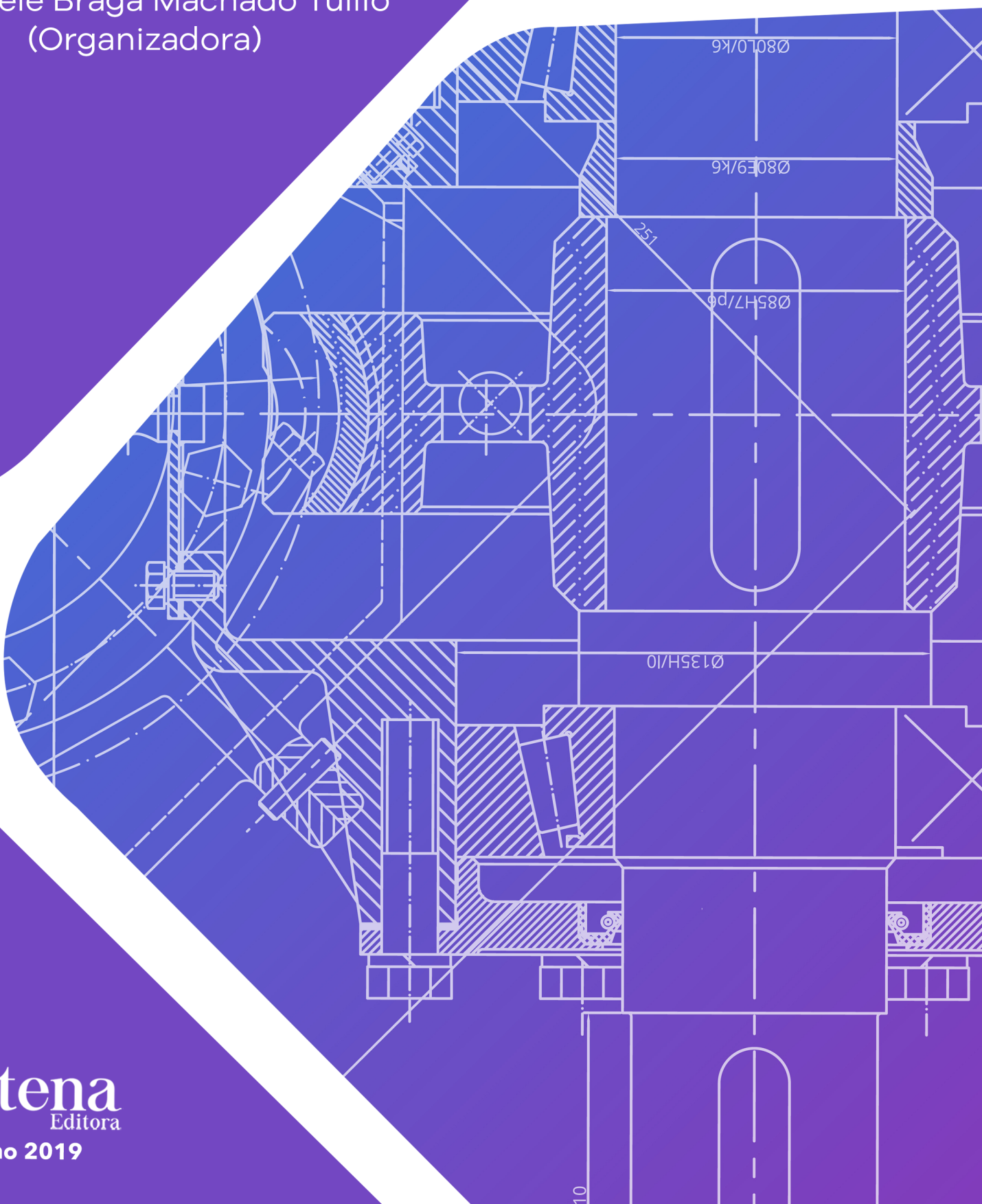


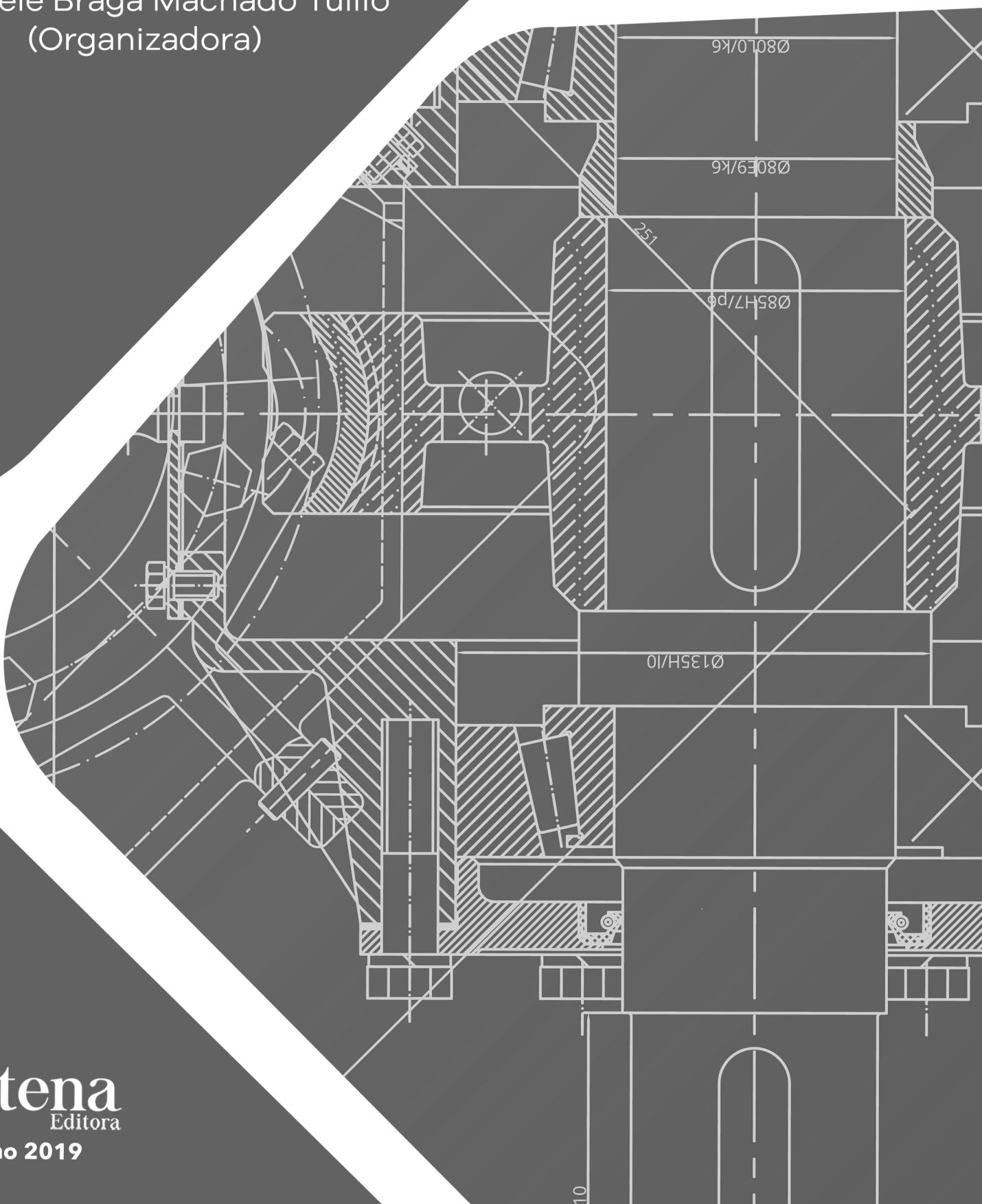
Pesquisa Científica e Inovação Tecnológica nas Engenharias 2

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 FONOGRÁFICA 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 Amomy 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

EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA NO TRABALHO PARA A ATIVIDADE DO SETOR ELÉTRICO

Data de aceite: 26/11/2019

Humberto Rodrigues Macedo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Coordenação da Área de Indústria. Palmas - Tocantins

Valci Ferreira Victor

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Coordenação da Área de Indústria. Palmas - Tocantins

Kaisson Teodoro de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Coordenação da Área de Indústria. Palmas - Tocantins

Paulo Henrique Martins Gonçalves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Curso Técnico em Mecatrônica. Palmas - Tocantins

RESUMO: A eletricidade se torna cada vez mais um bem essencial à atividade moderna, atualmente é impossível falar em crescimento econômico, sem falar em energia, dentre elas a eletricidade, que desde sua descoberta, e em prol do avanço científico e da modernização, vem exigindo cada vez mais investimentos

em ampliação de capacidade, e segurança no emprego de seus trabalhadores. No início da atividade elétrica até os dias modernos, houve grande evolução na segurança para os trabalhadores que trabalham diretamente com essa forma de energia letal. Neste trabalho abordaremos a origem da atividade elétrica, com a construção das linhas de transmissão, e a necessária evolução dos requisitos de segurança que foram implementados desde então.

PALAVRAS-CHAVE: eletricitista, distribuição, NR10, acidente de trabalho

EVOLUTION OF WORK SAFETY FOR ELECTRICITY SECTOR ACTIVITY

ABSTRACT: Electricity is becoming increasingly essential to modern activity, it is currently impossible to talk about economic growth, not to mention energy, including electricity, which since its discovery, and in favor of scientific advancement and modernization, comes increasingly demanding investments in capacity building, and job security of its workers. From the beginning of electrical activity to modern day, there has been a great evolution in safety for workers working directly with this form of lethal energy. In this paper we will address the origin of electrical activity, with the construction of transmission lines, and the necessary evolution

of safety requirements that have been implemented since then.

KEYWORDS: electrician, distribution, NR10, occupational accident

1 | INTRODUÇÃO

A Eletricidade, atualmente considerada um bem essencial para a sociedade moderna, possui características que a tornam extremamente perigosa e fatal, portanto, saber utilizar e trabalhar com ela tem sido, desde os primórdios, uma busca contínua por métodos e equipamentos para oferecer segurança ao eletricitista. De maneira geral, os eletricitistas não têm uma segunda chance diante de erros. Os primeiros trabalhadores não entendiam desta força letal, e não possuíam treinamentos e ferramentas adequadas, fazendo deste trabalho um dos mais perigosos, dentre todos os existentes na época (HISTORY, 2017). Para cada dois trabalhadores, um não chegava a aposentadoria, dada a grande concentração de acidentes fatais envolvendo os empregados eletricitistas, ao final do século XIX, várias ações foram tomadas, dentre elas, a organização de uma irmandade de eletricitistas – IBEW - *International Brotherhood of Electrical Workers*, e ferramentas de proteção foram desenvolvidas e aperfeiçoadas com o tempo (HISTORY, 2017).

Atualmente existem regras e normas de segurança no mundo e no Brasil, tais como: a CLT- Consolidação das Leis Trabalhistas; e a NR-10- Norma Regulamentadora; dentre outras normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. O objetivo deste trabalho foi a pesquisa sobre a origem e a evolução da segurança no trabalho, para a atividade do eletricitista; e se essa evolução foi eficiente em minimizar os acidentes de trabalho para os eletricitistas.

2 | METODOLOGIA

Foram utilizadas pesquisas em acervo digital sobre vídeos e testemunhos de eletricitistas sobre acidentes e sobre a evolução dos equipamentos de proteção. Outras pesquisas sobre dados de acidentes envolvendo eletricitistas. Busca em sites de fotografias que mostram como os equipamentos de proteção evoluíram, com a finalidade de observar a interação entre a modernização dos equipamentos de segurança e a redução de acidentes.

3 | HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA PARA OS ELETRICISTAS

3.1 A Evolução da Energia Elétrica e da Segurança para o Eletricitista

Em **1879**, Thomas Edison inventou a lâmpada, e a luz elétrica chegaria aos

lares pela primeira vez. Desenvolveu também geradores, comutadores, e fusíveis, enfim os equipamentos necessários para instalações das indústrias. Em **1882**, entrou em operação a primeira Usina geradora em Nova York, atendendo somente 59 moradores em corrente elétrica contínua – CC, que só poderia ser transmitida, na época, a poucos quilômetros (HISTORY, 2017).

Em **1886**, Nicola Tesla e George Westinghouse chegaram a corrente elétrica alternada – CA, e com esta nova tecnologia, desenvolveram linhas de transmissões com a utilização de transformadores elevadores de tensão, Com isso, a eletricidade passaria a chegar em lares cada vez mais distantes. As linhas ao chegarem às cidades pelas subestações e transformadores, os níveis de tensões eram rebaixados para disponibilização em nível de domicílios, indústrias e comércios. Surgindo então a grande necessidade de trabalhadores para a construção das linhas de transmissões. Muitos começaram a trabalhar na ampliação do sistema elétrico, sem sequer passar por treinamento e estudos (HISTORY, 2017).

Em **1891**, os trabalhadores em eletricidade formaram a irmandade dos eletricitistas, conforme Figura 1 (CANTRELL, 2017). O primeiro presidente do sindicato foi Henry Miller, um técnico que percorria o país trabalhando na construção das linhas e organizando os trabalhadores. Em apenas um ano, o sindicato contava com dois mil associados (HISTORY, 2017). Em **1896**, Miller faleceu ao fazer contato com uma linha de 2.200 v, em um poste, em Washington DC. O fundador do sindicato morria, entretanto, deixava seu legado.

Os demais trabalhadores associados se uniram cada vez mais, oferecendo treinamentos aos demais trabalhadores, sendo este, o marco inicial para a diminuição das perdas por mortes e acidentes em trabalho. Contudo o treinamento formal estava a décadas de distância. O sindicato passou a ser chamado de **irmandade internacional de eletricitistas**.



IBEW Founders

Figura 1 - Fundadores da irmandade dos eletricitistas (IBEW), Henry Miller está centralizado na imagem e sentado.

A principal habilidade que os trabalhadores precisavam ter era de subir em um poste de madeira, e cada um se arriscava de sua maneira. Antes de subir no poste utilizava-se um martelo para verificação do estado da madeira e para a subida usava-se uma **perneira** amarrada às pernas, e suas pontas penetravam nos postes de madeira, dando o apoio necessário. Havia também um **cinto** equipado com uma correia que se passava pelo poste e prendia nas extremidades. A Figura 2 apresenta um trabalhador usando algumas destas ferramentas (HISTORY, 2017).

Em 1914 surgiu o primeiro registro do uso de uma vara chamada **hotstick** (*vara quente*), que possuía várias ferramentas presas e intercambiáveis na sua ponta. Com ela, havia a possibilidade de fazer vários serviços sem precisar pôr as mãos nos condutores. Ela era feita de madeira e muito pesada. A madeira úmida fazia circular uma corrente por sua superfície que provocava acidentes graves. Em meados da década de 50, estes *hotsticks* foram substituídos por *hotsticks* de tubos de vidro, que eram isolantes, mais leves e de fácil manejo; e são usados desde então (HISTORY, 2017). A Figura 3 apresenta fotos da evolução do hotstick (DEHN, 2017).



Figura 2 – Trabalhador eletricitista reparando uma linha danificada

Fonte: Wikipédia, 2017.



Figura 3– Evolução dos *hotsticks*.

Fonte: DEHN, 2017.

As **luvas de borrachas** vitais nas atividades, foram introduzidas em **1915**, contudo, seu formato e espessura dificultava a articulação dos dedos e causavam problemas nas articulações dos trabalhadores (HISTORY, 2017). Em **1933** a fábrica *White Rubber* recebeu os desenhos de luvas específicas para este trabalho, que possuíam curvas tais como as mãos. Eram mais confortáveis para usar e trabalhar, e havia outra **luva de couro** que recobria a luva de borracha para evitar cortes, conforme pode ser visto na Figura 4 (DEHN, 2017). Atualmente à utilização de luvas é fundamental na manipulação de cabos de energia com até 35.000 v, e seu uso em diferentes classes de tensões está bem difundido.



Figura 4 - Luva de borracha com luva de couro para proteger contra cortes

Fonte: LIVE LINE TECHNOLOGY, 2017

Após a segunda guerra mundial a indústria de energia elétrica iniciou uma campanha de segurança, esta campanha revelou que a causa de 8% das mortes dos técnicos se dava pelo contato involuntário da cabeça do técnico com o cabo. Na época se usava um chapéu, e alguns eram feitos de couro em vez de feltro, que em contato com o cabo, protege de choques, pois bloqueia o contato direto. Somente nos anos 50 o **capacete** substituiu o chapéu de forma obrigatória (HISTORY, 2017).

Ao final da década de 50 surgiu o caminhão elevador, com ele o aumento da produção e da segurança, uma vez que estes caminhões elevavam as caçambas com os técnicos a uma distância segura, possibilitando boa visão para a manutenção das linhas com tempo mais reduzido, e com menores índices de acidentes (HISTORY, 2017). A Figura 5 demonstra essa evolução na segurança. (COFFIN-MAKER, 2017)

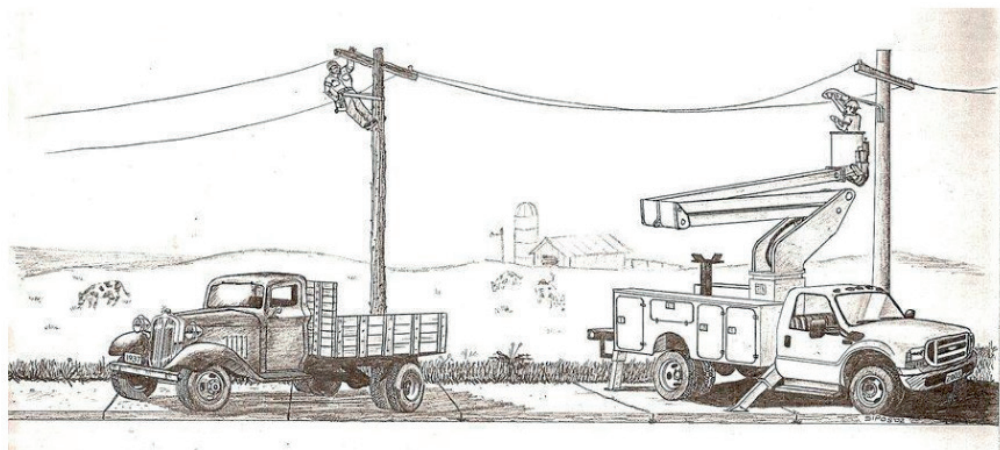


Figura 5 – Desenho ilustrativo dos veículos e métodos que eram utilizados e como são atualmente.

Fonte: COFFIN-MAKER 2017

Em 1905, a usina de *Niágara Fovls* já transmitia um potencial de 10.000 v, em 1936, a nova linha transmissora passou para 290.000 v. Em 1953 construía-se a primeira linha de 345.000 v, e na década de 70, linhas de 500.000 v se espalharam

por todo o país (HISTORY, 2017). Trabalhar com tamanha potência era difícil, além de exigir *hotsticks* extremamente longos. A partir de então criou-se o novo sistema chamado linhas vivas sem luvas, onde uma caçamba perfeitamente isolada, ergue os técnicos a altura dos cabos, e depois eles energizam seus corpos com o mesmo potencial, esse processo é chamado de equalização. Desta forma poderiam tocar o cabo sem provocar o choque e o acidente fatal (HISTORY, 2017).

