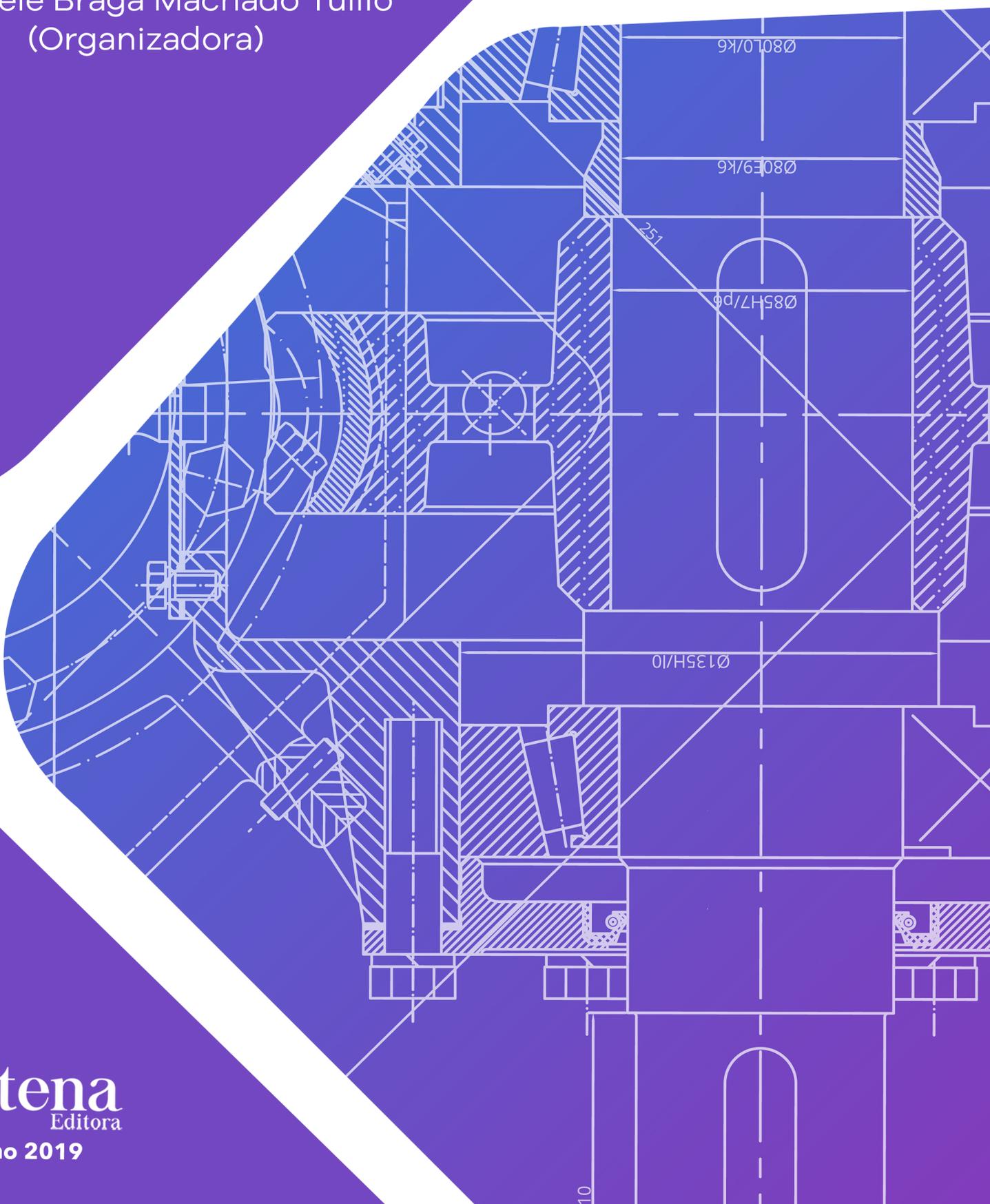


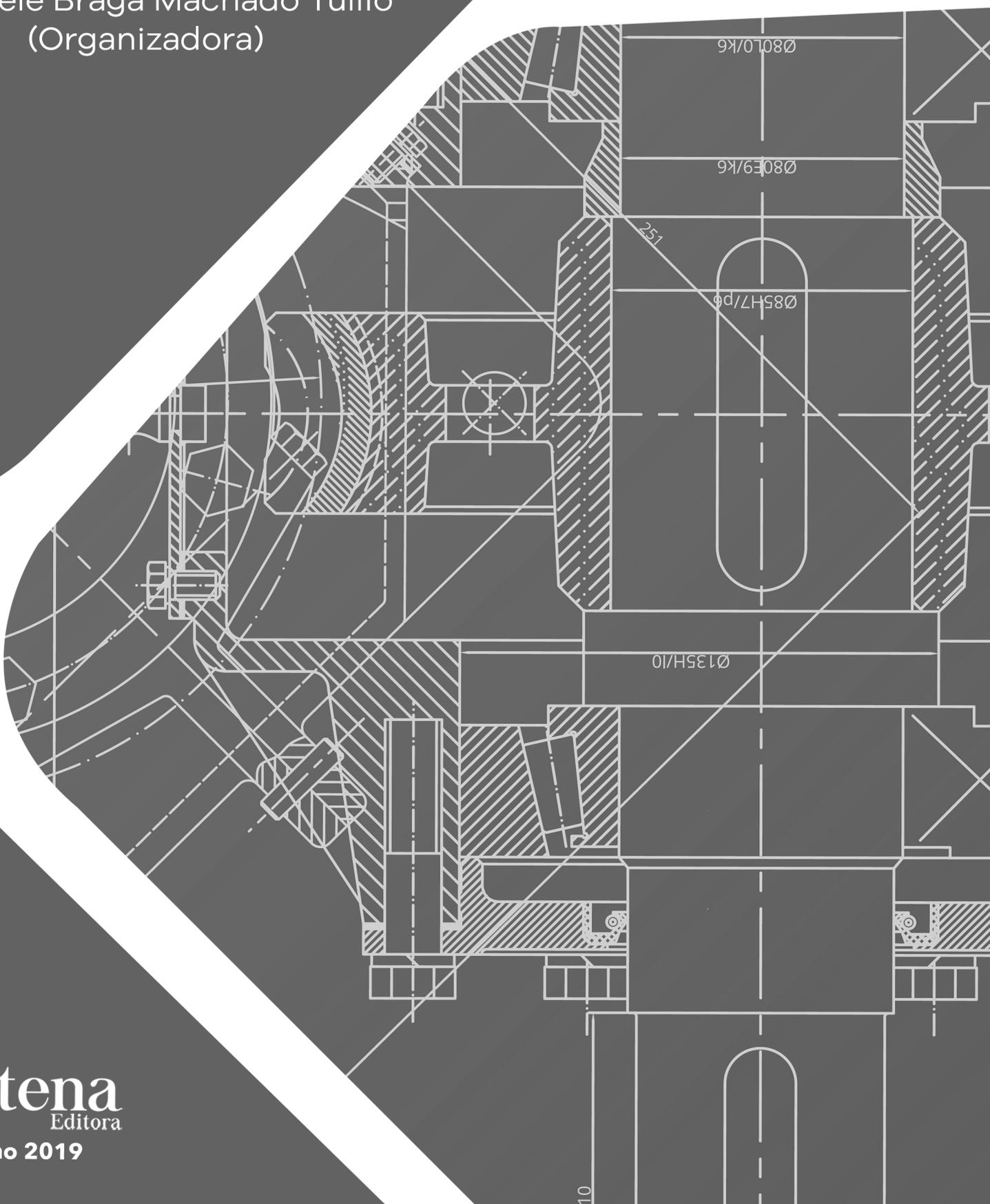
Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2

Franciele Braga Machado Tullio
(Organizadora)



2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
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. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

P474 Pesquisa científica e inovação tecnológica nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Franciele Braga Machado Tullio. – Ponta Grossa PR: Atena Editora, 2019. – (Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-903-5

DOI 10.22533/at.ed.035200601

1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Inovações tecnológicas.
3. Tecnologia. I. Tullio, Franciele Braga Machado. II. Série.

CDD 658.5

Elaborado por Maurício Amormino Júnior | CRB6/2422

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

APRESENTAÇÃO

A obra “Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2” contempla vinte e quatro capítulos em que os autores abordam pesquisas científicas e inovações tecnológicas aplicadas nas diversas áreas de engenharia.

Inovações tecnológicas são promovidas através dos resultados obtidos de pesquisas científicas, e visam permitir melhorias a sociedade através de seu uso nas engenharias.

A utilização racional de energia, consiste em utilizar de forma eficiente a energia para se obter determinado resultado. O estudo sobre novas fontes de energia, e o seu comportamento podem trazer benefícios ao meio ambiente e trazer progresso a diversos setores.

A aplicação de novas tecnologias pode permitir avanços em diversas áreas, como saúde, construção, meio ambiente, proporcionando melhorias na qualidade de vida de diversas comunidades.

Diante do exposto, almejamos que o leitor faça uso das pesquisas aqui apresentadas, permitindo uma reflexão sobre seu uso na promoção de desenvolvimento social e tecnológico.

