

Leveduras 8

M

Mapeamento 1, 2, 3, 4, 6, 7, 181, 280

Mecânicas de eritrócitos 226

Multi-objetivo 277, 278, 279, 281, 282, 283, 284, 287

Mutagênese 8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18

P

PHB/PC 253, 254, 257, 261, 262, 264

Protocolos de redes 52

R

Redes neurais 349, 350, 351, 354, 356, 358, 359, 360, 361, 362

Risco de inundação 1, 3, 4, 5, 6, 7

S

Smart Grids 51, 52, 53, 61

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-622-5