Trabalhar em linhas vivas de 500 KV de tensão cria um efeito desconfortável devido à energia de indução, o que impede inclusive que pássaros pousem nestes cabos de energia, a fim de, evitar este problema, foi criada uma fina **roupa de trama de aço**. A roupa obriga a indução eletromagnética a envolver os homens, em vez de passar através deles (HISTORY, 2017). Assim, a manutenção nas linhas energizadas de grande potência poderia ser realizada.

No final dos anos 50 utilizavam-se de helicópteros para a instalação de torres de transmissão em áreas remotas, mais tarde nos anos 80, helicópteros e técnicos sem luvas, se uniram para serviços de manutenção em linhas vivas de 500KV. Para isso homens e helicópteros são energizados para equalizar a voltagem e trabalharem com segurança em relação a eletricidade (HISTORY, 2017). Conforme apresenta a Figura 6 (TA-LIGADAO, 2017). A interrupção da energia para manutenção provoca perdas econômicas para as indústrias, comércio, lares. Tal que equipamentos de segurança para trabalhar com a linha viva – linha energizada, se tornaram indispensáveis para a indústria da energia elétrica.



Figura 6 – Trabalhador em uma linha viva realizando a equalização

Fonte: TA-LIGADAO, 2017.

Outra ferramenta muito importante inventada para trabalho em reparos de linhas desligadas, foi o detector de tensão, que traz segurança para o eletricitista em relação ao estado da linha, sendo uma ferramenta essencial para a manutenção de linhas desenergizadas.

3.2 Evolução dos Acidentes envolvendo eletricitas

Logo no início das atividades com utilização da eletricidade a estatística era de que a cada dois trabalhadores um morria em decorrência de um acidente com eletricidade. A Agência Nacional de Energia Elétrica -ANEEL vem realizando um trabalho de quantificar as mortes com acidentes elétricos. Pode-se observar que os acidentes fatais vêm diminuindo no Brasil, sendo maior entre os funcionários terceirizados, conforme Tabela 1. Desta forma, políticas de segurança para os funcionários terceirizados, tais como: treinamentos periódicos; reciclagem, e cursos de capacitação devem ser cobrados das empresas contratantes de funcionários terceirizados pela sociedade civil.

Número de mortes de decorrentes de acidentes do trabalho								
Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Funcionários próprios	4	8	19	8	12	7	11	4
Funcionários terceirizados	58	71	58	51	41	50	55	25

Tabela 1- Número de mortes decorrentes de acidentes de trabalho no Brasil. Fonte: ANEEL, 2017

Fonte: ANEEL, 2017.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A evolução tecnológica vem contribuindo com a segurança dos profissionais durante os anos, os aperfeiçoamentos constantes das ferramentas e da legislação sobre segurança no trabalho também contribuíram para que a triste estatística de um óbito, para cada dois trabalhadores, em eletricidade, fosse mudada. Entretanto, não se pode perder a concentração e baixar a guarda em relação a esta força letal chamada eletricidade. Inúmeros acidentes estudados durante os treinamentos de novas equipes de trabalhos apontam para a não observação dos passos de segurança, e a falta de utilização dos EPIs (equipamentos de proteção individual) e EPC's (equipamentos de proteção coletiva) obrigatórios como causa dos acidentes. Fica evidente, a necessidade de valorização da importante iniciativa dos primeiros trabalhadores em criar o primeiro sindicato, os quais deram os passos iniciais para que hoje os eletricitas de forma geral, possam desempenhar suas funções com maior segurança.

Lembramos que todo trabalho no qual a eletricidade está presente, as normas de segurança são rígidas e vêm sendo atualizadas. Leis foram criadas e proporcionaram mudanças, tais como o treinamento obrigatório para os eletricitas, revisão bienal dos treinamentos em segurança (NR-10). Mesmo assim existe a dependência do

avanço científico para que novas ferramentas e equipamentos sejam inventados e disponibilizados, pois atualmente o número de acidentes envolvendo eletricitistas é considerado alto, e existe campo para diminuir essas estatísticas negativas.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como finalidade investigar e informar ao público geral sobre aspectos históricos dos trabalhos com eletricidade, sobre os riscos possíveis e demonstrar como contornar essas dificuldades através do desenvolvimento tecnológico de equipamentos de proteção, e evolução dos métodos de proteção. Para Henry Miller, fundador da irmandade em 1891, e tantos outros eletricitistas contemporâneos, não poderiam imaginar a utilização de helicópteros nesta atividade, e muito menos que um dia a tecnologia permitiria que os eletricitistas andassem pelos cabos de alta-tensão, ou sobre plataformas guiados por helicópteros. O conhecimento sobre a eletricidade e sua evolução nas questões de segurança pode ser útil na formação de eletricitistas cada vez mais consciente dos requisitos de segurança, e constitui na visão dos autores, uma ferramenta importante na busca da diminuição dos acidentes com eletricidade.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA-ANEEL. Disponível em:

<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/IndicadoresSegurancaTrabalho/pesquisaGeral.cfm>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

CANTRELL. **This dream is born**. Disponível em: <http://www.ibew1613.org/stewards/IBEW_history.html>. Acesso em: 21 ago. 2019.

COFFIN-MAKER. **Lineman's trucks old and new**. Disponível em:

<<https://coffin-maker.deviantart.com/art/lineman-s-trucks-old-and-new-182209759>>. Acesso em: 20 ago. 2019

DEHN. **Isolierende Stangen**. Disponível em: <<http://www.dehn.at/de-at/isolierende-stangen>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

HISTORY CHANNEL. **Documentário alta voltagem**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=vXwBej6EMh8>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

LIVE LINE TECHNOLOGY. **Rubber insulated gloves (1000V? 33000V)**. Disponível em:

<<http://www.liveline.co.za/rubber-gloves.php>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

TA-LIGADAO. **A vida sobre cabos de alta tensão**. Disponível em: <<http://ta-ligadao.blogspot.com.br/2011/01/vida-sobre-cabos-de-alta-tensao.html>>. Acesso em: 21 ago. 2017

WIKIPEDIA. **Linework**. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Lineworker>>. Acesso em: 21 ago. 2019.

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: LEGISLAÇÃO REGULATÓRIA E BENEFÍCIOS AOS CONSUMIDORES PELA COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

Data de aceite: 26/11/2019

Neide Alves Dalla Vecchia

Direcional Energia

Curitiba – Paraná

Ruan Michel Alves Dalla Vecchia

Centro Universitário Curitiba

Curitiba – Paraná

RESUMO: Este artigo apresenta as características e requisitos que os consumidores e geradores de energia devem ter para se enquadrar na Geração Distribuída - GD. Busca-se a interpretação de legislação do setor elétrico brasileiro, com maior ênfase nas normativas próprias para a Geração Distribuída, em especial a Resolução Normativa 482 de 2012 promulgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, posteriormente atualizada pela Resolução Normativa 687 de 2015. Nesse panorama, pretende-se ampliar os conhecimentos do tema, possibilitando se colocar em prática na sociedade. A base legal é relativamente nova e, devido à lacuna de esclarecimento das possibilidades dos consumidores/geradores de energia elétrica se enquadrarem na GD, o momento é oportuno para desenvolver o tema. Com a GD, os consumidores podem gerar a própria energia elétrica, injetar no sistema de distribuição

e compensar no consumo, inclusive tendo créditos que poderão ficar à disposição por até 60 meses. Este trabalho teve como objetivos norteadores descrever os mercados de energia elétrica existentes no Brasil, as legislações que os embasam e identificar os consumidores e geradores que podem beneficiar-se da GD.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Elétrica; Geração Distribuída; Compensação de Energia.

DISTRIBUTED GENERATION: REGULATORY LAW AND CONSUMER BENEFITS THROUGH ENERGY COMPENSATION

ABSTRACT: This research presents the characteristics and requirements that Energy consumers and generators must have in order to fit into the category of Distributed Generation – DG. It aims for the legal interpretation of the Brazilian electrical sector, focusing on the Distributed Generation norms, specially the National Agency for Electric Energy – ANEEL’s Normative Resolution 482/2012, updated afterwards by the Normative Resolution 687/2015. Furthermore, it intends to broaden the theme’s comprehension, making it possible for the society to put the referred knowledge into practice. The legal basis is relatively new and, because of the legal gap related to the energy consumers/generators’ possibilities of being framed as Distributed Generation, it is high time

to have the theme's developed. With DG, consumers can generate its own electrical power, insert it into the distribution system and compensate its consumption, moreover, having credits available for up to 60 months. This work had as objective to describe the existing energy markets in Brazil, its legal fundamentals and to identify consumers and generators that could be benefited from DG.

KEYWORDS: Electric Energy; Distributed Generation; Energy Compensation.

1 | INTRODUÇÃO

A base legal que apresenta as características e requisitos da Geração Distribuída – GD é relativamente nova, com a Resolução Normativa 482 de 2012 apresentada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, atualizada pela Resolução Normativa 687 de 2015.

Devido à lacuna de esclarecimento das possibilidades dos consumidores/geradores, Prossumidor (produtor e consumidor de energia), de energia elétrica se enquadrarem no GD, em especial com a nova atualização, o momento é oportuno para desenvolver este tema, visto que muitos consumidores de energia elétrica são favoráveis à sustentabilidade na sua geração de energia elétrica.

Com a GD os consumidores podem gerar a própria energia elétrica, injetar no sistema de distribuição e compensar no consumo, inclusive tendo créditos que poderão ficar à disposição por até 60 meses. Unidades Consumidoras individuais, Condomínios horizontais e verticais, Consórcios e Cooperativas poderão investir na sua própria geração construindo sua micro ou minigeração, usina de energia elétrica, ou ainda arrendando ou locando uma usina que gere energia até mesmo remotamente.

Cabe ressaltar que este trabalho teve como objetivos norteadores os seguintes: descrever os mercados de energia elétrica existentes no Brasil, seus consumidores e geradores e as legislações que os embasam e identificar os consumidores e geradores que podem usar a normativa de GD para compensação de energia elétrica.

2 | AMBIENTES DE CONTRATAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL

O Brasil teve no mercado de energia elétrica um processo de reestruturação que ocorreu entre os anos de 1995 e 1998, as leis mais relevantes que deram embasamento foram as Leis 9.074/1995, que estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos, e 9.427/1996, que institui a ANEEL. A Lei 10.848/2004 apresenta e explica a comercialização de energia elétrica, bem como o Decreto 5.163/2004 e a recente Portaria nº 514/2018 que ampliou mais o mercado livre. Isto posto, pode-se dizer que essa legislação

trouxe aprimoramento e embasamento para o novo modelo institucional do setor elétrico.

Uma das primeiras etapas determina a desverticalização setorial, passando a serem empresas distintas atuando em geração, transmissão, distribuição e comercialização. Confirmou-se que os serviços de geração e comercialização são suscetíveis às oscilações de mercado, enquanto a transmissão e distribuição são majoritariamente reguladas pelo Estado. Nesta conjuntura de mercado, a prestação de serviços de energia elétrica passa a existir em dois ambientes de contratação, o livre e o regulado.

Na esfera do Ambiente de Contratação Regulado – ACR as concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de energia elétrica devem primeiramente estar integradas ao Sistema Interligado Nacional - SIN. Contudo, as suas contratações de energia elétrica se darão mediante a licitação pelos leilões de compra, seguindo a formatação prescrita em lei.

Na contratação de energia elétrica para o ACR, utiliza-se o mecanismo de leilões para determinar preços e montantes transacionados. O Decreto 5.163/04, ao regulamentar a Lei 10.848/04, previu a realização de leilões de energia nova e de energia existente, ambos para contratação no âmbito do ACR. (CASTRO, 2011, p.157).

Devido a essa dinâmica de mercado, os que estão inseridos neste ambiente são chamados de consumidores cativos. Dessa forma o fornecimento de energia elétrica é de responsabilidade da concessionária de serviço público de distribuição e a remuneração pelo uso e consumo é resultado de tarifa regulada e isonômica para aqueles que estiverem na mesma classe de tensão.

Entretanto, examinando com acuidade, percebe-se que o consumidor cativo paga as concessionárias pela utilização de todo seu sistema. O uso e conexão do sistema de distribuição, também são custeados pelo valor pago na energia elétrica pelos consumidores no montante utilizado, correspondendo ao preço médio de compra de energia pelas distribuidoras nos leilões. As concessionárias, por sua formatação de serviço público, buscam a modicidade tarifária. Tal preço módico não significa necessariamente o mais baixo, mas que sejam acessíveis ao usuário, atendendo às necessidades e conveniências básicas da sociedade.

Por sua vez no Ambiente de Contratação Livre – ACL a energia elétrica é livremente negociada entre os seus agentes, sejam eles concessionários e autorizados de geração e os comercializadores e importadores, bem como os consumidores livres e especiais. A legislação permite ao consumidor livre adquirir energia de qualquer fonte, enquanto ao consumidor especial é delimitada a compra exclusiva de energia de Fonte Primária Incentivada – FPI, energia limpa e renovável.

Nesse ambiente, os consumidores livres e especiais estão vinculados à concessão para garantir o acesso ao sistema elétrico e remuneram as concessionárias pelo uso e conexão ao sistema de distribuição, e podem negociar livremente a energia elétrica no mercado com os fornecedores disponíveis. (DALLA VECCHIA, 2013, p.1545).

O ACR e o ACL são os dois modelos de opção para o consumidor. No ACR os contratos são realizados com a distribuidora local, concessionária deste serviço público, sendo a única opção. Por sua vez o ACL é apontado como uma das soluções para conquistar investidores e resolver os problemas de oferta de energia, abrindo oportunidades para os grandes consumidores. Além de facilitar o equilíbrio natural dos preços pela concorrência e isenção das regulações governamentais, assim resultando em melhora do setor para todos os tipos de consumidores e investidores envolvidos. (ROCHAS, 2007).

Diante deste cenário, os consumidores e geradores devem conhecer as regras de mercado e as características apresentadas pela legislação que as regulamentam. Quanto aos contratos de compra e venda é possível questionar se pertencem ao direito civil ou comercial, esclarecido pelo doutrinador VENOSA que afirma ser “conveniente que as obrigações de direito privado sejam vistas, examinadas e interpretadas em conjunto, [...], o Código Civil e as leis civis extravagantes, as leis empresariais, o Código de Defesa do Consumidor etc.” (2007, p.11).

Dentro deste cenário, ACL, a compra de energia elétrica será realizada com a livre escolha de quem será o vendedor, respeitando a regulamentação vigente. Cabe lembrar que o consumidor buscará condições mais vantajosas na negociação, seja pelo preço mais baixo, seja pela customização do insumo.

Reforça-se que o consumidor do ACL seja total ou parcialmente livre, Consumidor Livre ou Especial, dentro da sua especificidade têm liberdade de negociação no que corresponde ao Mercado Livre de energia elétrica. Todavia, não poderão aderir a Geração Distribuída, visto que se trata necessariamente de consumidores que fazem parte do ACR para poderem se enquadrarem como GD, objeto que iremos abordar na sequência, o foco principal deste estudo.

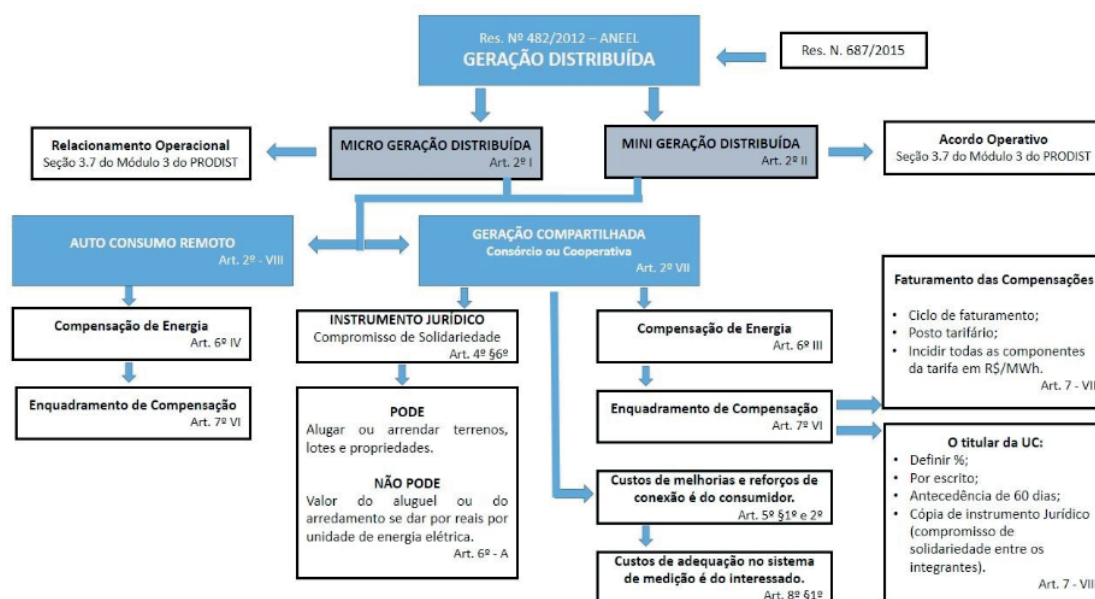
3 | GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Até 2012, o conceito de geração distribuída referia-se somente a energia elétrica gerada e conectada na mesma distribuidora, descrevendo, assim, uma contratação realizada entre distribuidora e usina sem presença de leilão, mas de simples chamada pública promovida pelo próprio agente distribuidor. Atualmente, continua sendo permitida a compra de até 10% do montante das cargas das distribuidoras diretamente de geradores conectados nas respectivas redes de distribuição.

De forma mais ampla, porém, a ideia de geração distribuída trata de uma configuração geográfica e logística da produção de energia elétrica caracterizada por alta difusão e reduzida densidade, geralmente em local mais próximo ao consumo, através de unidades geradores de baixo e médio porte, incluindo: cogeneradores, geradores de emergência, geradores para horários de ponta, módulos fotovoltaicos, Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGHs, entre outros. Inclusive, há delimitação legal para o máximo de potência instalada nestas usinas geradoras para serem passíveis de enquadramento como GD de compensação.

Dessa forma, compete ao consumidor realizar a análise da relação de custo/benefício para instalação dos geradores. Há várias circunstâncias a serem consideradas nessa projeção: tipo da fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc), tecnologia dos equipamentos de geração, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), tarifa à qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto e existência de outras unidades consumidoras que possam usufruir dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica. (BRASIL. ANEEL, 2016)

O fluxograma abaixo apresenta as principais definições de GD e suas particularidades legais mais relevantes, bem como suas inter-relações.



Fluxograma 1 - Aplicabilidade legal da Geração Distribuída de compensação:

Fonte: DALLA VECCHIA, 2016

A resolução da GD teve início com o propósito de possibilitar a Unidades Consumidoras - UCs gerarem sua própria energia elétrica, em especial através de módulos fotovoltaicos. Os módulos são usualmente instalados na própria cobertura da UC, a eletricidade gerada em corrente contínua passa por um inversor e então é conectada tanto à UC quanto à rede de distribuição, exigindo um medidor bidirecional

ou dois medidores unidirecionais. Com essa estrutura, a energia gerada é consumida imediatamente pela unidade consumidora, ou é injetada na rede de distribuição, enquadrando-se no que a resolução da GD define como “empréstimo gratuito” em troca de créditos de energia que podem ser compensados pela rede noutro momento. Essa transação virtual é necessária à viabilidade de geradores como um módulo fotovoltaico, que dependem de fonte renovável intermitente.