Franciele Braga Machado Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA NO TRABALHO PARA A ATIVIDADE DO SETOR ELÉTRICO	
Humberto Rodrigues Macedo Valci Ferreira Victor Kaisson Teodoro de Souza Paulo Henrique Martins Gonçalves	
DOI 10.22533/at.ed.0352006011	
CAPÍTULO 2	10
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: LEGISLAÇÃO REGULATÓRIA E BENEFÍCIOS AOS CONSUMIDORES PELA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA	
Neide Alves Dalla Vecchia Ruan Michel Alves Dalla Vecchia	
DOI 10.22533/at.ed.0352006012	
CAPÍTULO 3	20
HIDROENERGIA: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA TURBINA FRANCIS PARA APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO EM PCHS	
Cristine Machado Schwanke Ingrid Augusto Caneca da Silva Vanessa Silva Goulart Suélen Mena Meneses Nathália Dias Imthon Matheus Henrique Baesso Joyce Alves Silva Cruz Ethan Ribas Pereira Perez Matheus Felicio Palmeira dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.0352006013	
CAPÍTULO 4	34
MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADOS À UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS	
Kamila Cavalcante dos Santos Jéssica Guimarães Lopes Andréia Alves Costa	
DOI 10.22533/at.ed.0352006014	
CAPÍTULO 5	43
ESTUDO DE AÇÕES PARA A REDUÇÃO DOS CUSTOS DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA GRANDES CONSUMIDORES	
Valci Ferreira Victor Humberto Rodrigues Macedo Adail Pereira Carvalho Lucas Cardoso da Silva Pitágoras Rodrigues de Melo Sobrinho	
DOI 10.22533/at.ed.0352006015	

CAPÍTULO 6	53
PROPOSTA DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E DESPACHO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CONCEITO DE CENTRAIS VIRTUAIS DE ENERGIA	
Rodrigo Regis de Almeida Galvão Thiago José Lippo de França Breno Carneiro Pinheiro Luis Thiago Lucio	
DOI 10.22533/at.ed.0352006016	
CAPÍTULO 7	67
PROTEÇÃO TÉRMICA CONTRA ARCOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO COM UMA SUBESTAÇÃO DE 13,8 KV	
Herick Talles Queiroz Lemos Humberto Dionísio de Andrade Matheus Emanuel Tavares Sousa Adriano Aron Freitas de Moura Ednardo Pereira da Rocha Ailson Pereira de Moura	
DOI 10.22533/at.ed.0352006017	
CAPÍTULO 8	81
VEÍCULOS ELÉTRICOS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARTIR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	
Jardel Eugenio da Silva Fabianna Tonin Jair Urbanetz Junior	
DOI 10.22533/at.ed.0352006018	
CAPÍTULO 9	92
ANÁLISE DA CURVA E FATOR DE CARGA COM E SEM PRESENÇA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA	
Murilo Miceno Frigo Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho	
DOI 10.22533/at.ed.0352006019	
CAPÍTULO 10	101
ANÁLISE DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE LASER SCANNER TERRESTRE EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO	
Caio Cesar Vivian Guedes Oliveira Luis Eduardo de Souza Luciana Arnt Abichequer	
DOI 10.22533/at.ed.03520060110	
CAPÍTULO 11	114
APLICAÇÃO DA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NO ESTUDO DE CASO DA PALMILHA SENSORIZADA PARA PÉS DIABÉTICOS	
Luciana Maria de Oliveira Cortinhas Leonara Gonçalves e Silva Pires Anna Patrícia Teixeira Barbosa Jeane Souza Chaves Sidou	

Camila Alves Areda
Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento
Rafael Leite Pinto de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.03520060111

CAPÍTULO 12 127

**AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO E REPETIBILIDADE DO SENSOR LEAP MOTION
CONTROLLER PARA A SUA UTILIZAÇÃO EM REABILITAÇÃO VIRTUAL**

Marcus Romano Salles Bernardes de Souza
Eduardo Apolinário Lopes
Rogério Sales Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.03520060112

CAPÍTULO 13 134

**ESTUDO PROSPECTIVO DE ÁCIDO LÁTICO PRODUZIDO POR LEVEDURAS EM
GLICEROL BRUTO**

Leandro Rodrigues Doroteu
Fabrício de Andrade Raymundo
Rogerio de Jesus Camargo Emidio
Marcilene Cordeiro Gomes
Camila Alves Areda
Eliana Fortes Gris
Grace Ferreira Ghesti
Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento
Nadia Skorupa Parachin
Eduardo Antônio Ferreira

DOI 10.22533/at.ed.03520060113

CAPÍTULO 14 146

**MOUSE AUXILIAR DISTRIBUIDOR DE CARGA DE TRABALHO NA INTERAÇÃO COM
UM COMPUTADOR PESSOAL PARA DUAS MÃOS**

Fabrício de Andrade Raymundo
Marcelo Borges de Andrade
Marcus Vinícius Lopes Bezerra
Marina Couto Giordano de Oliveira
Sânia Léa Alves Rocha Lopes
Adriana Regina Martin
Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento

DOI 10.22533/at.ed.03520060114

CAPÍTULO 15 163

**ÓXIDOS MISTOS A BASE DE TIO_2/ZNO APLICADOS NA DEGRADAÇÃO
FOTOCATALÍTICA DA ATRAZINA**

Gabriel Maschio de Souza
Gabriela Nascimento da Silva
Luiz Mário de Matos Jorge
Onélia Aparecida Andreo dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.03520060115

CAPÍTULO 16	172
PARADIGMAS TECNOLÓGICOS E REGIMES DE APROPRIABILIDADE: O CASO DA INDÚSTRIA FONOGRAFICA NA ERA DIGITAL	
Sheila de Souza Corrêa de Melo Edoardo Sigaud Gonzales Natália Bonela de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.03520060116	
CAPÍTULO 17	183
UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AND AIRSPACE INTERFACES	
Omar Daniel Martins Netto Maria Emília Baltazar Jorge Miguel dos Reis Silva	
DOI 10.22533/at.ed.03520060117	
CAPÍTULO 18	201
UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA COMPETITIVA PARA DELINEAR ESTRATÉGIAS DE POSICIONAMENTO DE MERCADO DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS DE MONITORAMENTO	
Janaina dos Santos Melo Maria Fernanda Mascarenhas dos Santos Melis Levi dos Santos Sandra Malveira Grace Ferreira Ghesti Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.03520060118	
CAPÍTULO 19	213
ANALISE COMPUTACIONAL DE VIGAS RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADA AO CISALHAMENTO COM PRFC	
Maicon de Freitas Arcine Nara Villanova Menon	
DOI 10.22533/at.ed.03520060119	
CAPÍTULO 20	228
ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO APLICADAS À ANÁLISE DE POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA	
Talles Amony Alves de Santana Humberto Dionísio de Andrade Herick Talles Queiroz Lemos Matheus Emanuel Tavares Sousa Adriano Aron Freitas de Moura Ednardo Pereira da Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.03520060120	
CAPÍTULO 21	241
ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO AO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TERMICO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013)	
Luciani Somensi Lorenzi Luiz Carlos Pinto da Silva Filho	
DOI 10.22533/at.ed.03520060121	

CAPÍTULO 22	254
ESTUDO NUMÉRICO BIDIMENSIONAL DO EFEITO DA PRESENÇA DE UM TUMOR NO CAMPO DE TEMPERATURA DE UMA MAMA	
José Ricardo Ferreira Oliveira	
Vinicius Soares Medeiros	
Jefferson Gomes do Nascimento	
Alisson Augusto Azevedo Figueiredo	
Gilmar Guimarães	
DOI 10.22533/at.ed.03520060122	
CAPÍTULO 23	261
AMBIENTE DE PROJETO DE HARDWARE E SOFTWARE INTEGRADOS PARA APRENDIZADO E ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS	
Edson Lisboa Barbosa	
Lucas Fontes Cartaxo	
Cícero Samuel Rodrigues Mendes	
Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo	
DOI 10.22533/at.ed.03520060123	
CAPÍTULO 24	273
UMA PROPOSTA PRÁTICA DE MANUFATURA DE CONCRETO QUE PERPASSA DISCUSSÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E PENSAMENTO CRÍTICO	
Alaor Valério Filho	
Ânderson Martins Pereira	
Carlos Alfredo Barcellos Bellinaso	
Daniela Giffoni Marques	
DOI 10.22533/at.ed.03520060124	
SOBRE A ORGANIZADORA	281
ÍNDICE REMISSIVO	282

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO E REPETIBILIDADE DO SENSOR LEAP MOTION CONTROLLER PARA A SUA UTILIZAÇÃO EM REABILITAÇÃO VIRTUAL

Data de aceite: 26/11/2019

Marcus Romano Salles Bernardes de Souza

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – MG

Eduardo Apolinário Lopes

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia - MG

Rogério Sales Gonçalves

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia - MG

RESUMO: A terapia de reabilitação baseada na utilização de jogos sérios tem como objetivo a provisão de uma intervenção a partir de dispositivos de realidade virtual e é denominada reabilitação virtual. Os jogos sérios (jogos cujo propósito não é o entretenimento), por sua capacidade de motivação dos pacientes, tornam o processo terapêutico mais agradável e, por isso, têm sido amplamente utilizados em terapias de reabilitação.

Um dispositivo que tem sido objeto de estudo neste campo por ser capaz de rastrear as mãos do usuário é o *Leap Motion Controller*. Este trabalho apresenta a análise deste dispositivo

com foco na avaliação de sua exatidão e repetibilidade através de experimentação utilizando um braço robótico industrial Motoman HP6 com repetibilidade de 0.08 mm.

Por fim, os autores concluem que o uso do sensor *Leap Motion Controller* é viável em aplicações que não necessitam de alta exatidão, como na reabilitação virtual.

PALAVRAS-CHAVE: Leap Motion Controller; Reabilitação Virtual; Jogos Sérios.