A qualificação como GD está diretamente ligada ao tipo de energia gerada e à potência instalada do equipamento, como previsto na redação dada pela REN ANEEL 687/2015 no Artigo 2º sendo:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

Dentro deste conceito é que as UCs que pretendem investir em instalações de GD devem buscar seu enquadramento. Além da concordância com as Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015, faz-se necessário cumprir os procedimentos e exigências previstos no Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST (seção 3.7), bem como na Resolução nº 414/2010.

4 | CONSUMIDORES, GERADORES E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O consumidor brasileiro pode gerar sua energia elétrica com fontes renováveis tendo como embasamento o Sistema de Compensação de Energia Elétrica criado pela ANEEL em abril de 2012. A regulamentação define Micro e Minigeração Distribuída como a produção de energia elétrica com pequenas centrais geradoras de fontes renováveis ou cogeração qualificada que estejam conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de Unidades Consumidoras - UCs que estejam na mesma distribuidora.

As fontes de energia para a GD são de pequenas centrais geradoras que utilizam fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações de UC.

O sistema de compensação de energia se dá primeiramente em relação a energia ativa para ser compensada no mesmo posto tarifário. Tendo excedentes, estes créditos poderão ser usados em outro posto horário na mesma UC e no mesmo

ciclo de faturamento. Restando créditos o mesmo procedimento de compensação se dará para outra UC que já tenha sido cadastrada previamente, obedecendo a ordem escolhida, podendo ser compensados em até 60 meses.

Os consumidores a participar da GD podem ser Unidades Consumidoras individuais, Condomínios horizontais e verticais, Consórcios e Cooperativas. A geração pode ser junto com o consumo ou em outro local dentro da mesma distribuidora. Quando o autoconsumo for remoto poderá ser designado para Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras e para Geração Compartilhada. Os primeiros poderão ser compostos por condomínios horizontais ou verticais, já os segundos pela reunião de consumidores da mesma área de concessão ou permissão por meio de consórcio ou cooperativa. A REN ANEEL 687 no artigo 4º informa que tanto para os primeiros como os segundos quando da solicitação de acesso deverão apresentar instrumento jurídico com o compromisso de solidariedade entre as partes integrantes.

5 | EFETIVA IMPLANTAÇÃO DE GD

Como enquadramento para a Geração Distribuída, temos dois momentos: o que precede o enquadramento como GD e a sua efetivação. O primeiro, quanto a adequação como GD para a usina que propõe alugar seu empreendimento de geração de energia elétrica, quando da já existência de uma usina em funcionamento ou em fase de finalização, e o segundo momento é após a formalização documental junto a distribuidora e a resposta positiva do enquadramento como GD.

Vista a GD como um negócio se busca economia e retorno financeiro nos investimentos prévios. Que podem ser vistos de duas formas, sendo o próprio consumidor, uma única UC pessoa física ou jurídica, grupo empresarial com matriz e filiais com o mesmo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica - CNPJ, condomínio vertical ou horizontal ou até mesmo um grupo de UCs que se reúnem para constituir um consórcio ou cooperativa, neste último caso seguindo as orientações das legislações próprias e específicas destas pessoas jurídicas.

Neste caso o investidor da usina que vai gerar energia para ser injetada no sistema de distribuição e compensar com os créditos de energia gerado poderá optar por: uma usina já existente, dentro dos limites de potência e fonte que a legislação permite como já esclarecido anteriormente, uma usina construída no mesmo local da UC ou uma usina em outro local na mesma distribuidora a qual remotamente injeta energia.

No Brasil há poucos casos de usinas que já eram um empreendimento existente, registrado como Produtor Independente, participante do ACL, e agente da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE. Estes precisaram primeiramente

encerrar seu cadastro na CCEE e comunicar a ANEEL que deixaria de ser Produtor Independente para passar a ser gerador de GD, bem como realizaram os trâmites burocráticos junto a distribuidora local para passar a ser uma UC com geração de energia, ou seja, um Prossumidor (produtor e consumidor de energia). Atualmente, esta operação de mudança não é mais legalmente possível, ou seja, somente novas usinas poderão ser enquadradas como GD.

Para as novas usinas projetadas e construídas com opção de GD, bem como aquelas que deixaram o ACL, não terão nesta modalidade o desconto da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição - TUSD. Esta usina poderá ser de propriedade ou comprada pelo(s) consumidor(es) ou ser arrendada ou locada. No caso de locação ou arrendamento não poderá locar a geração e sim a usina como um todo e jamais poderá ficar vinculada a valores variados conforme a geração de energia. O risco do montante de energia a ser compensado passa a ser do locador. Portanto, ressalta-se a importância de precificar de antemão a quantidade de geração média da usina e quanto equivale em R\$/MWh para que este valor fique menor que o que o consumidor esteja pagando a distribuidora, pois só assim será vantajoso financeiramente.

Desta feita, esta transação poderá ser vantajosa tanto para o consumidor, pela economia financeira na conta de energia, quanto para o gerador. Todavia, deve-se ter o cuidado para não vincular o valor da locação com a energia gerada, pois isso caracterizaria comercialização de energia, o que é proibido ao GD, como pode ser visto pela legislação, Resolução Normativa da ANEEL 482/2012/ REN ANEEL 687, de 24.11.2015 – Art. 6 – A, sendo:

A distribuidora não pode incluir os consumidores no sistema de compensação de energia elétrica nos casos em que for detectado, no documento que comprova a posse ou propriedade do imóvel onde se encontra instalada a microgeração ou minigeração distribuída, que o consumidor tenha alugado ou arrendado terrenos, lotes e propriedades em condições nas quais o valor do aluguel ou do arrendamento se dê em reais por unidade de energia elétrica.

Outro ponto favorável a GD está presente nos estados que têm isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS. O ICMS é um tributo estadual e cabe a cada estado legislar e arrecadar. Entretanto, o Conselho Nacional de Políticas Fazendária - CONFAZ aprovou o Convênio ICMS 16 de 22/04/2015 que autorizou a isenção nas operações referentes a circulação de energia elétrica sob o sistema de compensação. Com isso, o ICMS incide somente na parcela que efetivamente foi atendida pela distribuidora, ou seja, a diferença entre a energia consumida e a energia injetada e eventuais créditos decorrentes de excedentes de geração de meses anteriores. Esta regra só é válida para os estados que aderirem ao Convênio ICMS 16 e para os que legislarem da mesma forma. Contudo, nos estados que não aderirem será cobrado o ICMS sobre o consumo total, mesmo que

tenha injetado na rede energia própria de micro ou minigeração enquadrada como GD.

Depois da oficialização em GD o mês a mês será o acompanhamento dos créditos que foram diminuídos do consumo e sua contabilização por patamares e se sobrou estes ficaram creditados podendo ser utilizados em até 60 meses subsequentes. Podendo ser modificado o percentual de crédito para a UC que precisar de mais ou menos energia quando se tratar de cooperativa e/ou consórcio, sendo que neste caso deverá ser comunicado a distribuidora com um prazo mínimo de noventa dias.

6 | CONCLUSÃO

Mesmo com os meandros de legislação e de adequação entende-se que GD é um bom negócio para as UCs. Em especial para as que não preenchem os requisitos para o ACL, bem como para empreendedores que pretendam investir em construção de usinas de menor porte. Trata-se de um novo nicho de investimento de geração de energia para arrendar e/ou locar para consumidores que visem gerar sua própria energia, minimizando seus custos e colaborando para um país com mais geração de baixo impacto ambiental ao mesmo tempo que tenham redução na conta de energia com a distribuidora que estão conectados. Entende-se que este pode ser um excelente negócio para empreendedores que buscam investir no Setor Elétrico neste nicho de mercado que é a GD.

REFERÊNCIAS

BRASIL. ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída: sistema de compensação de energia elétrica.** Agência Nacional de Energia Elétrica. 2ed. Brasília: ANEEL, 2016. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida++2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 09 set. 2019.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2008316.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019.

BRASIL. ANEEL. **Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: 11 set. 2019.

CASTRO, Nivalde José de; Roberto Brandão; Simona Marcu; Guilherme de A. Dantas. **Mercados de Energia em Sistemas Elétricos com Alta Participação de Energias Renováveis.** Rio de Janeiro, 2011.

DALLA VECCHIA, Neide Alves. **Contratos de Energia Elétrica: Um Cotejo Entre o Mercado Cativo e o Mercado Livre opções para o Consumidor.** Curitiba: monografia do MBA em Setor Elétrico, FGV, 2014. p. 34.

_____. Geração Distribuída para Compensação de Energia Elétrica. In: CBGD – 1º Congresso Brasileiro de Geração Distribuída, 2016, Curitiba. **Anais da 3ª Conferência Internacional de Energias Inteligentes – CIEI & EXPO**. Curitiba: TECPAR, PARANÁ METROLOGIA 2016. Artigos, p. 95-100. ISBN 978-85-99461-11-5.

_____, et al. **Os Efeitos da Lei 12.783/2013 no Mercado Livre Especial da Área de Concessão da Copel – Uma Abordagem dos Impactos na Tarifa de Energia**. In: XV Congresso Brasileiro de Energia – Coppe: 50 Anos Antecipando o Futuro. 2013. p.1545 -1562.

ROCHAS, Anna Flávia. **Na Defesa do Mercado Livre**. GTD – Geração – Transmissão - Distribuição. São Paulo, Lumière, Ano 3, ed. 22, p. 14-17, out/dez 2007. p.14.

VENOSA, Sílvio de Salvo. **Direito Civil – Contratos em Espécie**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2007. p.11.

HIDROENERGIA: ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA TURBINA FRANCIS PARA APROVEITAMENTO HIDRELÉTRICO EM PCHS

Data de aceite: 26/11/2019

Cristine Machado Schwanke

Universidade Federal do Pampa

Grupo de Pesquisa em Energia e Meio Ambiente
– Bio&Energia

Laboratório de Sistemas Térmicos e de Fluido -
Bagé – RS

cristineschwanke@unipampa.edu.br

Ingrid Augusto Caneca da Silva

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Vanessa Silva Goulart

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Suélen Mena Meneses

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Nathália Dias Imthon

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Matheus Henrique Baesso

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Joyce Alves Silva Cruz

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Ethan Ribas Pereira Perez

UNIPAMPA – Grupo Bio&Energia - Bagé – RS

Matheus Felicio Palmeira dos Santos

UNIPAMPA - Bagé – RS

RESUMO: A importância da geração elétrica distribuída vem sendo discutida desde a crise energética de 2001, inserindo novos agentes e abrindo concorrência no setor elétrico

nacional. Há uma crescente inserção de fontes renováveis de energia, devido principalmente as preocupações ligadas à redução do uso de fontes fósseis de energia. Portanto, o paradigma do sistema elétrico brasileiro enfrenta desafios importantes. Observando que a fonte hídrica compõe 65,2% da matriz energética nacional (EPE/BEN, 2018) e que há uma tendência em menores aproveitamentos devido aos impactos ambientais presentes na construção de barragens, o presente trabalho analisa o comportamento de uma turbina do tipo Francis com diferentes cargas e ajustes das palhetas guia para aproveitamento hidrelétrico em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs). A potência entregue pela água, a potência absorvida pela turbina e seus rendimentos máximos foram calculados e comparados com os dados teóricos através das curvas características, permitindo a obtenção de resultados satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Geração elétrica distribuída; fonte hídrica; turbinas.

ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF A FRANCIS TURBINE FOR HYDROELECTRIC USE IN SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS

ABSTRACT: The importance of distributed electrical generation has been discussed since

the energy crisis of 2001, inserting new agents and opening competition in the national electric sector. There is a growing insertion of renewable energy sources, mainly due to concerns about reducing the use of fossil energy sources. Therefore, the model of the Brazilian electrical system faces important challenges. Noting that the water source composes 65.2% of the national energy matrix (EPE/BEN, 2018) and that there is a towards lower utilization due to the environmental impacts presents in barrage construction, this study presents analyzes the behavior of a Francis type turbine for different loads and adjustments of the guide vane for hydroelectric use in Small Hydroelectric Power Plants (PCHs). The power delivered by water, the power absorbed by the turbine and its maximum yields were calculated and compared the theoretical data of the performance curves, presenting satisfactory results.

KEYWORDS: Distributed electrical generation; Hydric source; Turbines.

1 | INTRODUÇÃO

O setor elétrico em diversos países vem apresentando constantes mudanças em seus mais variados aspectos. No caso do Brasil, não poderia ser diferente. A geração de energia, que inicialmente predominava plantas hidrelétricas e termelétricas, vem ganhando diferentes contornos com a introdução de novas fontes renováveis, tanto no já tradicional modelo centralizado, como em arranjos distribuídos (CORRÊA DA SILVA; DE MARCHI NETO; SILVA SEIFERT, 2016). A evolução dos mercados de energia tem exigido pesquisa e aperfeiçoamento para o desenvolvimento de tecnologias, mas também é de fundamental importância o planejamento em diversos segmentos relativos a questões regulatórias, técnicas, ambientais e sociais, entre outras.

O modelo institucional do setor elétrico brasileiro já passou por diversas transformações que se refletiram no funcionamento da geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no país (AGUIAR FILHO, 2007; BANDEIRA, 2003; BRASIL, 2004; PIRES, 2000). O modelo vigente desde 2004, proposto pelo Ministério de Minas e Energia (MME), regulamentado pela Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, contempla três objetivos principais: (i) garantir a segurança de suprimento de energia elétrica; (ii) promover a modicidade tarifária, por meio da contratação eficiente de energia para os consumidores regulados; e (iii) promover a inserção social no Setor Elétrico Brasileiro (SEB), em particular pelos programas de universalização de atendimento (BRASIL, 2004; MME, 2003). Dentre as mudanças tecnológicas pelas quais diversos sistemas elétricos pelo mundo enfrentam durante o século XXI, podem-se citar questões como a transição para redes inteligentes, a redução das emissões de carbono, o aumento da geração distribuída (GD), inserção dos veículos elétricos e a necessidade de armazenar energia (ANUTA et al., 2014; BP, 2016; IEA, 2015b; LEE; CHEN; CHEN, 2017; LUND et al., 2012;

MORONI; ANTONIUCCI; BISELLO, 2016; VAHL; RÜTHER; CASAROTTO FILHO, 2013). No Brasil, ainda se tem o desafio de lidar com um grande parque instalado de hidrelétricas, que é muito sensível a crises hídricas, sem contar que há fortes pressões sociais e ambientais que impedem a construção de grandes reservatórios (CORRÊA DA SILVA et al., 2016). Todas essas questões devem ser consideradas no planejamento energético e nas mudanças regulatórias necessárias.

Um grande desafio enfrentado pelo setor elétrico brasileiro é manter o equilíbrio das grandes usinas hidrelétricas com as demais fontes de energia. Em termos de armazenamento, as usinas hidrelétricas brasileiras possuem grandes reservatórios com capacidade de armazenamento que pode chegar até metade do consumo anual de eletricidade do país. Desta forma, o estudo continuado de novas tecnologias e diversificação do portfólio energético são indispensáveis para enfrentamento da próxima década que se inicia em 2021. Para tanto, um estudo de caso foi realizado analisando o comportamento de uma turbina do tipo Francis para aproveitamento hidráulico em Pequenas Centrais Hídricas (PCHS).

2 | TURBINAS HIDRÁULICAS

Máquina de Fluido também conhecida por Turbomáquina e/ou Máquina de Fluxo, na tradução livre do termo em inglês, *Turbomachines* ou *Fluid Machinery*, são usualmente classificadas por Geradora ou Motora. Classificar um equipamento é essencial para determinar e descrever corretamente suas funções e o campo de atuação do dispositivo, para objeto de estudo; neste caso, detém sob a classificação principal a finalidade de expressar o caminho do processo de conversão de energia que remete a capacidade do equipamento de, em termos gerais, suprir ou extrair energia do fluido através do escoamento em um rotor e suas palhetas ou pás (CENGEL E CIMBALA, 2006). Entretanto, a mera classificação de Geradora ou Motora não é suficiente para escolher o equipamento para uma certa finalidade ou estudo de área em si; é necessário mais do que isso, como avaliar as características construtivas do equipamento, do fluido e da sua aplicação (KONRADT et al., 2015). Para tanto, movimentar líquido ou gases, podemos empregar uma variedade de bombas, ventiladores, sopradores e compressores de diferentes pressões. Enquanto, as turbinas hidráulicas, por sua vez, têm como a principal aplicação a geração de energia elétrica por meio de um gerador conectado ao eixo do rotor, onde o fluido escoar em alta pressão e transforma energia de fluido em energia mecânica (CENGEL E CIMBALA, 2006; POTTER, WIGGERT E RAMADAN, 2002).

No que se refere a eficiência, as turbinas hidráulicas ficam em torno de 95%, em comparação com as bombas, que em sua melhor situação chegam próximas

de 90%. As razões para esses valores de eficiência são as características próprias do funcionamento de cada máquina de fluido; por exemplo, as máquinas de fluido geradoras, as quais tendem a operar com altos valores de rotação contrapondo às turbinas; tendo como consequência o aumento de forças cisalhantes e perda por atrito. Já, no caso de turbinas hidráulicas, possuem dimensões muito maiores do que as bombas; assim, em última análise implica na perda por forças viscosas desprezíveis. (ÇENGEL, CIMBALA, 2006)

Em relação a queda d'água para retenção de um certo volume de fluido, a fim de manter níveis mínimos de vazão, a finalidade da aplicação permite determinar a queda, vazão e as potências exigidas e por fim, o modelo a ser usado. Portanto, em certos casos, o campo de atuação possui sobreposição de equipamentos e sua simplificação se dá através da adição de parâmetros, como o risco de cativação e a flexibilidade de operação que explicita condições específicas (POTTER, WIGGERT E RAMADAN, 2002; HENN, 2006).

Quanto a viabilidade para empregar uma turbina hidráulica, partimos da determinação das suas características básicas e em quais condições se deseja operar, serão estes os requisitos com que a máquina de fluido estará subordinada e deverá observar com atenção os seus limites para manter o funcionamento em níveis mínimos de segurança, além de um arranjo físico do sistema de forma que não ocorra cavitação. Geralmente, é possível iniciar a partir de pontos chave de projeto como a altura de queda (H , m), vazão (Q_v , m^3/s ; L/s) e a potência (P , Kw; MW). (HENN, 2006; KHAN, 2015; PENCHE, 1998).

Na tabela 1 pode ser visto a classificação de turbinas hidráulicas de acordo com alguns parâmetros.

Turbina	Classificação	Trajectoria	Queda (m) ¹	Queda (m) ²	n_{qA}
Pelton	Impulso	Tangencial	$H > 300$	$50 < H < 1300$	8 – 50
Francis	Reação	Misto	$50 < H < 300$	$10 < H < 350$	50 – 250
Kaplan – Hélice		Axial	$H < 50$	$2 < H < 40$	250 – 850

Tabela 1: Classificação de Turbinas Hidráulicas.

Fonte: (¹ KHAN, 2015; ² PENCHE/ESHA, 1998).

A Máquina de Fluido é projetada para operar sob um conjunto de condições; entretanto, na prática é possível que ela seja submetida as condições diferentes das pré-estabelecidas e nessas situações, sua performance precisa ser conhecida para cumprir as exigências mínimas de funcionamento. Uma forma de conhecer o desempenho de uma máquina de fluido é obter as suas curvas características através da aplicação de testes sobre o modelo e/ou protótipo; e, assim, construir um banco de dados para estimar e simular o comportamento de máquinas semelhantes.

(SANTOS et al., 2016)

As máquinas de fluido motoras possuem subclassificação de acordo com a forma dos canais entre as pás do rotor, que são designados pelos termos turbina de ação e de reação.

Na turbina de ação, serão abordados os conceitos relacionados a turbina Pelton, enquanto na turbina de reação, os conceitos referentes a turbina Francis.

Na figura 1 são apresentadas as curvas de desempenho ou também conhecidas como curvas características de máquinas de fluido; neste caso as curvas características de turbinas de ação e reação em função da sua vazão (Q) e velocidade de rotação (n).

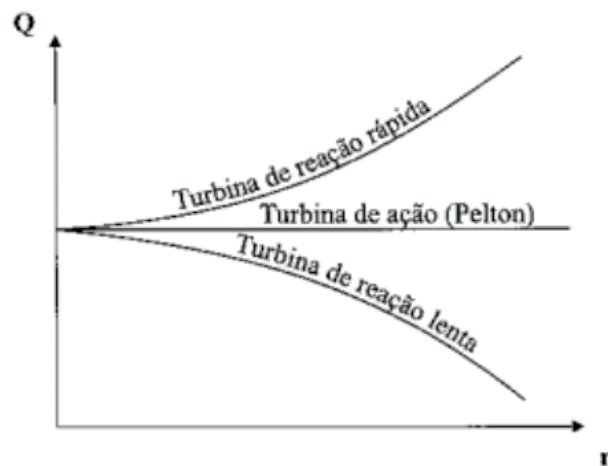


Figura 1: Curva $Q = f(n)$ para Turbinas Hidráulicas. Fonte: HENN, 2006.

A turbina Pelton para a curva tem comportamento linear, pois a sua velocidade e seção de passagem do fluxo na saída do injetor mantêm-se constantes, independente da rotação da turbina. Para o modelo Francis Rápida, a passagem da água no rotor percorre o trajeto radialmente, portanto, corresponde a força centrífuga que aumenta com a velocidade e para Francis Lenta, ocorre a saída do fluido em trajeto radial que tende a agir como uma barreira para a admissão do fluido. (HENN, 2006; KHAN, 2015)

A turbina Francis (Figura 2) possui um arranjo físico denominado caixa espiral ou voluta no qual o fluido percorre e preenche todo o sistema a um determinado nível de energia cinética e de pressão acima da atmosférica; o caminho deste sistema tende a diminuir ao se aproximar da palheta, ocorrendo o consumo da energia de pressão para iniciar o movimento do rotor (CENGEL E CIMBALA, 2006; POTTER, WIGGERT E RAMADAN, 2002; HENN, 2006).

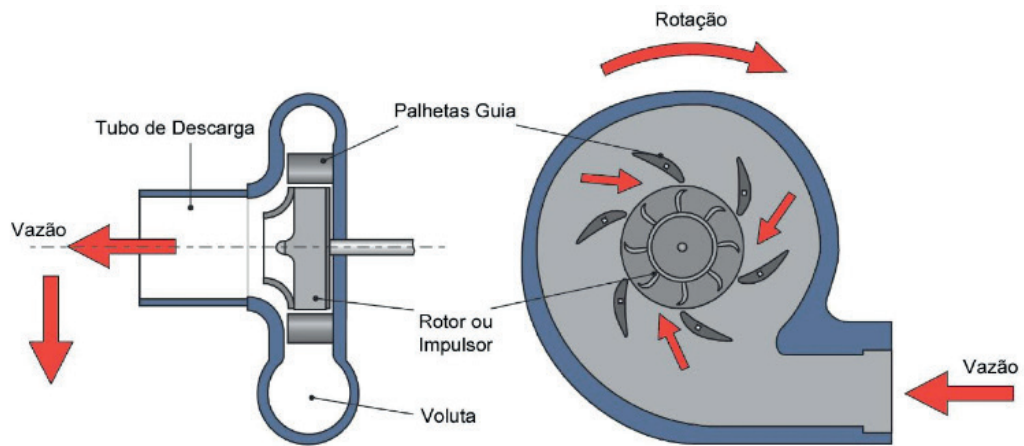


Figura 2: Módulo Turbina Francis com as palhetas guia.

Fonte: Catálogo TecQuipment, 2019.

Finalmente, cabe citar o grau de abertura que remete ao percentual de máxima abertura no qual a Turbina Hidráulica está submetida; quando se refere a Pelton, trata do cursor da agulha do injetor e para o modelo Francis está relacionado com a menor distância entre a cauda de uma pá do sistema diretor e a seguinte. (HENN, 2006; KHAN, 2015)

3 | MÉTODO E RESULTADOS COM SUA ANÁLISE E DISCUSSÕES

A análise do comportamento de um módulo turbina do tipo Francis (Figura 3), com diferentes cargas e ajustes das palhetas guia para aproveitamento hidrelétrico em Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHS) foi realizado.



Figura 3: Módulo Turbina Francis analisada.

Fonte: Catálogo TecQuipment, 2019.

A potência entregue pela água (P_h), a potência absorvida pela turbina (P_m) e seus rendimentos máximos (η_h) foram calculados e comparados com os dados teóricos através das curvas características.

As equações 1, 2 e 3 foram usadas para o cálculo das potências e rendimentos máximos, onde P_m (W) é a potência útil, N (rpm) é a velocidade de rotação, T (N.m) é a carga (torque), Q_v (L/s) é a vazão volumétrica, P_h (W) é a potência hidráulica, p (bar) é a pressão e η_h (%) é o rendimento hidráulico (eficiência), como abaixo segue:

$$P_m = \frac{2\pi NT}{60} \quad (1)$$

$$P_h = \frac{Q_v p}{1000} \quad (2)$$

$$\eta_h = \frac{P_m}{P_h} \times 100 \quad (3)$$

Para o módulo da Turbina Francis, analisou-se o seu comportamento para duas situações, pressão constante (Tabela 2 e Tabela 3) e variável (Tabela 4), variando o grau de abertura das pás guias do sistema diretor em abertura máxima, 66% e 33%, respectivamente. Cabe observar que, os dados foram registrados até que o funcionamento da turbina fosse interrompido, isto é, até a aplicação da carga máxima.

$\Delta p = 0,1 \text{ bar}$												
Grau de Abertura: 100%						Grau de Abertura: 66%						
Vazão, Q_v (L/s)	Vel., N (rpm)	T (N.m)	P_m (W)	P_h (W)	Efic., η_h (%)	Vazão, Q_v (L/s)	Vel., N (rpm)	T (N.m)	P_m (W)	P_h (W)	Efic., η_h (%)	
0,499	831	0	0	4,99	0	0,401	786	0	0	4,01	0,00	
0,631	805	0,01	0,843	6,31	13,36	0,502	777	0,01	0,814	5,02	16,21	
0,662	797	0,02	1,669	6,62	25,22	0,518	757	0,01	0,793	5,18	15,30	
0,674	790	0,03	2,482	6,74	36,82	0,541	756	0,02	1,583	5,41	29,27	
0,726	779	0,03	2,447	7,26	33,71	0,576	739	0,03	2,322	5,76	40,31	
0,77	771	0,04	3,230	7,7	41,94	0,65	709	0,04	2,970	6,5	45,69	
0,828	764	0,05	4,000	8,28	48,31	0,693	648	0,04	2,714	6,93	39,17	
0,856	715	0,06	4,492	8,56	52,48	0,712	639	0,05	3,346	7,12	46,99	
						0,761	610	0,06	3,833	7,61	50,36	
						0,775	594	0,07	4,354	7,75	56,18	
						0,813	531	0,08	4,449	8,13	54,72	
						0,849	484	0,09	4,562	8,49	53,73	
						0,864	445	0,1	4,660	8,64	53,94	

Tabela 2: Dados experimentais da Turbina Francis, à pressão constante para Grau de Abertura, 100% e 66%.

Fonte: Autores, 2019.

Os dados da tabela 2 mostra que a variação da pressão permaneceu constante com as palhetas guia do sistema diretor totalmente abertas (100%, abertura máxima) e 66% (2/3 da abertura máxima), entretanto conforme mostra a tabela 3, quando diminui para 33% (1/3 da abertura máxima) a pressão acusa um pequeno aumento na sua variação de pressão para 0,2 bar, justificando o aumento da velocidade de rotação com a conseqüente redução da vazão.

$\Delta P = 0,2 \text{ bar}$					
Grau de Abertura: 33%					
Vazão, Q_v (L/s)	Velocidade, N (rpm)	Torque, T (N.m)	P_m (W)	P_h (W)	Eficiência, η_h (%)
0,403	970	0	0	8,06	0,00
0,472	886	0,01	0,928	9,44	9,83
0,493	853	0,01	0,893	9,86	9,06
0,515	772	0,02	1,617	10,3	15,70
0,541	730	0,03	2,293	10,82	21,20
0,545	648	0,03	2,036	10,9	18,68
0,583	590	0,04	2,471	11,66	21,20
0,614	554	0,05	2,901	12,28	23,62
0,695	529	0,06	3,324	13,9	23,91
0,725	478	0,07	3,504	14,5	24,17
0,754	383	0,08	3,209	15,08	21,28

Tabela 3: Dados experimentais da Turbina Francis, à pressão constante para Grau de Abertura, 33%.

Fonte: Autores, 2019

A partir dos dados da tabela 2 e tabela 3 obtém as curvas características para os graus de abertura de 100%, 66% e 33%.

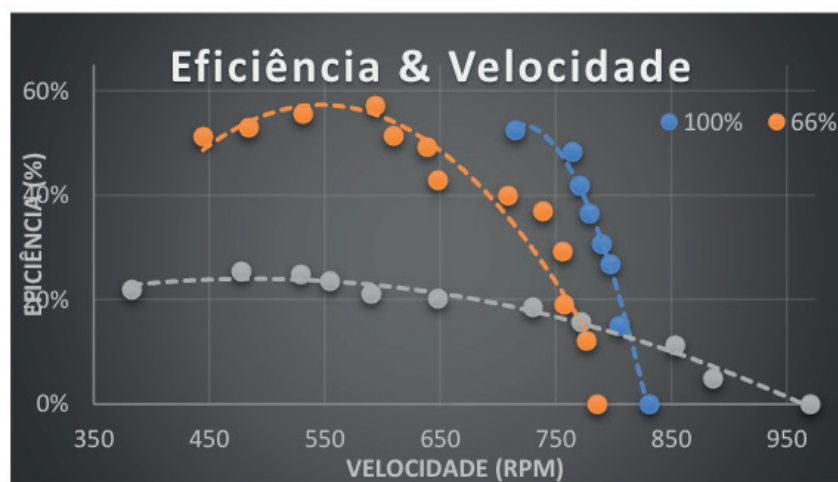


Figura 5: Curvas de desempenho da Turbina Francis, pressão constante, graus de abertura 33%, 66% e 100%, Eficiência (%) vs. Velocidade de rotação (rpm).

Fonte: Autores, 2019.

A figura 5 apresenta as curvas de desempenho de eficiência (η_n , %) em função da velocidade de rotação (n , rpm), enquanto na figura 6 encontra-se as curvas de desempenho da eficiência (η , %) em relação a vazão (Q , L/s), de acordo com os graus de abertura.

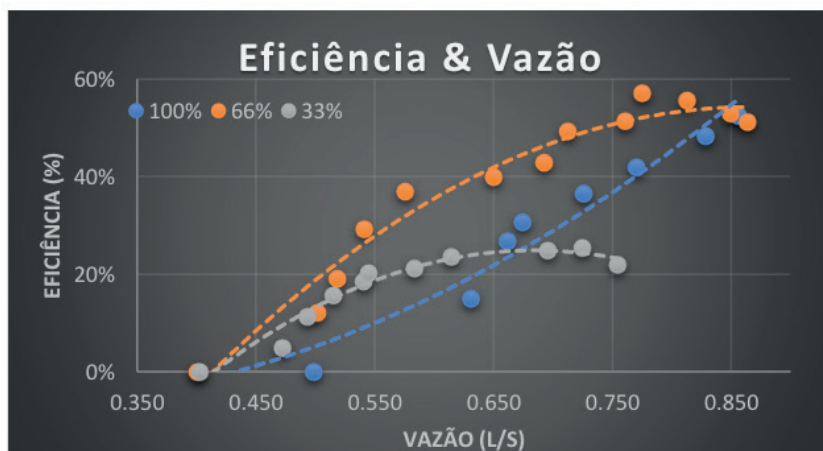


Figura 6: Curvas de desempenho da Turbina Francis, pressão constante, graus de abertura 33%, 66% e 100%, Eficiência (%) vs. Vazão (L/s).

Fonte: Autores, 2019.

As curvas de desempenho das figuras 5 e 6 mostram que a eficiência tem o mesmo comportamento para ambas aberturas de 100% e 66% para vazão e velocidade, atingindo eficiências semelhantes aumentando com a vazão e diminuindo com a velocidade, atingindo em seus pontos máximos uma eficiência em torno de 54%, respectivamente. Já com 1/3 de abertura tem-se baixa eficiência, comparada aos demais graus de abertura cai pela metade; assim, mostra que a partir de um certo grau da abertura das pás guia a eficiência diminui sensivelmente. (ANTUNES et al., 2014)

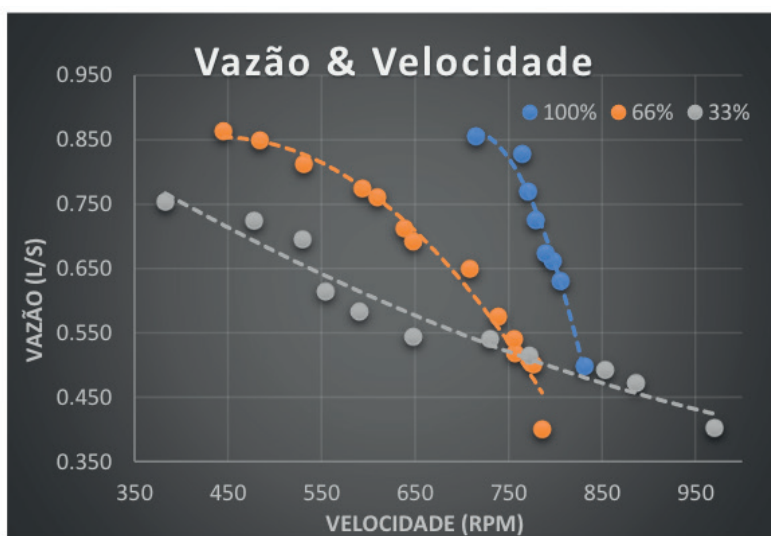


Figura 7: Curvas de desempenho da Turbina Francis, pressão constante, graus de abertura 33%, 66% e 100%, Vazão (L/s) vs. Velocidade de rotação (rpm).

Fonte: Autores, 2019.

A figura 7 demonstra que a velocidade de rotação e a vazão são inversamente proporcionais, isso pode ser observado através do grau de abertura, na medida que este diminui temos menores velocidades de rotação ocorrendo o aumento da vazão.

Os valores para os diferentes graus de abertura 33%, 66% e 100% à pressão variável encontram-se na tabela 4.

Grau de Abertura: 100%					Grau de Abertura: 66%					Grau de Abertura: 33%				
p bar	Qv L/s	V rpm	T Nm	Pm W	p bar	Qv L/s	V rpm	T Nm	Pm W	p bar	Qv L/s	V rpm	T Nm	Pm W
0,2	0,656	1188	0	0	0,23	0,555	1219	0	0	0,35	0,479	1243	0	0
0,19	0,708	1043	0,01	1,09	0,21	0,6	1139	0,01	1,19	0,29	0,538	1071	0,01	1,12
0,15	0,734	1043	0,02	2,18	0,205	0,66	1109	0,02	2,32	0,28	0,542	996	0,02	2,09
0,15	0,743	998	0,02	2,09	0,2	0,671	1071	0,02	2,24	0,275	0,562	1018	0,02	2,13
0,125	0,783	929	0,03	2,92	0,2	0,691	1052	0,02	2,20	0,263	0,586	924	0,03	2,90
0,125	0,799	882	0,03	2,77	0,18	0,685	983	0,03	3,09	0,25	0,595	857	0,03	2,69
0,1	0,829	813	0,04	3,41	0,175	0,678	983	0,04	4,12	0,245	0,606	805	0,04	3,37
0,09	0,845	730	0,06	4,59	0,17	0,67	931	0,04	3,90	0,225	0,647	725	0,05	3,80
0,075	0,864	654	0,06	4,11	0,15	0,742	879	0,05	4,60	0,213	0,661	572	0,06	3,59
0,05	0,892	573	0,07	4,20	0,14	0,763	816	0,05	4,27	0,2	0,667	437	0,08	3,66
0,05	0,892	490	0,08	4,11	0,125	0,79	734	0,06	4,61					
0,05	0,893	386	0,08	3,23	0,125	0,793	724	0,06	4,55					
0,05	0,891	236	0,09	2,22	0,1	0,814	607	0,07	4,45					
					0,1	0,816	553	0,08	4,63					

Tabela 4: Dados experimentais da Turbina Francis mantendo à pressão variável para Grau de Abertura 33%.

Observa que os dados da tabela 4, segue o mesmo comportamento independente do grau de abertura, ou seja, enquanto aumenta a velocidade de rotação cai o torque, portanto como consequência a turbina absorve mais potência. Por outro lado, as curvas de desempenho apresentadas nas figuras 8, 9 e 10 mostram que a abertura das palhetas guia do sistema diretor afetam a potência máxima, porém não como o esperado; sendo que, para o maior grau de abertura não atinge a máximo de potência em todas as condições realizadas de acordo com a variação dos parâmetros realizados, pois a abertura de 2/3 traz melhores resultados do que a máxima abertura.