EVALUATION OF THE LEAP MOTION CONTROLLER SENSOR'S ACCURACY AND REPEATABILITY FOR VIRTUAL REHABILITATION

ABSTRACT: Rehabilitation therapy based on the use of serious games aims to provide an intervention from virtual reality devices and is called virtual rehabilitation. Serious games (games whose purpose is not entertainment), by their ability to motivate patients, make the therapeutic process more enjoyable and, therefore, have been widely used in rehabilitation therapies.

A device that has been studied in this field to be able to track the user's hands is the Leap Motion Controller. This paper presents the analysis of this device focusing on the evaluation of its accuracy and repeatability through experimentation using a Motoman HP6 industrial robotic arm with 0.08

mm repeatability.

Finally, the authors conclude that using the Leap Motion Controller sensor is feasible in applications that do not require high accuracy, such as virtual rehabilitation.

KEYWORDS: Leap Motion Controller; Virtual Rehabilitation; Serious Games.

1 | INTRODUÇÃO

Existem diversos fatores que trazem como consequência deficiências motoras em uma pessoa, tais como doenças crônicas, sequelas neurológicas, acidentes de trânsito e de trabalho. Neste contexto, a medicina física e de reabilitação tem como objetivo o tratamento destas incapacidades por meio de um processo global e dinâmico, identificado como terapia de reabilitação. Esta intervenção é orientada para a recuperação física e psicológica do paciente auxiliando-o em sua qualidade de vida e reintegração social (GONÇALVES; CARVALHO, 2010).

Existem trabalhos em terapias de reabilitação de pacientes que sofreram Acidente Vascular Encefálico (AVE) e Paralisia Cerebral (PC), por exemplo, cujos autores constataram que exercícios contínuos geram recuperação mais rápido e melhores resultados (LIU, et al., 2017). Por outro lado, a natureza repetitiva dos exercícios praticados durante a reabilitação tradicional pode ser interpretada como entediante ou desestimulante e a motivação do paciente tem um papel fundamental em sua reabilitação, tornando o processo todo mais tolerável e aumentando as chances de sucesso em sua recuperação (LAM et al., 2015).

Neste âmbito, surge a reabilitação virtual, uma terapia baseada no uso de jogos sérios cujo objetivo é a provisão de uma intervenção utilizando dispositivos de realidade virtual e simulações. Jogos sérios são jogos que não possuem como propósito primário o entretenimento, prazer ou diversão. Algumas vantagens podem ser observadas na reabilitação virtual, como o estímulo do paciente através de recompensas pelo desempenho (JÁNOŠ et al., 2015), o uso de um mesmo dispositivo para vários tipos de exercícios e a possibilidade de um acompanhamento à distância. Por outro lado, o custo dos equipamentos e a relutância das clínicas de reabilitação em utilizá-los tornam a sua implementação desafiante (WEISS et al., 2014).

Os dispositivos de realidade virtual mais utilizados em reabilitação são o Nintendo Wii®, Microsoft Kinect®, *tablet* e o *Leap Motion Controller*® (LMC), sendo este último utilizado neste trabalho. Lançado pela empresa homônima em 2013, o LMC é um pequeno dispositivo que se conecta ao computador via USB (do inglês, *Universal Serial Bus*) e é capaz de rastrear as mãos em seu campo de visão.

O objetivo deste trabalho é a avaliação da exatidão e repetibilidade do sensor *Leap Motion Controller* para a sua utilização em reabilitação virtual.

2 | ESTADO DA ARTE DO LEAP MOTION CONTROLLER

Desde o seu lançamento, o LMC tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas. Pesquisadores já consideram promissora a viabilidade de seu uso como interface para computadores (AZIZ; RESHMA, 2016) e para controle de braço robótico (BASSILY et al., 2014). Também foi avaliada a sua aptidão para o reconhecimento de gestos em linguagens de sinais (FAGUNDES; ALONSO, 2018).