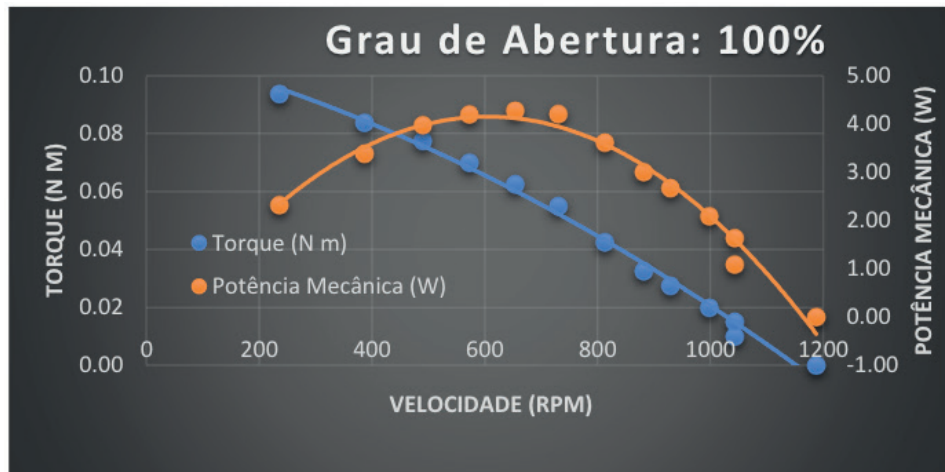


Figura 8: Curvas de desempenho da Turbina Francis, pressão variável, grau de abertura 100%, Torque (N.m) vs. Velocidade de rotação (rpm).

Fonte: Autores, 2019.

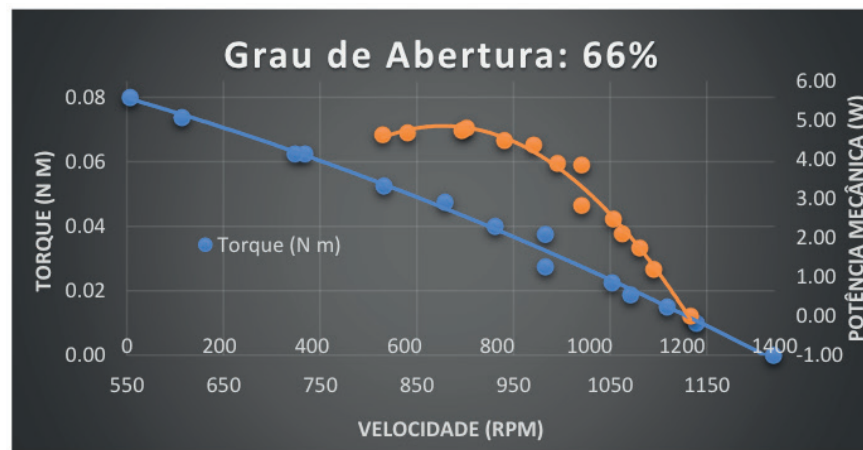


Figura 9: Curvas de desempenho da Turbina Francis, pressão variável, grau de abertura 66%. Torque (N.m) vs. Velocidade de rotação (rpm).

Fonte: Autores, 2019.

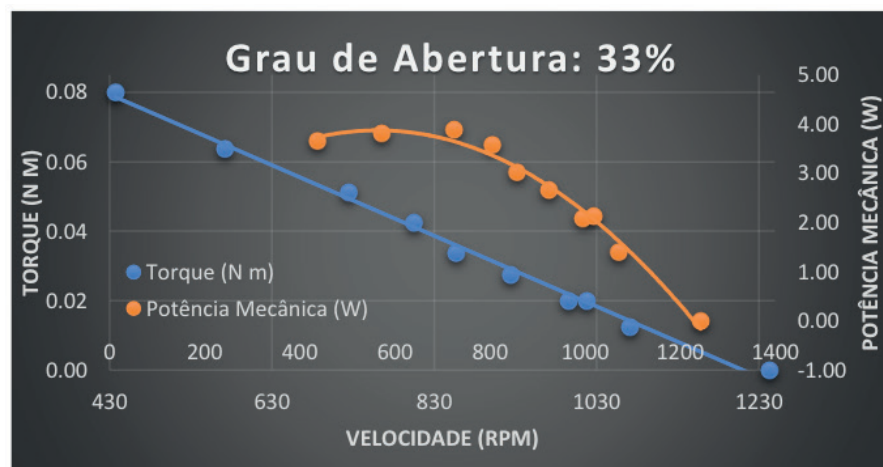


Figura 10: Curvas de desempenho da Turbina Francis, pressão variável, grau de abertura, 33%. Torque (N.m) vs. Velocidade de rotação (rpm).

Fonte: Autores, 2019.

Observa que os dados apresentados nas curvas de desempenho nas figuras 8, 9 e 10, seguiram os encontrados nas curvas de desempenho teóricas, ou seja, a velocidade de rotação aumenta com a carga sobre a turbina; e, conseqüentemente, diminui a potência absorvida.

4 | CONCLUSÕES

Com a análise das curvas de desempenho a pressão constante, pode-se avaliar o ponto de abertura ótimo, ou seja, onde a turbina tem maior e mais eficiência, sendo este com a abertura de $2/3$ das pás guia do sistema diretor, atingindo sua máxima eficiência em torno de 54%. As turbinas de grande porte podem alcançar até 90% de eficiência que em comparação a máxima eficiência encontrada neste estudo é 60% maior; isto justifica-se, pois a turbina analisada é uma unidade de pequenas dimensões, onde os resultados encontrados apresentam variações e desvios em relação as unidades de grande porte, isto devido ao maior efeito dos atritos entre as peças móveis e do movimento do fluido (escoamento turbulento) através das pequenas áreas da máquina (unidade de pequeno porte analisada, turbina Francis), o qual constituem-se perdas de carga localizadas as quais estão ligadas a dependência destas com a vazão, que varia uma potência maior que um da vazão, devido as flutuações aleatórias das velocidades do fluido (tensões turbulentas) e a rugosidade das superfícies internas da unidade estudada. Por outro lado, tem-se a limitação da taxa de vazão do sistema estudado, por se tratar de um experimento a nível de laboratório. Nesta mesma pressão, através das curvas de desempenho vazão (Q_v , L/s) vs. velocidade de rotação (n , rpm), conclui-se que a Turbina Francis analisada é do tipo lenta, pois apresenta uma redução de vazão em detrimento do aumento da velocidade de rotação.

Quanto os resultados das curvas de desempenho a pressão variável, mostram que a taxa de vazão máxima obtém a $2/3$ de abertura das palhetas guia e os melhores resultados de potência de pico.

Conclui-se, desta forma que os ajustes das palhetas guia do sistema diretor influenciam na faixa de velocidade de rotação útil da turbina (turbina Francis do tipo lenta) e o melhor desempenho desta foi com a abertura de $2/3$, independente da pressão ser constante ou variável quando comparada com a os dados das curvas de desempenho teóricas.

5 | AGRADECIMENTOS

Aos técnicos, bolsistas e voluntários do Grupo Bio&Energia. Ao Programa

de Desenvolvimento Acadêmico (PDA) da Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis e Comunitário (PRAEC) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) pelas bolsas institucionais recebidas para a pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUIAR FILHO, F. L. **Modelo institucional do setor elétrico brasileiro: análise da capacidade de atração de capital privado para investimentos em geração de energia hidrelétrica**. 2007. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

ANDRIZ ENGINEERED SUCCESS. **Hydro Small and Mini HydroPower Solutions**. Andritz Hydro. Vienna, 20p. 2018.

ANTUNES, U. R.; KONRADT, D. D.; SCHWANKE, C. M. **Curvas de desempenho em turbinas hidráulicas de módulo didático através de critérios de projeto experimentais**. In: VI Salão de Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2014, Bagé. Anais do VI Salão de Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Bagé: UNIPAMPA, 2014.

ANUTA, O. H. et al. **An international review of the implications of regulatory and electricity market structures on the emergence of grid scale electricity storage**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 38, p. 489-508, 2014.

BANDEIRA, F. D. P. M. **Análise das alterações propostas para o modelo do setor elétrico brasileiro**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2003.

BRASIL. **Lei nº 10.848**, Lei de Comercialização de Energia Elétrica de 15 de março de 2004, D.O.U. 16/03/2004, p.2.

CORRÊA DA SILVA, R.; DE MARCHI NETO, I.; SILVA SEIFERT, S. **Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, p. 328-341, 2016.

CENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. **Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications**. Third edition. New York: McGraw-Hill, 2006.

HENN, É. A. L. **Máquinas de Fluido**. 2ª. ed. Santa Maria: UFSM, 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **World Energy Outlook Special Report: Energy Climate and Change**. 2015b.

KHAN, M. K. **Fluid Mechanics and Machinery**. New Delhi: Oxford University Press, 2015.

KONRADT, D. D.; SCHWANKE, C. M.; SANTOS, M. F. P. **Estudo de caso em máquinas de fluxo geradoras através de critérios de projeto**. In: VII Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2015, Alegrete. Anais do VII Salão de Ensino, Pesquisa e Extensão. Bagé: UNIPAMPA, 2015.

LEE, A. H. I.; CHEN, H. H.; CHEN, J. **Building smart grid to power the next century in Taiwan**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 68, p. 126-135, 2017.

LUND, H. et al. **From electricity smart grids to smart energy systems – A market operation based approach and understanding**. *Energy*, v. 42, n. 1, p. 96-102, 2012.

CATÁLOGO TEcEquipment. **Turbina Francis H18**, Empresa Nova Didacta, 2010. Disponível em:

<www.novadidacta.com.br>. Acesso em: 10 set 2019.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Modelo Institucional do Setor Elétrico**. Brasília, 57 p. 2003.

MORONI, S.; ANTONIUCCI, V.; BISELLO, A. **Energy sprawl, land taking and distributed generation: towards a multilayered density**. Energy Policy, v. 98, p. 266-273, 2016.

PENCHE, C. **Layman's Guidebook - On how to develop a small hydro site**. EUROPEAN SMALL HYDROPOWER ASSOCIATION (ESHA). Second edittion. Bruselas: European Commision, 1998.

PIRES, J. C. L. **Desafios da reestruturação do setor elétrico brasileiro. BNDES, Área de Planejamento**. In: Texto para Discussões No. 76, Rio de Janeiro: Departamento Econômico-DEPEC, 2000.

SANTOS, M. F. P.; KONRADT, D. D.; SILVA, I. A. C.; SCHWANKE, C. M. **Máquinas de fluido: material didático e aplicações**. In: 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE), 2016, Uruguaiana. Anais do 8º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão (SIEPE), v.8. Bagé: UNIPAMPA, 2016.

VAHL, F. P.; RÜTHER, R.; CASAROTTO FILHO, N. **The influence of distributed generation penetration levels on energy markets**. Energy Policy, v. 62, p. 226-235, 2013.

MAPEAMENTO TECNOLÓGICO DE PEDIDOS DE PATENTES RELACIONADOS À UTILIZAÇÃO DAS MICROALGAS

Data de aceite: 26/11/2019

Kamila Cavalcante dos Santos

Universidade de Brasília
Brasília- DF

Jéssica Guimarães Lopes

Universidade de Brasília
Brasília- DF

Andréia Alves Costa

Universidade de Brasília
Brasília- DF

RESUMO: A dependência energética de combustíveis derivados do petróleo e os problemas ambientais ocasionados pelo seu uso despertou o interesse da sociedade por buscar combustíveis renováveis que possam suprir as demandas energéticas. Nesse contexto, microalgas são uma fonte promissora e alternativa para a obtenção de biodiesel. Esses microrganismos são caracterizados pelo seu rápido crescimento, alto conteúdo lipídico e por contribuir para a captura de dióxido de carbono. O presente trabalho tem como objetivo analisar as buscas de patentes relacionadas à utilização de microalgas com o auxílio da ferramenta de dados Questel Orbit, utilizando a palavra microalgas no campo de busca da base de dados. Para a realização da prospecção foram encontrados 219 depósitos de patentes

relacionadas às microalgas a nível mundial sendo a maioria dos depositos classificados na seção C (Química e Metalurgia) tendo o Brasil e os Estados Unidos como principais depositantes.

PALAVRAS-CHAVE: Microalgas, Análise de patentes, Prospecção tecnológica

TECHNOLOGICAL MAPPING OF PATENT APPLICATIONS RELATED TO THE USE OF MICROALGAE

ABSTRACT: The energy dependency of oil-derived fuels and environmental problems caused by your use of the company interest awakened by pick up renewable fuels that can meet the energy demands. In this context, microalgae are a promising and alternative source for biodiesel. These micro-organisms are characterized by rapid growth, your high lipid content and for contributing to the capture of carbon dioxide. This study aims to analyze the patent searches related to use of microalgae using data tool Questel Orbit, using the keyword microalgae in the search field of the database. For the realization of exploration for deposits found 219 patents related to microalgae worldwide with the majority of the deposits placed in section C (chemistry and Metallurgy) and the Brazil and the United States as major depositors.

KEYWORDS: Microalgae, patent analysis, technological Forecasting.

1 | INTRODUÇÃO

O Brasil possui um grande potencial para a utilização de fontes limpas de energia que possam preservar a sustentabilidade econômica e ambiental. A viabilidade ambiental e a elevação dos preços dos combustíveis fósseis favorecem a expansão dos combustíveis derivados de biomassa (FRANCO *et al*, 2013).

As microalgas possuem um grande diferencial para a produção de combustíveis, por sua capacidade de produzir uma grande quantidade de biomassa por unidade de área e tempo. Algumas microalgas possuem um alto nível de lipídeos que podem ser transformados em biodiesel a partir do processo de transesterificação (AZEREDO, 2012).

As microalgas são organismos fotossintéticos que para um bom crescimento necessitam de luz solar, carbono, macro nutrientes e micronutrientes. São organismos similares às plantas e podem ser encontrados em meio marinho, em água doce e no solo (PLÁ, 2012). Por possuírem uma estrutura unicelular que permite a fácil conversão de energia solar em energia química, e essa característica pode ser aproveitada comercialmente para a produção de biomassa (AZEREDO, 2012)

Por apresentar um bom rendimento energético, diversas pesquisas têm sido realizadas com as microalgas no setor de produção de biomassa (EMBRAPA, 2016). Nesse sentido, estudos prospectivos vêm sendo realizados sobre diversos assuntos como uma tentativa de mapear o futuro, criando projeções que possam auxiliar na tomada de decisões.

Ao considerar a importância da utilização de fontes limpas de energia, assim como a importância de se entender as tendências tecnológicas que podem apoiar decisões relacionadas à pesquisa e desenvolvimento tecnológico (P&D), este estudo analisará a situação das tecnologias de produção do biodiesel a partir de microalgas no Brasil, buscando a realização de um estudo prospectivo sobre o assunto.

A produção de microalgas constitui uma vertente mais recente e ainda crescente no cultivo das algas. As principais espécies que estão sendo cultivadas pertencem aos gêneros *Arthrospira* (Spirulina) e *Chlorella*, e podem ser cultivadas para diversas finalidades como produção de pigmentos e antioxidantes. Entretanto o cultivo de microalgas em larga escala para a produção de biocombustíveis como o biodiesel e o etanol ainda não é economicamente viável (EMBRAPA, 2016)

O desenvolvimento de um país é acompanhado pelo surgimento de novas tecnologias que buscam inovação e melhoria. A sociedade precisa estar preparada para o dinamismo que as descobertas tecnológicas proporcionam. O conhecimento

tecnológico pode direcionar as tomadas de decisões definindo possíveis rotas a serem seguidas. Segundo Kupfer e Tigre (2004) “a prospecção tecnológica pode ser definida como um meio sistemático de mapear os desenvolvimentos científicos e tecnológicos futuros capazes de influenciar de forma significativa uma indústria, a economia ou a sociedade como um todo.” A realização de um estudo prospectivo podem identificar tecnologias emergentes.

O mundo encontra-se em constante transformação e as técnicas prospectivas surgem como base para se obter uma visão do que poderá acontecer. A prospecção tecnológica pode ser de grande valia para um melhor gerenciamento dos gastos, tanto públicos quanto privados, uma vez que pode mostrar se algum processo pode ser viável ou não. Assim, evita-se o desperdício de dinheiro antes de se investir 20 financeiramente em algo, visto que já foi realizado um estudo sobre aquele determinado tema.

Existem quatro atitudes possíveis ao se tratar de uma mudança tecnológica. A primeira delas é a atitude pós-ativa na qual a sociedade apenas sofre as consequências das mudanças. A segunda é a atitude reativa na qual só depois de ocorrido algum fato é que a organização reage. A terceira é a atitude pré ativa, na qual existe uma preparação para as mudanças que ocorrerão e a última é a atitude pró ativa, na qual as mudanças são promovidas pela própria sociedade (GODET, 2000). Observa-se que no caso da prospecção tecnologia a atitude tomada é uma atitude pré ativa, na qual a sociedade pode se preparar para as mudanças que uma determinada tecnologia pode trazer através da busca por informações.

No contexto de que as microalgas podem ser utilizadas em diversas aplicações este trabalho tem como objetivo geral fazer um mapeamento da utilização das microalgas visando identificar os principais depositantes a nível mundial apresentando um panorama do mercado de microalgas e identificando os países que mais depositam patentes sobre o assunto.

2 | METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho consiste em uma pesquisa utilizando a base de dados Questel Orbit utilizou, essa base de dados cobre publicações de patentes de 90 escritórios nacionais e 6 escritórios regionais. As publicações são agrupadas em famílias de patentes, essa base de dados oferece também acesso aos PDFs de pedidos de patentes de mais de 40 países (AXONAL, 2015)

A palavra chave definida para busca na ferramenta computacional foi microalgas, as patentes que possuíam microalgas no título e/ou resumo foram agrupadas e com o auxílio do atalho *analyze* disponibilizado no orbit fora, feitas as análises.

As análises realizadas com o auxílio da ferramenta foram para auxiliar na identificação dos principais depositantes, principais países depositantes, principais utilizações das microalgas, evolução temporal e cobertura geográfica. Os dados gerados pelo orbit foram interpretados e analisados.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram encontrados 219 patentes relacionadas a palavra-chave microalgas em caráter mundial desde 1997 a 2017 tendo em vista que a ferramenta orbit resgata documentos depositados em até 20 anos.

Ao analisar os dados fornecidos pelas patentes disponibilizadas percebe-se que o depósito de patentes relacionadas as microalgas começou a ter um aumento a partir do ano de 2008. O ápice das publicações foi em 2014 com 36 depósitos. Após o ano de 2014 houve uma queda na quantidade de publicações como pode ser verificado na figura 1. Esses dados permite constatar que as pesquisas sobre microalgas ainda é algo recente que está em fase de desenvolvimento, se comparado com os depositos de patentes de outros assuntos ainda se tem poucas patentes sobre microalgas.

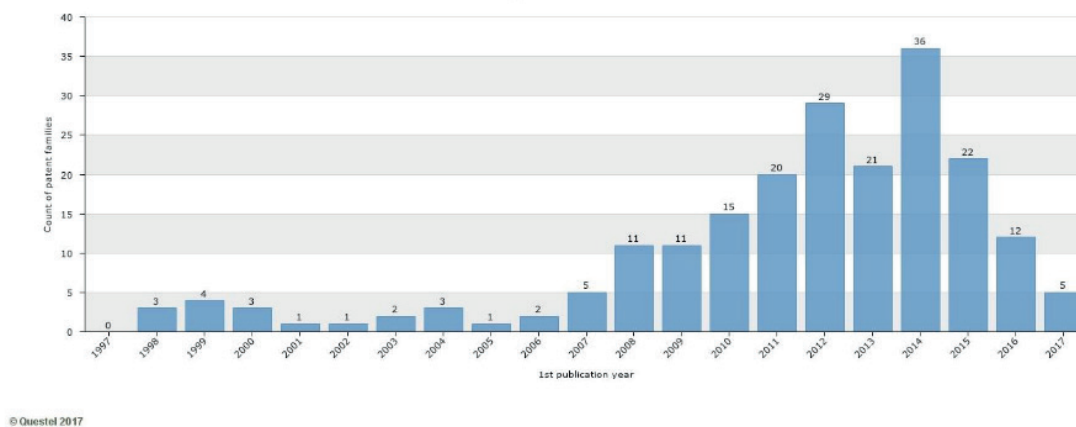


Figura 1- Evolução do número de depósitos de patentes relacionadas a microalgas no mundo.