Os primeiros pesquisadores a avaliar a precisão e acuracidade do LMC foram WEICHERT et al. (2013). Eles utilizaram uma caneta acoplada a um braço robótico industrial Kuka Robot KR 125/3 como apontador para ser rastreado pelo sensor. O sistema de referência do robô foi utilizado como padrão de referência para o LMC. O erro calculado para as leituras do sensor nos ensaios estáticos foi menor que 0,2 mm e nos dinâmicos de 1,2 média. A repetibilidade observada nos ensaios estáticos foi menor que 0,17 mm. GUNA et al. (2014) avaliaram sua precisão, confiabilidade e frequência de amostragem utilizando oito câmeras de alta velocidade Oqus 3+ junto ao *software* Qualisys Track Manager. Eles realizaram ensaios estáticos em 37 posições, cujo desvio padrão foi menor que 0,5 mm e ensaios dinâmicos, em velocidade constante de 100 m/s, cuja constatação foi de que a precisão do LMC diminui conforme o objeto se afasta do dispositivo. TUNG et al. (2015) também avaliaram a precisão, repetibilidade e taxa de amostragem do LMC, utilizando um sistema com marcas de captura de movimento OptoTrak 3020, e verificaram um erro médio quadrático nas leituras de 17,3 mm com desvio padrão de 9,56 mm. Já a média da taxa de amostragem foi de 65,47 Hz com desvio de 21,53 Hz. No mesmo ano, VALENTINI e PEZZUTI (2016) fizeram uma avaliação experimental do sensor ao pedirem para voluntários posicionarem as pontas dos dedos da mão direita em posições pré-determinadas em uma placa transparente situada acima do LMC. Desta forma, calcularam os erros de rastreamento e concluíram que o dispositivo possui boa precisão no rastreamento das mãos do usuário e que há zonas mais adequadas para um melhor desempenho. Já SMERAGLIOULO et al. (2016) avaliaram a precisão do LMC em movimentos de flexão/extensão e abdução/adução da mão e supinação/pronação do punho. A validação foi feita utilizando um sistema de captura com marcas da Motion Analysis Corporation e os erros médios quadráticos encontrados foram de 11,6° para os movimentos de extensão/flexão, 12,4° para abdução/adução e 38,4° para supinação/pronação.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

O LMC consiste basicamente em duas câmeras e três LEDs infravermelhos. As imagens colhidas pelas câmeras são enviadas por interface USB para o

computador e delas são retiradas informações como coordenadas cartesianas de posição e orientação das pontas dos dedos e da palma da mão, por exemplo. Os dados colhidos pelo LMC são disponibilizados pela sua API (do inglês, *Application Programmer Interface*) através de estruturas chamadas frames. Essas estruturas contêm as classes correspondentes às entidades calculadas, como mãos e dedos, cujos parâmetros podem ser acessados via *softwares* de programação, como Matlab® e Microsoft Visual Studio®.

A validação do LMC foi feita através de experimentos utilizando um braço robótico industrial Motoman HP6 da Yaskawa® com repetibilidade de 0.08 mm (YASKAWA ELECTRIC MANUFACTURING, 2007). No elemento terminal do braço robótico foi acoplado um modelo de uma mão direita de madeira a ser rastreado pelo sensor e o mesmo fixado em uma mesa à frente do braço robótico, conectado à um computador (Intel® Core i7-6500U 2.5 GHz 8GB) com o *software* Matlab® R2017b instalado, como mostrado na Fig. 1. Nos experimentos, foram calculados os erros de posicionamento e orientação da palma da mão relativos à uma configuração conhecida e sua repetibilidade, de acordo com a norma ISO 9283 (1998). Os experimentos de validação foram categorizados em: Estáticos, Deslocamento Linear e Angular. Ao final dos ensaios, foram avaliados: a regularidade da taxa de amostragem do sensor; o erro na distância entre duas posições conhecidas nos ensaios estáticos e de deslocamento linear; o erro na distância angular entre duas posições conhecidas nos ensaios de deslocamento angular; a repetibilidade nas leituras nos ensaios estáticos e de deslocamento; a investigação de quais eixos do LMC possuem melhor qualidade nas leituras.



Figura 1 – Disposição dos equipamentos nos experimentos.

4 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Em todos os experimentos a taxa de amostragem do sensor se mostrou

bastante regular com uma média de 113,28 frames por segundo. Na Tabela 1 são apresentados os erros e repetibilidades (Rep.) calculados nos experimentos.

Nível	Estáticos		Deslocamento Linear			Deslocamento Angular		
	Erro [mm]	Rep. [mm]	Eixo	Erro [mm]	Rep. [mm]	Eixo	Erro [°]	Rep. [°]
1	9,38	0,19	X	12,39	1,59	X	-8,13	1,74
2	14,91	0,37	Y	11,52	1,04	Y	-4,07	0,85
3	27,24	0,18	Z	89,09	25,24	Z	-5,56	2,70

Tabela 1 - Resultados dos experimentos

A posição de referência considerada para o cálculo do erro relativo foi a posição em que a mão esteve mais próxima do sensor. Nos ensaios estáticos em que a mão se manteve à uma altura de aproximadamente 150 mm em relação ao sensor (Nível 1), o erro médio foi de 9,38 mm com uma repetibilidade média de 0,19 mm. Nas posições à 250 mm do sensor (Nível 2), o erro médio foi de 14,91 mm com repetibilidade de 0,37 mm e à 350 mm (Nível 3), o erro médio foi de 27,24 mm com repetibilidade de 0,18 mm.

Nos ensaios em que o deslocamento foi realizado no eixo X do sensor, o erro médio foi de 12,39 mm com repetibilidade de 1,59 mm. No eixo Y, o erro médio foi de 11,52 mm com repetibilidade de 1,04 mm e no eixo Z, o erro médio foi de 89,09 mm com 25,24 mm de repetibilidade.