Fonte: Questel Orbit, 2017

Na figura 2 relaciona os principais depositantes de patentes relacionadas as microalgas, a Roquette Freres que é uma empresa francesa encontra-se em destaque com o maior número de famílias de patentes depositadas. Observa-se também que a PETROBRAS tem patentes depositadas e que o depósito de patentes não se restringe somente a empresas, é possível observar que algumas universidades também depositam patentes, isso se dá devido ao fato de que as universidades investem em pesquisa e essas pesquisas geram o descobrimento e/ou aperfeiçoamento das tecnologias

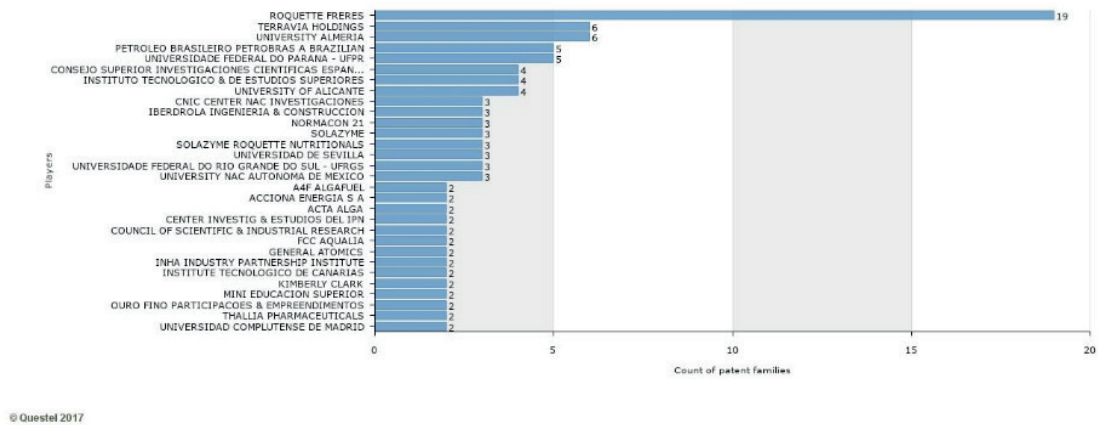


Figura 2- Principais depositantes

Fonte: Questel Orbit, 2017

A figura 3 mostra a relação do número de patentes depositadas para cada classificação Internacional de Patentes (IPC). A classificação IPC é um sistema de classificação das patentes por símbolo de acordo com as diferentes áreas tecnológicas a que pertencem. A partir da análise da figura 4 pode-se observar que o maior número de patentes de microalgas estão depositadas na categoria C12N-001/12 com 88 patentes seguida pela categoria C12M-001/00 com 48 patentes. Percebe-se que a maioria das patentes estão classificadas na Seção C que diz respeito a Química e Metalurgia.

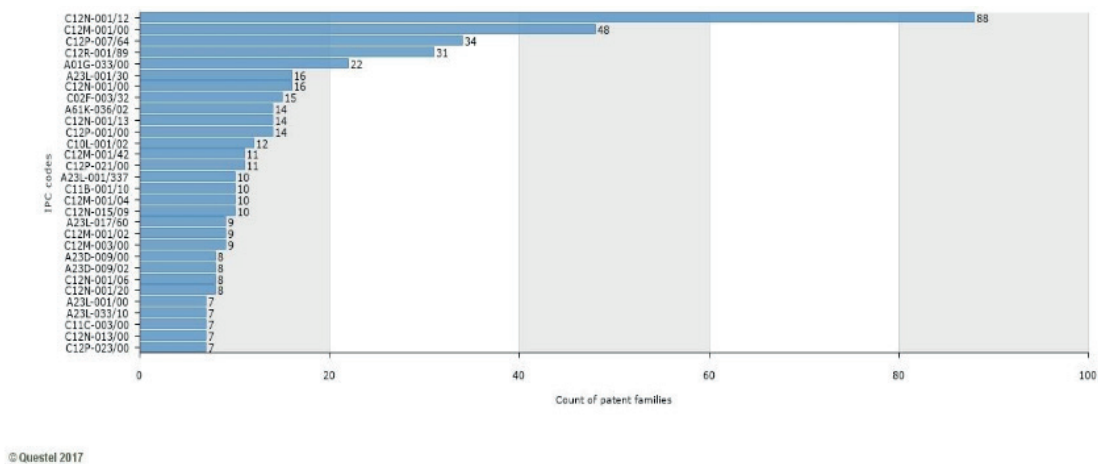


Figura 2- Quantidade de publicações de acordo com a classificação IPC

Fonte: Questel Orbit, 2017

A tabela 1 apresenta a descrição das subclasses do sistema de classificação IPC e a partir dela podemos verificar quais estão sendo as aplicações mais usuais com as microalgas. Percebe-se que o número maior de registros em patentes nesse assunto está relacionado com o meio de cultura das algas, aparelhos para microbiologia e óleos graxos. Pode-se perceber também a variedade das subclasses de patentes e isso é um indicador de que as microalgas são utilizadas para diversas

aplicações desde produção de biocombustíveis até produtos alimentícios.

Classificação IPC	Numero de depositos	Descrição
C12N-001/12	88	Meio de cultura de algas unicelulares
C12M-001/00	48	Aparelhos para enzimiologia ou microbiologia
C12P-007/64	34	Óleos graxos
C12R-001/89	31	Algas
A01G-033/00	22	Cultivo de algas
A23L-001/30	16	Produtos alimentícios
C12N-001/00	16	Processos de propagação, manutenção ou conservação de micro-organismos ou suas composições
CO2F-003/32	15	Tratamento de águas residuais com algas
A61K-036/02	14	Finalidades médicas
C12N-001/13	14	Modificação genética
C12P-001/00	14	Processos gerais para a preparação de compostos ou composições que utilizam micro-organismos ou enzimas
C10L-001/02	12	Combustíveis carbonáceos líquidos baseados essencialmente em componentes consistindo somente em carbono, hidrogênio, e oxigênio
C12M-001/42	11	Aparelhos para o tratamento de micro-organismos ou enzimas com energia elétrica ou ondulatória
C12P-021/00	11	Preparação de peptídeos ou proteínas
A23L-001/00	10	Algas marinhas comestíveis
C11B-001/10	10	Produção de gorduras ou óleos graxos a partir de matérias primas por extração.
C12M-001/04	10	Aparelhos para enzimiologia ou microbiologia com meios para introdução de gás
C12N-015/09	10	Mutação genética com tecnologia do DNA recombinante
A23L-017/60	9	Algas marinhas comestíveis
C12M-001/02	9	Aparelhos para enzimiologia ou microbiologia com meios de agitação
C12M-003/00	9	Aparelhos para cultura de plantas
A23D-009/00	8	Outros óleos ou gorduras comestíveis

A figura 4 mostra a distribuição das patentes por conceitos e pode-se perceber os diversos ramos de desenvolvimento das patentes sobre microalgas. As patentes incluem processos de melhorias em fotobiorreatores por exemplo que faz parte dos métodos de cultivo das microalgas. Também se verifica patentes relacionadas a biomassa, centrifugação que é um método de colheita dessa biomassa. É um universo muito amplo já que as microalgas podem ser utilizadas na indústria farmacêutica, energética, alimentícia entre outras.

Microalgae (83) | **Photobioreactor** (46) | **Microalgae species** (34) | **Microalgal biomass** (30) | **Microalgae culture** (26) | **Biomass** (61) | **Biomass production** (37) | **Heterotrophic condition** (28) | **Microalgue** (24) | **Chlorella** (31) | **Algae culture collection** (23) | **Microalgal cell** (21) | **Microalgae growth** (25) | **Culture** (48) | **Chlorella genus** (18) | **Chlorella vulgaris** (25) | **Chlorella protothecoide** (20) | **Photosynthesis** (33) | **Microalgae cultivation** (23) | **Chlorella sorokiniana** (19) | **Microalgae biomass** (20) | **Biofuel production** (25) | **Microalgal flour** (14) | **Macroalgae** (19) | **Heterotrophic growth** (17) | **Microalgae cell** (19) | **Texas university** (22) | **Protothecoide** (14) | **Chlorella species** (16) | **Lipid** (32) | **Microalgae production** (17) | **Culture medium** (39) | **Photobioreactor** (14) | **Monounsaturated oil** (14) | **Microalga** (16) | **Carotenoid** (26) | **Lipid production** (19) | **Culture condition** (26) | **Lipid content** (20) | **Chlorella genus microalgae** (11) | **Nutrient** (35) | **Microalgae concentration** (14) | **Microalgae strain** (13) | **Chlorella** (11) | **Microalgal strain** (12) | **Prototheca moniformis** (11) | **Fermentation medium** (23) | **Microbial growth efficiency** (11) | **Genus chlorella** (13) | **Biomass concentration** (16) | **Fixed carbon source** (11) | **Microalgae flour** (9) | **Microalgal culture** (11) | **Arthrospira platensis** (12) | **Lipid rich microalgae** (10) | **Photosynthetic microorganism** (14) | **Instantaneous expansion** (13) | **Genus chlorella microalgae** (10) | **Prototheca stagnora** (10) | **Growth medium** (23) | **Microalgal species** (11) | **Algae species** (15) | **Chlamydomonas** (13) | **Biofuel** (18) | **Microorganism** (32) | **Simple multicellular photosynthetic microbe** (10) | **Intracellular content** (13) | **Centrifugation** (36) | **Algae** (21) | **Biodiesel** (18) | **Chlorella biomass** (10) | **Sorokiniana** (9) | **Alga culture** (13) | **Triglycerides** (23) | **Culturing microalgae** (12) |

© Questel 2017

Figura 4- Distribuição dos resultados da pesquisa por conceitos.

Fonte: Questel Orbit, 2017

4 | CONCLUSÃO

Essa tecnologia de produção de biodiesel a partir de microalgas ainda é algo recente e o custo da produção de biomassa microalgal é caro quando comparado com outras oleaginosas. Nesse contexto, ao analisar os resultados obtidos da busca de patentes observa-se que as tecnologias que estão sendo patenteadas visam aperfeiçoar o cultivo, a produção de lipídeos e até mesmo a utilização de modificação genética nessas microalgas. O mercado das microalgas não converge apenas para a produção de biocombustíveis, o mercado farmacêutico e alimentício também é bem difundido.

O Brasil foi um dos países destaques no número de patentes publicadas sobre microalgas e isso mostra o interesse do país por esse tipo de tecnologia e que pode proporcionar pesquisa e conseqüente surgimento de novas tecnologias que possam complementar ou aperfeiçoar as que já existem.

A prospecção tecnológica de microalgas pode identificar alguma necessidade ou limite das tecnologias que estão sendo utilizadas, possibilitando também a identificação das aplicações mais usuais para as microalgas no cenário brasileiro e no mundo já que a utilização da mesma não se limita apenas para fins energéticos. A análise de patentes pode identificar as possibilidades de mercado e os mercados mais promissores.

REFERÊNCIAS

AXONAL, Consultoria Tecnológica Ltda. A empresa Questel. Orbit, Inc. 2015. Disponível em: < <http://www.ime.unicamp.br/>>. Acesso em jul. 2017.

AZEREDO, V.B.S. **Produção do biodiesel a partir do cultivo de microalgas: Estimativa de custos e perspectiva para o Brasil**. 2012. 171f. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

EMBRAPA. **Microalgas**. Agroenergia em revista. Ano IV, n10,dezembro 2016.

FRANCO, André Luiz Custódio et al . **Biodiesel de microalgas: avanços e desafios**. Quím. Nova, São Paulo , v. 36, n. 3, p. 437-448, 2013

GODET, M. **A “Caixa de Ferramentas” da Prospectiva Estratégica**. ed. CEPES Centro de Estudos de Prospectiva e Estratégica. Lisboa, 2000 (Cadernos do Cepes) Disponível em: <http://www.cnam.fr/lipsor/lips/conferences/data/bolips-po.pdf>

INPI, Instituto Nacional de Propriedade Industrial. Classificação de patentes. 2015. Disponível em:< <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/classificacao-de-patentes>> Acesso em jul. 2017.

KUPFER, D.; TIGRE, P. B. **Prospecção tecnológica**. In: CARUSO, L. A.; TIGRE, P. B. (Org.). Modelo SENAI de prospecção: documento metodológico . Montevideo: OIT/CINTERFOR, 2004.

PLÁ, Juan Algorta. **Perspectivas do biodiesel no Brasil**. Indicadores Econômicos FEE, v. 30, n. 2, p. 179-190, 2002.

ESTUDO DE AÇÕES PARA A REDUÇÃO DOS CUSTOS DO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA GRANDES CONSUMIDORES

Data de aceite: 26/11/2019

Valci Ferreira Victor

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Coordenação da Área Indústria. Palmas – Tocantins

Humberto Rodrigues Macedo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Coordenação da Área Indústria. Palmas – Tocantins

Adail Pereira Carvalho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Coordenação da Área Indústria. Palmas – Tocantins

Lucas Cardoso da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Palmas – Tocantins

Pitágoras Rodrigues de Melo Sobrinho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica. Palmas – Tocantins

RESUMO: O custo com o fornecimento de energia elétrica para as instalações representa cada vez mais, uma parcela maior dos

orçamentos. Na esfera pública não é diferente. Os clientes que são atendidos em alta tensão precisam acordar junto à concessionária de energia, a demanda de energia, conhecida como demanda contratada, precisam também se enquadrar em uma modalidade tarifária, de acordo com suas particularidades. Os estudantes do curso de Engenharia Elétrica do Campus Palmas em parceria com a prefeitura municipal de Palmas avaliaram as demandas contratadas e os consumos de onze (11) unidades consumidoras subornadas a prefeitura de Palmas, com o objetivo de reduzir os custos com o fornecimento de energia elétrica. O estudo que considerou somente a análise contratual com relação às demandas contratadas e medidas mostrou que o custo para fornecimento de energia elétrica para várias das unidades estudadas está muito além daquele que deveria ser pago quando de uma gestão de energia mais eficiente, possibilitando assim a redução de custos para o órgão público do montante de R\$ 400.000,00 anuais, mantida a mesma oferta de energia elétrica e o mesmo consumo. Os resultados obtidos pela análise realizada permitem ser expandidos para todos os consumidores que são atendidos em alta tensão – chamados de consumidores grupo A, quer sejam instalações públicas ou privadas.

PALAVRAS-CHAVE: demanda contratada, economia de energia.

ACTIONS STUDY FOR REDUCING COSTS OF LARGE CONSUMER POWER SUPPLY

ABSTRACT: The cost of supplying electricity to the facilities increasingly represents a larger share of budgets. In the public sphere is no different. Customers who are served at high voltage need to agree with the power utility, the energy demand, known as contracted demand, must also fit into a tariff mode, according to their particularities. Students of the Electrical Engineering course at Campus Palmas in partnership with Palmas City Hall evaluated the contracted demands and the consumption of eleven (11) consumer units bribed to Palmas City Hall, with the objective of reducing the costs with the energy supply. electric The study that considered only the contractual analysis in relation to the contracted demands and measures showed that the cost of supplying electricity to several of the units studied is much higher than what should be paid for more efficient energy management, thus allowing the reduction of costs to the public agency of R \$ 400,000.00 per year, maintaining the same supply of electricity and the same consumption. The results obtained by the analysis carried out allow to be expanded to all consumers who are served in high voltage - called Group A consumers, whether public or private facilities.

KEYWORDS: contracted demand, energy saving

1 | INTRODUÇÃO

Para ligação de novas unidades consumidoras do grupo A, se faz necessário um estudo preliminar da demanda a ser contratada, que poderá ser revista anualmente. Após 12 meses de contrato, os dados analisados devem subsidiar uma demanda contratual mais adequada. Normalmente os órgão públicos não fazem esta reavaliação nos períodos anuais em que os contratos permitem esta alteração. Portanto a compreensão da forma como é tarifada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas faturas emitidas mensalmente pelas concessionárias de energia elétrica é fundamental para a tomada de decisão em relação aos projetos de eficiência energética.

Através da análise, por um período doze meses, das informações de consumo (kWh) e demanda (kW) - informação disponível somente para clientes que fazem uso da tarifa binômica – contidas nas faturas de energia elétrica, foi possível estudar a relação entre hábitos e consumo de algumas instalações elétricas de responsabilidade da Prefeitura Municipal de Palmas – Tocantins. O resultado obtido neste estudo é importante também para verificar se a relação contratual entre o cliente e a empresa concessionária – Energisa – estão adequados, e obtermos uma base de dados para comparação futura do consumo de energia elétrica.

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A, que tem tarifa binômica e Grupo B com tarifa monômica. O agrupamento é

definido principalmente em função do nível de tensão em que são atendidos, e como consequência, em função da demanda (BANDEIRANTE, 2004).

As unidades consumidoras atendidas em com níveis de tensão abaixo de 2.300 volts são classificadas no Grupo B – baixa tensão. Em geral, estão nesta classe as residências, lojas, agências bancárias, pequenas oficinas, edifícios residenciais, grande parte dos edifícios comerciais e a maioria dos prédios públicos federais, uma vez que, na sua maioria são atendidos nas tensões de 127 ou 220 volts (ANEEL, 2010).

O Grupo B é dividido em subgrupos, de acordo com a atividade do consumidor, sendo eles: subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda; subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural; subgrupo B3 – demais classes e subgrupo B4 – iluminação pública.

Os consumidores atendidos em alta-tensão, com níveis acima de 2.300 volts, por exemplo: indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais de grande porte, são atendidos conforme classificação no Grupo A. Este grupo é subdividido de acordo com a tensão de atendimento: subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais; subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV; subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV; subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV; subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV e subgrupo AS para sistema subterrâneo.

Os poucos prédios públicos classificados no Grupo A, em geral estão no Subgrupo A4. Os consumidores atendidos por redes elétricas subterrâneas são classificados no Grupo A, Subgrupo AS, mesmo que atendidos em níveis de tensão abaixo de 2.300 volts. Para fazer uso deste benefício é necessário que a unidade consumidora esteja localizada em área servida por sistema subterrâneo, ou previsto para ser atendido pelo referido sistema, de acordo com o programa de obras da concessionária e que possa ser atendido um dos seguintes requisitos (ANEEL, 2010).

- Verificação de consumo de energia elétrica ativa mensal igual ou superior a 30Mwh em, no mínimo, 3 (três) ciclos completos e consecutivos nos seis meses anteriores;
- Celebração de contrato de fornecimento fixando demanda contratada igual ou superior a 150 kW.

A estrutura tarifária está bem definida na literatura e pode ser definida como sendo o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento. No Brasil, as tarifas do Grupo A são constituídos por três modalidades de fornecimento (SANTOS, 2010).