Nos ensaios cuja mudança de orientação foi segundo o eixo X, o erro médio foi de -8,13° com repetibilidade de 1,74°. Nos ensaios cujo deslocamento angular foi segundo o eixo Y do sensor, o erro médio foi de -4,07° com repetibilidade de 0,85° e no eixo Z, o erro médio foi de -5,56° com repetibilidade de 2,70°.

5 | CONCLUSÃO

Com base nos dados analisados, pode-se constatar que a taxa de amostragem dos experimentos se mostrou bem regular em 113,28 frames por segundo, muito acima do que foi observado por GUNA et al. (2014) e TUNG et al. (2015).

O menor erro médio de 9,38 mm nos experimentos estáticos foi muito acima do observado por WEICHERT et al. (2013), porém vale destacar que os experimentos destes autores foram utilizando uma caneta de prova, cuja ponta é bem definida. O ponto medido na palma da mão não é bem definido, o que dificulta a sua medição. Já a repetibilidade média observada com valor de 0.18 mm até 0,37 mm foi compatível com o observado por GUNA et al. (2014).

O erro médio observado nos experimentos de deslocamento linear, foi acima

do observado nos dinâmicos de WEICHERT et al. (2013) e, vale observar que os testes realizados com deslocamento ao longo do eixo Z tiveram resultados piores, quando comparados aos outros eixos.

Nos experimentos de deslocamento angular, os erros médios encontrados foram menores que os observados por SMERAGLIOULO et al. (2016).

Os autores concluem neste trabalho que o uso do sensor *Leap Motion Controller* é viável em aplicações que não necessitam de alta exatidão, como na reabilitação virtual

Como trabalhos futuros, os autores sugerem a análise do sensor utilizando outras poses para a mão nos experimentos e a implementação de jogos sérios utilizando-se deste dispositivo.

REFERÊNCIAS

- AZIZ, A. A.; RESHMA, K. **Leap Motion Controller: A view on interaction modality.** *International Journal of Research in Engineering and Technology*, v. 5, n. 19, Outubro 2016. p. 35-38.
- BASSILY, D.; GEORGOULAS, C.; GÜTTLER, J.; LINNER, T.; BOCK, T. **Intuitive and Adaptive Robotic Arm Manipulation using the Leap Motion Controller.** 41st International Symposium on Robotics (ISR/Robotik 2014). Munich. 2014. p. 1-7.
- FAGUNDES, W. I. P.; ALONSO, E. E. M. **Protótipo de Ambiente de Simulação Imersivo e Interativo para Letramento de Crianças Surdas Usando Leap Motion com Realidade Virtual.** Proceedings of SBGames 2018, Education Track. Foz do Iguaçu, PR. 2018. p. 1416-1419.
- GONÇALVES, R. S.; CARVALHO, J. C. M. **Desenvolvimento de uma estrutura robótica paralela atuada por cabos para reabilitação dos movimentos do ombro.** VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Campina Grande, PB. 2010.
- GUNA, J.; JAKUS, G.; POGAČNIK, M.; TOMAŽIČ, S.; SODNIK, J. **An analysis of the precision and reliability of the leap motion sensor and its suitability for static and dynamic tracking.** *Sensors*, v. 14, n. 2, p. 3702-3720, 2014.
- YASKAWA ELECTRIC MANUFACTURING. **HP6 Manipulator Manual.** West Carrollton, OH, p. 82. 2007.
- ISO 9283 (1998). **Manipulating Industrial Robots - Performance Criteria and Related Test Methods,** Geneva.
- JÁNOŠ, R.; SUKOP, M.; HAJDECKER, A. **Application for Rehabilitation "Virtual Rehab".** Transfer Inovácií, 2015.
- LAM, M. Y.; TATLA, S. K.; LOHSE, K. R.; SHIRZAD, N.; HOENS, A. M.; MILLER, K. J.; HOLSTI, L.; VIRJI-BABUL, N.; LOOS, H. F. M. V. **Perceptions of technology and its use for therapeutic application for individuals with hemiparesis: findings from adult and pediatric focus groups.** *JMIR Rehabilitation and Assistive Technologies*, v. 2, n. 1, 2015.
- LIU, L.; CHEN, X.; LU, Z.; CAO, S.; WU, D. Z. X. **Development of an EMG-ACC-based upper limb rehabilitation training system.** *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, v. 25, n. 3, Março 2017. p. 244-253.

SMERAGLIUOLO, A. H.; HILL, N. J.; DISLA, L.; PUTRINO, D. **Validation of the Leap Motion Controller using marked motion capture technology.** Journal of biomechanics, v. 49, n. 9, p. 1742-1750, 2016.

TUNG, J.; LULIC, T.; GONZALEZ, D. A.; TRAN, J.; DICKERSON, C. R.; ROY, E. A. **Evaluation of a portable markerless finger position capture device: accuracy of the Leap Motion controller in healthy adults.** Physiological measurement, v. 36, n. 5, p. 1025, 2015.

VALENTINI, P. P.; PEZZUTI, E. **Accuracy in fingertip tracking using leap motion controller for interactive virtual applications.** International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), v. 11, n. 3, p. 641-650, Junho 2016.

WEICHERT, F.; BACHMANN, D.; RUDAK, B.; FISSELER, D. **Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller.** Sensors, v. 13, n. 5, p. 6380-6393, 2013.

WEISS, P. L. T.; KESHNER, E. A.; LEVIN, M. F. **Virtual Reality for Physical and Motor Rehabilitation.** New York: Springer, 2014.

SOBRE A ORGANIZADORA

Franciele Braga Machado Tullio - Engenheira Civil (Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG/2006), Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho (Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/2009, Mestre em Ensino de Ciências e Tecnologia (Universidade Tecnológica federal do Paraná – UTFPR/2016). Trabalha como Engenheira Civil na administração pública, atuando na fiscalização e orçamento de obras públicas. Atua também como Perita Judicial em perícias de engenharia. E-mail para contato: francielebmachado@gmail.com

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abaqus 213, 214, 215, 218, 219, 221, 222, 223, 226, 227

Acidente de trabalho 1

Air Traffic Management (ATM) 183

Análise de patentes 41

Apontador 129, 147

Arco elétrico 67, 68, 69, 70, 73, 74, 79, 80

Atrazina 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170

B

Biopolímeros 134, 135

C

Compensação de energia 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 54, 100

Corpo 103, 114, 118, 119, 124, 134, 143, 177, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 255

D

Degradação 163, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 245, 250

Demanda contratada 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51

Diluição 101, 103, 104, 105, 106, 109, 111

Dispositivo 22, 73, 74, 127, 128, 129, 132, 147, 148, 151, 177, 180, 209, 245

Distribuição 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 40, 41, 54, 73, 76, 90, 92, 93, 100, 117, 119, 138, 140, 147, 160, 161, 173, 174, 178, 180, 182, 206, 226, 229, 233, 234, 236, 247, 248

E

Economia de energia 43, 51

Eletricista 1, 2, 5, 7, 69

Energia elétrica 2, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 32, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 52, 53, 54, 59, 60, 63, 65, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 97, 98, 100

Energia incidente 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 79

Energia solar fotovoltaica 81

Equipamentos de proteção individual 8, 67, 68

F

Fator de carga 92, 93, 94, 98, 99, 100

Fonte hídrica 20

Fotocatálise 163, 165

G

Geometria de bancada 101

Geração distribuída 10, 11, 13, 14, 15, 16, 19, 21, 53, 54, 57, 65, 81, 89, 90

Geração elétrica distribuída 20

I

Indústria fonográfica 172, 173, 176, 178, 179, 181, 182

Interpolação 228, 229, 230, 231, 232, 236, 237, 238, 239, 240

J

Jogos sérios 127, 128, 132

L

Leap motion controller 127, 128, 129, 132, 133

Leveduras 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144

M

Método da validação cruzada 228, 230, 237, 238

Microalgas 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 135

Microgeração 15, 17, 18, 53, 55, 56, 57, 63, 64, 92, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 100

Mineração de calcário 101, 103, 105, 109

Modelo tridimensional 101, 109

Mouse 146, 147, 148, 149, 150, 155, 159, 160, 161

N

Nr10 1, 2

O

Óxidos mistos 163, 165, 169

P

Palmilha 114, 115, 116, 117, 122, 123, 124, 126

Paradigmas tecnológicos 172, 173

Poli(ácido láctico) 134, 135, 137

Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC) 213, 214, 218, 223, 225, 226, 227

Poluição eletromagnética 228, 238

Prospecção tecnológica 34, 36, 41, 42, 114, 117, 145, 149, 162, 203, 204

R

Reabilitação virtual 127, 128, 132

Rede de distribuição 14, 15, 76, 92, 93

Reforço ao cisalhamento 213, 215, 216, 227

Regimes de apropriabilidade 172, 173, 174, 175

S

Sap2000 v15 213, 214, 215, 219, 226

Scanner a laser terrestre 101, 102, 103, 104

Sinais bioelétricos 114, 118, 124

Sistemas fotovoltaicos 81, 82, 90, 92, 93, 100

T

Turbinas 14, 20, 22, 23, 24, 31, 32

U

UAS Traffic Management (UTM) 183, 185, 186, 187, 189, 190, 194, 196, 197, 198, 200

Unmanned Aircraft System (UAS) 183, 184, 186, 200

V

Veículo elétrico 81, 84, 86, 88, 89, 90