- Estrutura Tarifária Convencional – O enquadramento na estrutura tarifária

convencional exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua um único valor da demanda pretendida pelo consumidor, denominada por demanda Contratada, independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido). Os consumidores do Grupo A – subgrupos A3a, A4 ou AS podem ser enquadrados na estrutura tarifária convencional quando a demanda contratada for inferior a 300 kW, desde que não tenham ocorrido nos 11 meses anteriores, 3 (três) registros consecutivos ou 6 (seis) registros alternados de demanda superior a 300 kW (SANTOS, 2010).

- Estrutura tarifária horo-sazonal Verde - A opção de enquadramento na estrutura tarifária Verde somente é possível para as unidades consumidoras do Grupo A subgrupos A3a, A4 e AS. Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua a demanda pretendida pelo consumidor - demanda contratada - independentemente da hora do dia - ponta ou fora de ponta. Embora não seja explícita, a Resolução 456 da ANEEL permite que sejam contratados dois valores diferentes de demanda, um para o período seco e outro para o período úmido.
- Estrutura tarifária Horo-sazonal Azul – para os consumidores dos subgrupos A1, A2 ou A3, é obrigatório o enquadramento na estrutura tarifária horo-sazonal azul e opcional para os consumidores dos subgrupos A3a, A4 e AS. Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, no qual se pactua tanto o valor da demanda pretendida pelo consumidor no horário de ponta – demanda contratada na ponta, quanto o valor pretendido nas horas fora de ponta – demanda contratada fora de ponta. Embora não seja explícita, a Resolução 456 da ANEEL permite que sejam contratados valores diferentes para o período seco e para o período úmido. A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta pela soma de parcelas referentes ao consumo e demanda e, caso existam ultrapassagem do valor contratado, serão observadas em todas as parcelas a diferenciação entre horas de ponta e horas fora de ponta (SANTOS, 2010).

Pela estrutura tarifária, grande parte do custo está associada ao consumo e a demanda. Para este primeiro estudo, a contratação correta da demanda por parte das unidades consumidoras pesquisadas foi o principal objetivo.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisadas onze unidades consumidoras da Prefeitura Municipal de Palmas sendo elas: Previdência Social; Secretaria de Planejamento; Escola de Tempo Integral Caroline; Escola de Tempo Integral Padre Josimo; Unidade de Pronto Atendimento Norte – UPA Norte; Unidade de Pronto Atendimento Sul – UPA

Sul; Escola de Tempo Integral Euredice F. de Melo; Escola de tempo integral Anísio Teixeira; Fundação Municipal de Saúde; Fundação Municipal Esporte e Lazer; Secretaria de Desenvolvimento Rural.

Para cada uma das 11 unidades consumidoras, analisou-se 12 contas de energia, os dados como consumo, demanda, tipo de tarifação aplicada e foram colocados em uma planilha do excel com a finalidade de obter a demanda contratada ideal para cada unidade e comparar com as demandas vigentes. e propor as alterações e assim a economia nos gastos públicos com energia elétrica nas unidades consumidoras da prefeitura municipal de Palmas.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estipular a melhor demanda será necessário os dados da demanda consumida por unidade, em período de doze meses, com esses dados, se fazem uma média desconsiderando os períodos críticos que apresentam picos em relação a tendência do gráfico, na Figura 1. O mês fevereiro do ano de 2016 foi o ponto crítico

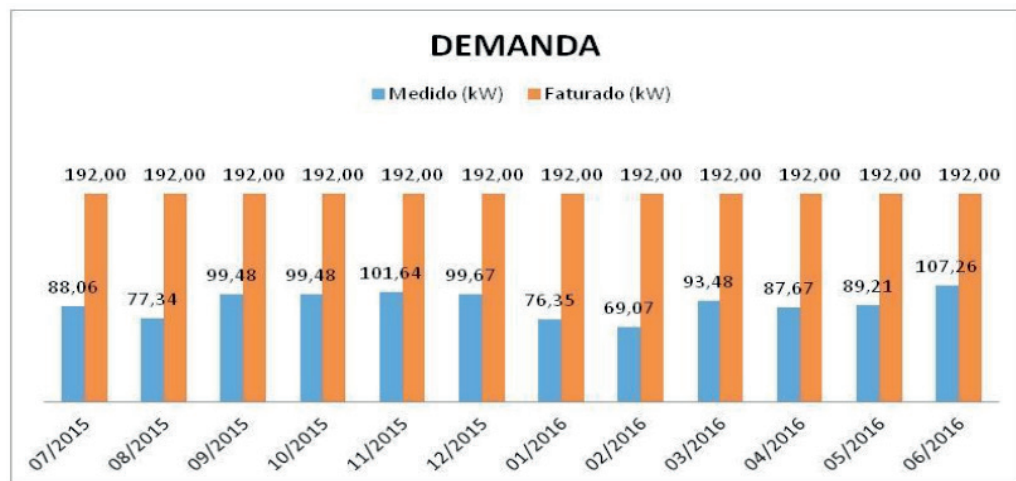


Figura 1. Demanda contratada e demanda consumida em um período de doze meses da Escola Tempo Integral Caroline Campelo.

Apenas com a otimização da demanda consumida na Escola de Tempo Integral Caroline Campelo haverá uma redução na conta de energia, conforme demonstra a Tabela 1.

Mês	----- CONTAS CAROLINE CAMPELO -----		
	CONTA NÃO REDUSIDA.	CONTA REDUZIDA	REDUÇÃO TOTAL
JULHO/15	14.728,51	11469,21	3.259,30

AGOSTO/15	10.934,18	7.189,56	3.744,62
SETEMBRO/15	16435,71	13.723,56	2.712,15
OUTUBRO/15	15.272,17	12.364,49	2.907,68
NOVEMBRO/15	11.353,88	12.364,49	1.010,61
DEZEMBRO/15	18.832,04	15.168,11	3.663,93
JANEIRO/16	9.992,33	7.286,50	2.705,83
FEVEREIRO/16	11.112,39	7.758,33	3.364,06
MARÇO/16	13.429,25	10.679,89	2.749,36
ABRIL/16	12.245,10	9.223,70	3.006,40
MAIO/16	12.725,82	9463,07	3.262,75
JUNHO/16	15.334,13	12.582,78	2.751,35

Tabela 1. Contas de energia referente asos doze meses da unidade consumidora da Escola de Tempo Integral Caroline Campelo.

Para essa unidade que pagava anualmente um montante de R\$ 162.405,51 a aplicação do nosso estudo geraria uma economia de R\$ 37.341,94 apenas com processo contratuais, sem contar a economia que poderia se obter com um programa de reeducação energética.

Diferentemente que a unidade consumidora da Escola de empo Integral Caroline Campelo, a Escola de Tempo Integral Padre Josimo apresentou um cenário em que a demanda consumida ultrapassava a demanda contratada, conforme ilustrado na Figura 2. Neste cenário o cliente paga o triplo do valor da tarifa. No mês de dezembro de 2015 a demanda consumida foi de 192 KW e a demanda contratada era de 100 KW, ultrapassando 92 KW, em termos econômicos o cliente paga 192 KW a uma valor de R\$ 22,23 mais 92 KW a um valor de R\$ 44,46 gerando uma valor a ser pago de R\$ 8.358,48.

Realizando a média entre os dados da demanda em um período de dozes meses o grupo chegou a uma demanda de 180 KW, com essa nova demanda essa unidade teve uma redução considerável e que pode ser verificada na Tabela 2.

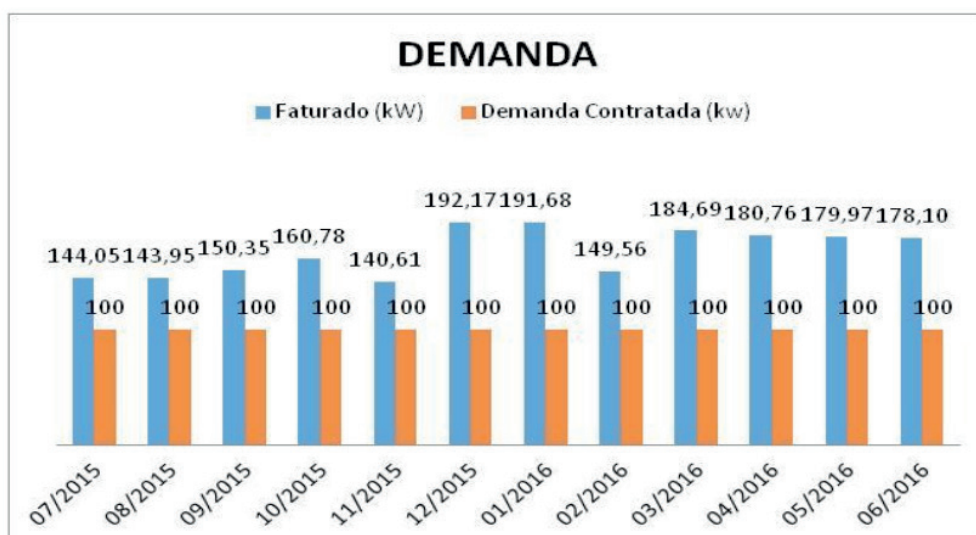


Figura 2. Demanda contratada e demanda consumo em um período de doze meses da Escola Tempo Integral Padre Josimo. Acervo Pessoal, 2016.

Mês	----- Contas Escola de Tempo Integral Padre Josimo -----		
	Conta não reduzida.	Conta reduzida	Redução total
JULHO/15	19.563,81	17.949,07	1.614,74
AGOSTO/15	13.303,17	11.749,96	1553,21
SETEMBRO/15	21.380,79	19.271,86	2108,93
OUTUBRO/15	19.449,49	16.489,39	2960,10
NOVEMBRO/15	32.909,98	31.017,31	1892,67
DEZEMBRO/15	30.182,02	23.384,77	6797,25
JANEIRO/16	18.225,02	11.768,39	6456,63
FEVEREIRO/16	13.893,46	11.403,68	2489,78
MARÇO/16	25.496,03	20.005,14	5490,89
ABRIL/16	16.716,21	16.191,61	524,60
MAIO/16	22.530,70	17.040,93	5489,77
JUNHO/16	26.257,69	21.207,36	5050,33

Tabela 2. Contas de energia referente a doze meses da unidade consumidora Padre Josimo.

A Tabela 3 apresenta os valores em R\$ que cada unidade consumidora está pagando em um período anual.

Unidade consumidoras	----- Contas faturadas em função da demanda -----			
	Média dos Valores pagos (R\$).	Demanda contratada atual (KW)	Resultado do estudo para demanda contratada (KW)	Valor da conta caso aplicado a demanda proposta (R\$)
Escola Tempo Integral Caroline Campelo	162.405,51	192	100	125.063,57
Escola Tempo Integral Padre Josimo	259.908,37	100	180	196.212,11
Escola Tempo Integral Euridice F. Mello	176.639,86	80	100	159.082,27
Secretaria de Desenvolvimento Rural	427.419,60	298	220	395.127,02
Secretaria Municipal de Planejamento	351.484,90	200	216	345.224,61
Fundação Municipal de Saúde	94.875,21	50	45	71.060,77
Escola Tempo Integral Anísio Teixeira	197.295,18	216	130	168.228,80
Fundação Municipal de esporte e Lazer	162.870,37	56	65	152.265,69
Previdência Social	144.865,67	95	100	134.104,73
UPA Norte	362.486,67	650	130	332.997,91
UPA Sul	617.802,68	850	130	473.665,17

Tabela 3 – Resultado do estudo com a proposta para readequação da demanda contratada para as unidades consumidoras pesquisadas, comparando as médias de valores pagos atuais e a média de valores pagos após a adoção dos valores apontados para a nova demanda contratada

KW = Quilo watts, R\$ = Reais

Para essa unidade que pagava anualmente um montante de R\$ 259.908,37. A adoção da demanda contratada após os estudos realizados passaria a ser R\$ 217.479,47 tendo uma economia de R\$ 42.428,90 apenas com análises de processos contratuais e sem trabalhar nenhum programa de reeducação energética.

4 | CONCLUSÕES

Por meio dos dados obtidos no decorrer deste artigo fica evidente o quanto é importante conhecer a estrutura das contas de energia. Das 11 unidades consumidoras pesquisadas, todas possuíam uma tarifação contratada não adequada economicamente. Frisamos que as concessionárias de energia elétrica são obrigadas a oferecer ao consumidor uma condição energética coerente com a necessidade do cliente. E as alterações desta demanda contratual pode ser revisadas anualmente.

O estudo detalhado após doze meses da implantação da demanda contratada

pele cliente permitiu a aquisição de dados mensais para readequação da demanda contratada. Este estudo poder gerar uma economia significativa, conforme podemos observar na Tabela 4.

Unidade consumidoras	-----Resultado do estudo para as onze U.Cs pesquisadas -----		
	Contas A.R (R\$).	Contas D.R (RS)	Redução (R\$)
Escola Tempo Integral Caroline Campelo	162.405,51	125.063,57	37.341,94
Escola Tempo Integral Padre Josimo	259.908,37	196.212,11	63.696,26
Escola Tempo Integral Euridice F. Mello	176.639,86	159.082,27	17.557,59
Secretaria de Desenvolvimento Rural	427.419,60	395.127,02	32.292,58
Secretaria Municipal de Planejamento	351.484,90	345.224,61	6.260,29
Fundação Municipal de Saúde	94.875,21	71.060,77	23.814,14
Escola Tempo Integral Anísio Teixeira	197.295,18	168.228,80	29.066,38
Fundação Municipal de esporte e Lazer	162.870,37	152.265,69	10.604,68
Previdência Social	144.865,67	134.104,73	10.760,94
UPA Norte	362.486,67	332.997,91	29.488,91
UPA Sul	617.802,68	473.665,17	144.137,51

Tabela 4. Valores das contas das onze unidades antes e após a análise da demanda

R\$ = Reais, A.R = Antes da redução, D.R = Depois da redução

A Prefeitura de Palmas informou que adotará as mudanças nos contratos sinalizados por este estudo à medida que os períodos dos contratos permitam a alteração.

Para trabalhos futuros serão realizados os mesmos estudos para outras unidades consumidoras subordinadas a Prefeitura Municipal de Palmas.

Finalmente, o consumo eficiente da energia nas unidades consumidoras, com adoções de medidas para economia de energia serão objetos de estudo, assim que as readequações das demandas contratadas de todas as UCs subordinadas a prefeitura municipal de Palmas Tocantins for concluída. Isto, visando cada vez mais, o consumo eficiente da energia que é paga pelos impostos dos contribuintes.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Resolução Normativa N°414**, De 9 de Setembro de 2010. Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414comp.pdf> > acessado em 05/09/2016.

BANDEIRANTE. **Critérios de Contratação e Tarifas aplicadas**, criada em 10/03/2004. Disponível em: <<http://www.edp.com.br/distribuicao/edp-escelsa/informacoes/grandes-clientes/normas-e-manuais/Documents/Manual%20de%20Orienta%C3%A7%C3%A3o-%20Crit%C3%A9rios%20de%20Contrata%C3%A7%C3%A3o%20e%20Tarifas%20Aplicadas.pdf>> acessado em 05/09/2016.

PROCEL. **Manual de Tarifação de Energia Elétrica**, 1° Edição – Maio/2001. Disponível em: <http://www.sef.sc.gov.br/sites/default/files/manual_de_tarifacao.pdf. >acessado em 05/09/2016.

SANTOS, **Tarifas de Energia: estrutura tarifaria**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Interciência Editora, 2010. 139 p.

PROPOSTA DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO E DESPACHO DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS NO CONCEITO DE CENTRAIS VIRTUAIS DE ENERGIA

Data de aceite: 26/11/2019

Rodrigo Regis de Almeida Galvão

CIBiogás, Foz do Iguaçu, Brasil, rodrigo.regis@cibiogas.org

Thiago José Lippo de Franca

PTI, Foz do Iguaçu, Brasil, thiago.franca@pti.org.br

Breno Carneiro Pinheiro

PTI, Foz do Iguaçu, Brasil, breno.pinheiro@unioeste.br

Luis Thiago Lucio

CIBiogás, Foz do Iguaçu, Brasil, luis.tl@cibiogas.org

RESUMO: A criação e atualização da resolução normativa da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) sobre geração distribuída proporcionou um novo ambiente de negócios ao setor elétrico, além de possibilitar que os consumidores também gerassem energia. Neste contexto, o gerenciamento de plantas de microgeração distribuída torna-se um desafio, principalmente, para as distribuidoras de energia elétrica e para toda a cadeia de suprimentos e serviços. Nesse sentido, é premente a necessidade de desenvolvimento de um sistema de monitoramento e despacho em plantas de microgeração, a fim de otimizar o fator de capacidade dos empreendimentos

e viabilizar a criação das Centrais Virtuais de Energia (CVE). As CVE fazem parte de uma nova dinâmica do ambiente estratégico do setor de energia, que fortalece a geração distribuída por meio de medidores inteligentes capazes de se comunicar com centros operacionais e assim influenciar os novos modelos de negócios já difundidos pelas conhecidas *smart grids*. Inserido nesse cenário este trabalho apresenta uma proposta de sistema de monitoramento e despacho de microgeração distribuída de energias renováveis, bem como a solução de engenharia para um produto final com foco na expectativa do mercado.

PALAVRAS-CHAVE: Microgeração Distribuída, Mercado de Energia Elétrica, Centrais Virtuais de Energia.

1 | INTRODUÇÃO

A necessidade de ampliar a oferta de energia em 50% a cada 20 anos apresenta-se com um desafio real no mundo. Arelado a isto está o crescimento da população, o crescimento econômico e a redução da pobreza. Assim, o aumento da consciência coletiva com foco no respeito às pessoas e ao meio ambiente vêm impondo aos países a busca por soluções energéticas com foco no bem estar comum, a exemplo do chamado

Acordo de Paris, celebrado recentemente na 21^a Conferência das Partes (COP-21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima na capital francesa.

Se o século XX foi o século dos combustíveis fósseis, o XXI se anuncia como o das Energias Renováveis, fato que pode ser atestado pela elevada taxa de crescimento na participação das fontes renováveis, notadamente eólica e solar, na geração de energia elétrica. Olhando o cenário nacional, segundo dados da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) de 2016, publicados no Banco de Informações de Geração (BIG) [1], o Brasil possui atualmente 4.587 empreendimentos de geração de energia em operação. Ainda segundo o BIG, existem 207 empreendimentos em construção e 660 com construção não iniciada, com os quais se espera uma adição de mais de 25GW na capacidade de geração de energia do país. Vale ressaltar que, conforme o Relatório de Acompanhamento da Implantação de Empreendimentos de Geração [2], publicado em abril de 2016 pela mesma agência, as usinas fotovoltaicas são responsáveis por 4,4% da matriz de implantação de novos empreendimentos de geração da energia elétrica. Outro ponto destacado no documento é o acréscimo de cerca de 441,5 MW de eólicas outorgadas 2016.

Não obstante os dados apresentados refiram-se ao Sistema Interligado Nacional (SIN), a partir da Resolução Normativa 482 de 17 de abril de 2012, atualizada pela Resolução 687/2015, os sistemas de micro e minigeração distribuídas ganharam interesse de consumidores que, gerando energia com fontes renováveis, passaram a acessar os sistemas de distribuição e de compensação de energia elétrica (*net metering*), e destaque no planejamento da expansão do setor elétrico nacional devido à oferta de potência ativa e serviços ancilares fundamentais à rede elétrica [3].

Esta nova configuração, onde se fundem os papéis de consumidor e produtor ou *prosumer*, implica em um ambiente estratégico de negócios completamente diferente daquele estabelecido há décadas no Brasil, onde predominam os sistemas de geração isolados, com poucas conexões e muitas restrições, e os interligados, com ampla extensão territorial e essencialmente unidirecional. Nesse sentido, o que se vê atualmente são forças produtivas e interesse governamental em ampliar o modal de produção de eletricidade no país pela criação de um setor elétrico distribuído e conectado, com uma matriz diversificada, com forte presença de geração distribuída (GD) pelo uso redes inteligentes e com fluxo de energia bidirecional.

Como fruto dessa nova forma de explorar o mercado do setor elétrico, surge a necessidade de integrar essas pequenas fontes de geração de modo a otimizar os recursos energéticos. Em face disto, diversos agentes estão surgindo para aproximar o conhecimento quanto às tendências de mercado com as novas tecnologias de informação e automação de sistemas, a fim de ampliar o controle sobre as plantas e aumentar o retorno financeiro desses empreendimentos. Dentre esses novos

agentes destacam-se as Centrais Virtuais de Energia (CVE), que possibilitam os ditos operadores virtuais do sistema gerenciar as unidades geradoras de energia como se fossem uma só, ou seja, como uma usina geradora de energia de maior porte [4].

Alinhado a essa nova realidade do setor elétrico nacional, esse trabalho apresenta duas plantas de geração de energia a partir de fontes renováveis. Uma dessas instalações refere-se a uma planta mista, construída no município de Foz do Iguaçu/PR em uma área cedida pela Itaipu Binacional. Essa planta é constituída por sistema de geração fotovoltaico com potência instalada de 3kWp e uma unidade de produção de biogás/biometano. A outra instalação refere-se a uma planta de geração fotovoltaica instalada no Instituto Federal de Rondônia (IFRO) com capacidade de 15kWp. Além disso, será apresentado o sistema de monitoramento e comando dessas plantas, com vistas ao desenvolvimento e implantação de uma CVE que permitirá explorar o potencial dos empreendimentos de modo eficaz.

O restante do trabalho está dividido como segue. A seção 2 apresenta o conceito de CVE, onde são apresentadas suas principais características. Na seção 3 é detalhado o projeto em andamento com enfoque nas características operacionais de cada planta e nos sistemas de automação e monitoramento desenvolvidos. A seção 4 discute como o projeto poderá evoluir no contexto das Centrais Virtuais de Energia e, por fim, a seção 5 traz as conclusões e a perspectivas futuras.

2 | CENTRAIS VIRTUAIS DE ENERGIA

Em termos práticos, as CVEs permitem a integração dos vários recursos energéticos distribuídos e sua interligação com sistema elétrico. Opera, dessa forma, como um único agente no mercado de energia, agregando os diversos componentes atuantes na GD. Quando as CVEs incorporam capacidades de armazenamento de energia e responsabilidades quanto ao atendimento às demandas, permite-se que as unidades de microgeração atuem no despacho de energia como plantas maiores [5].

O estudo das CVEs vem ganhando destaque no meio científico, notadamente com sua implantação em sistemas distribuídos [6-8], onde são discutidas as barreiras técnicas e regulatórias que ainda precisam ser vencidas para ampliação desse novo conceito. Outras áreas de pesquisa voltadas às CVEs são as comerciais [9], controle [10], despacho [11] e os diversos requisitos técnicos para implementação desses agentes [12].

A literatura [13] difere dois tipos de centrais virtuais de energia: Centrais Virtuais de Energia Técnicas (CVET) e Centrais Virtuais de Energia Comerciais (CVEC). De modo geral, as CVET possuem um foco local, uma vez que gerenciam os recursos

energéticos e os custos de produção. Além disso, essas entidades preocupam-se com o fornecimento de serviços a rede elétrica, seja como reserva de potência ativa ou serviços auxiliares. Por outro lado, as CVEC voltam-se ao mercado de energia, seja oferecendo serviço ou participando de leilões.

Com o intuito de estruturar a criação e implantação dessas centrais, muitos esforços têm sido empreendidos na identificação e padronização dos serviços oferecidos à rede elétrica. Em [14], por exemplo, propõe-se um mapeamento dos serviços dessas centrais utilizando o modelo de arquitetura das *smart grid* ou *SGAM* (*Smart Grid Architecture Model*), detalhado em [15]. Nesse modelo, são definidas 5 camadas ou dimensões de interoperabilidade mostradas da fig. 2.

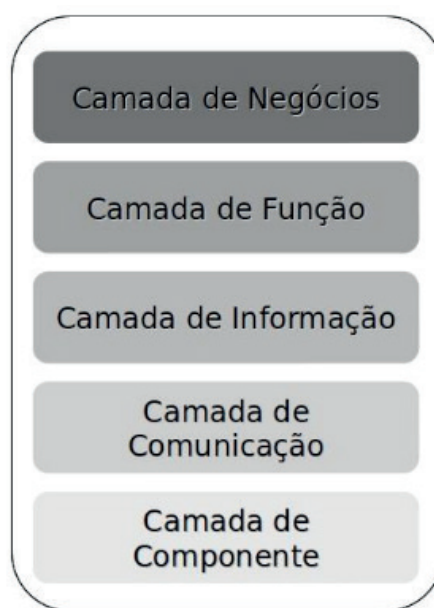


Fig. 2. Camadas de Controle das CVEs.

De modo geral, a primeira camada ou camada de Negócios refere-se às políticas econômicas e regulatórias do setor energético bem como os objetivos dos negócios. A segunda camada, chamada camada de Função, compreende os sistemas de gestão e controle dos recursos energéticos distribuídos. Já a camada de Informação define os modelos padronizados de dados trocados entre subsistemas, enquanto a quarta camada ou camada de Comunicação trata dos protocolos e das tecnologias de rede que atendam aos requisitos operacionais. Por fim, a camada de Componente compreende os componentes básicos envolvidos na implantação da CVE e a conectividade entre eles.

3 | PLANTAS DE MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA E O SISTEMA DE MONITORAMENTO

Essa seção dedicar-se-á a apresentar detalhes do projeto do sistema de

monitoramento de plantas de microgeração de energia a partir de fontes renováveis. Destaca-se que o projeto é resultado da parceria entre as Centrais Elétricas de Rondônia S.A., o Centro Internacional de Energias Renováveis – CIBIOGÁS e a Fundação Parque Tecnológico Itaipu – FPTI.

3.1 Visão Geral

O projeto contempla às seguintes macro entregas: i) implantar um complexo de geração solar com o uso de distintas tecnologias de geração e armazenamento de energia nas instalações Itaipu Binacional e no Instituto Federal de Rondônia. Para ambos os casos, os sistemas servirão de *backup* para a linha da concessionária até as instalações e, no caso da usina de Itaipu, poderá aliviar o seu serviço auxiliar; ii) automatizar uma planta de geração de biogás/biometano, instalada em Itaipu, a partir de biomassa oriunda de esgotos de restaurantes e de podas de gramas para abastecimento de veículos movidos por biometano. Eventualmente, como já acontece em outras instalações, o biogás poderá ser utilizado para geração de eletricidade; iii) desenvolver um sistema de monitoramento capaz de agrupar dados sobre o *status* das plantas, produção por período, além de informações sobre mercado. Além disso, incorporar alguns comandos remotos que possam atuar nesses sistemas; iv) criar um portfólio de projetos direcionado ao mercado, de curto e longo prazo, que possam atrair recursos por meio de Fundo de Investimentos Privados/FIP ou outros modelos de negócios. Espera-se assim alavancar projetos nas regiões de implantação das plantas, aproveitando as oportunidades que estão emergindo no setor de geração distribuída.

3.2 Planta de Geração de Biogás/Biometano

A planta para produção de biogás/biometano, que está sendo instalada em Itaipu Binacional, está mostrada na fig. 2 e possuirá as seguintes características:

- Capacidade de produção de biogás: 500m³/dia;
- Capacidade de produção de biometano: 300m³/dia;
- *Área ocupada*: 3.000m²;
- Quantidade de bioreatores: 2;
- Consumo de energia: 6,5Mh/mês.



Fig. 2. Unidade Demonstração (UD) de produção de biogás/biometano. Instalação em Itaipu Binacional.

Quando entrar em operação, a planta deverá processar as seguintes quantidades de biomassa:

- Esgoto sanitário: 10m³/dia;
- Grama: 1.200 kg/dia;
- Resíduos orgânicos: 600 kg/dia;

O esgoto sanitário mencionado é originado do edifício de produção de Itaipu, enquanto a grama será proveniente das podas diárias na vegetação das amplas áreas verdes da usina. Quanto aos resíduos orgânicos, o material será proveniente dos restaurantes instalados no complexo de Itaipu Binacional, os quais estão nas proximidades da planta. De modo geral, após o recebimento dos resíduos orgânicos ocorrerá o preparo da biomassa, isto é, serão adicionadas as frações de resíduos provenientes de grama e esgoto a fim de obter uma mistura com 12% de sólidos.

Inicialmente, a planta produzirá exclusivamente biometano para abastecer uma frota de 60 veículos de Itaipu movidos por esse combustível. Entretanto, se a planta fosse utilizada para gerar eletricidade, os 500m³ de biogás responderiam por aproximadamente 21MWh/mês.

3.3 Planta de Geração Fotovoltaica

Na sequência do trabalho, serão apresentadas as plantas de geração fotovoltaica instaladas em Itaipu Binacional, no estado do Paraná, e no Instituto Federal de Rondônia.

3.3.1 Instalação Itaipu Binacional

A planta de geração fotovoltaica a ser instalada em Itaipu Binacional, mostrado na fig. 3, possuirá as seguintes características:

- Potência instalada: 3,18kWp;
- Área ocupada: 50m²;
- Quantidade de painéis/potência por painel: 12/265W;
- Quantidade de inversores/potência por inversor: 1/3kW.

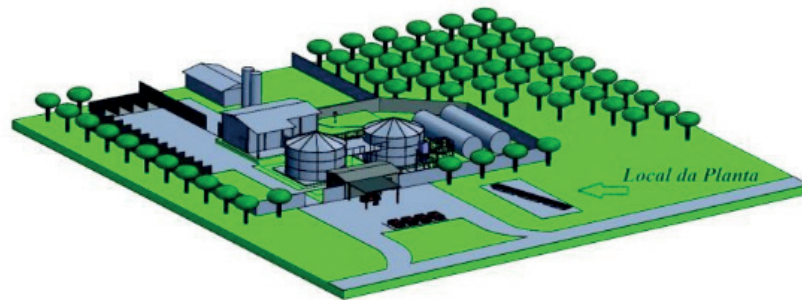


Fig. 3. Representação 3D da instalação da Unidade Demonstração (UD) de produção de biogás/biometano com instalação do painel geração de energia fotovoltaica.

Vale destacar que essa futura instalação trata-se de uma unidade de demonstração para fins de estudos preliminares de viabilidade técnico-econômica e para validação do sistema de monitoramento em desenvolvimento. A planta estará ligada a rede de baixa tensão de Itaipu e reduzirá os custos de energia da planta de biogás/biometano.

Com vistas à produção de energia limpa e sustentável, pretende-se ampliar a capacidade de geração da planta fotovoltaica e possibilitar sua ligação direta ao sistema de geração de biogás/biometano de modo a fechar um ciclo de produção de energia elétrica e combustível a partir de uma fonte renovável e com aproveitamento de resíduos.

3.3.2 Instalação Instituto Federal de Rondônia

A planta de geração fotovoltaica a ser instalada no Instituto Federal em Rondônia (IFRO), mostrado na fig. 4, possuirá as seguintes características:

- Potência instalada: 15kW;
- Área ocupada: 200m²;
- Quantidade de painéis/potência por painel: 56/265W;
- Quantidade de inversores/potência por inversor: 2/8.2kW.



Fig. 4. Unidade Demonstração (UD) de geração energia fotovoltaica. Destaque do local da instalação no Instituto Federal de Rondônia (IFRO). Fonte: Google Earth. Consulta realizada em 09/2016.

Quando instalado, o sistema terá dois propósitos fundamentais: i) servir de laboratório junto a instituição para a realização de pesquisa dos alunos e professores; ii) possibilitar estudos de viabilidade técnico-econômica para ampliação desse modal de geração para comunidades com restrições quanto ao acesso à energia elétrica no Norte do país.

O sistema estará ligado à rede de baixa tensão por meio de uma subestação instalada dentro do instituto e possibilitará redução no custo de energia elétrica.

3.4 Sistema de Monitoramento

Para a implantação efetiva de uma CVE, que integre todas as informações quanto aos recursos energéticos distribuídos disponíveis, à disponibilidade, capacidade e custo de produção das plantas e às tendências e tarifações do mercado energético, é necessário uma automatização das plantas, uma rede de comunicação, com serviços de coleta e transmissão de dados, bem como uma interface com usuário que permita tanto a visualização de dados online como a análise de históricos de produção e algum nível de comando remoto das unidades de geração.

Essa integração entre os subsistemas da CVE, desde o baixo nível, onde se encontram os processos de produção até o alto nível, onde são realizadas compras e venda de ativos energéticos, é essencial para as tomadas de decisão do operador virtual. Nesse sentido, o projeto apresentado nesse trabalho propõe um sistema de monitoramento que, se não engloba ainda todas as funcionalidades desejadas para operação de uma CVE, caminha nesse objetivo.

O sistema desenvolvido baseia-se no conceito de internet das coisas ou *internet of things* (IoT), que tem sido aplicado em diversos cenários desde modelos de negócios para grandes empresas até projetos de automação residencial [16].

Na fig. 5 mostra-se uma visão do sistema de monitoramento e comando

desenvolvido para o projeto, onde se concentrarão todas as informações sobre as unidades de geração e de onde será possível realizar algumas intervenções nos processos. O sistema poderá ser acessado pelo usuário por meio de uma interface para computadores pessoais ou dispositivos móveis, como *tablets* e celulares. Além disso, diferentes perfis de usuário serão definidos para permitir níveis de acesso com maior ou menor abrangência ao sistema.



Fig. 5. Diagrama da instrumentação e monitoramento em desenvolvimento para integração das unidades geradoras de energia.

Destaca-se no sistema a presença do servidor web e do banco de dados, que permitirão o acesso tanto aos dados online quanto ao histórico de informações acerca da unidade de produção em um período selecionado pelo usuário. Todas as informações serão disponibilizadas através de gráficos e/ou valores numéricos. O aplicativo ainda possuirá um caráter dinâmico, permitindo que o usuário cadastre novas plantas, novas grandezas monitoradas e novos equipamentos. Contextualizando com o que foi discutido na seção 2, as camadas compreendidas no projeto do sistema de monitoramento são: componente, comunicação e informação, uma vez que toda a logística de abastecimento e instrumentação das plantas, estrutura de rede para coleta e transmissão de dados e suporte a visualização das informações pelo usuário estão sendo desenvolvidas.

Dentre as grandezas monitoradas em cada sistema, pode-se destacar:

1. Planta Fotovoltaica:

- a. Corrente elétrica, Tensão de entrada e saída do inversor;
- b. Potência elétrica gerada;
- c. Fator de potência;
- d. Irradiação, Velocidade do vento, Temperatura;
- e. Quantidade de energia produzida, economizada;
- f. Tarifa de energia local e economia alcançada;

2. Planta Biogás/Biometano:

- a. Quantidade de grama processada;
- b. Volume de esgoto processado;
- c. Volume de resíduo orgânicos processado;
- d. Volume de gás produzido;
- e. Volume de biometano produzido e fornecido aos veículos;
- f. Faturamento;

Para o sistema fotovoltaico, todos os parâmetros elétricos medidos são fornecidos pelo inversor, enquanto os parâmetros meteorológicos são provenientes de sensores instalados no local. Com respeito à planta de produção de biogás/biometano, a instrumentação é mais diversificada e envolve sensores de temperatura, vazão, pressão, acionadores, transdutores, etc. Nesse caso, o controlador lógico programável controla a planta e lê o *status* de alguns equipamentos e envia os dados para a nuvem, que disponibiliza essas informações para o usuário final e atualiza o banco de dados para consultas futuras. Para localidades onde não há internet disponível, prevê-se a utilização de celulares para envio desses dados à nuvem.

Para a evolução do sistema, está previsto a disponibilização de funcionalidades para comando remoto a partir dos aplicativos que rodam nos dispositivos móveis. Desse modo, o operador ou proprietário poderá ligar/desligar a planta ou direcionar o fluxo de energia produzido.

4 | ANÁLISE E DISCUSSÕES

O propósito do projeto detalhado nesse trabalho pode ser compreendido a partir do sistema realimentado, conforme apresentado na fig. 6, que, apesar de não contemplar todos os subsistemas do conceito de central virtual de energia, já se identifica nesse modelo elementos que apontam para implantação dessas entidades.

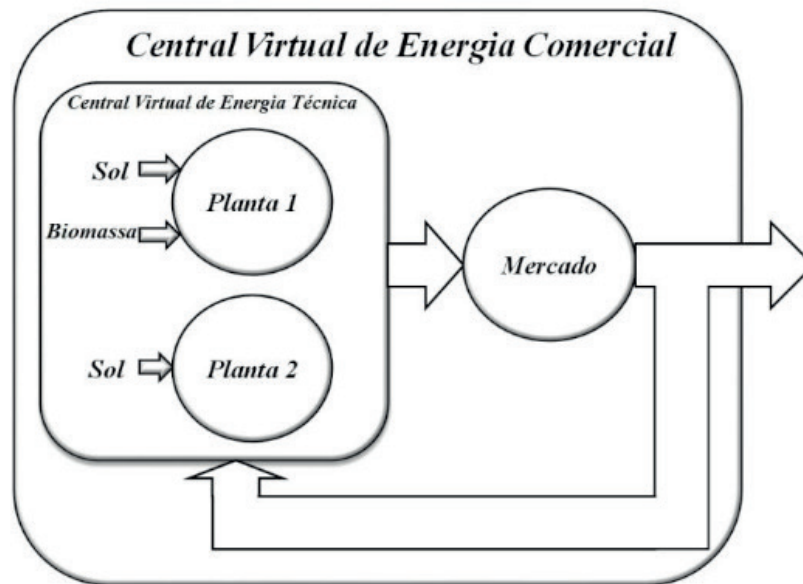


Fig. 6. Esquema da Central Virtual de Energia a partir de plantas de microgeração instaladas no Paraná (planta 1) e Rondônia (planta 2).

Como visto na seção 3, a planta 1 está localizada no estado do Paraná e refere-se a uma planta mista com geração fotovoltaica e biogás/biometano. Já a planta 2, trata-se de um sistema de geração exclusivamente fotovoltaico. Entretanto, é através do sistema de monitoramento e armazenamento de dados que operadores ou usuários poderão visualizar os níveis de produção, acompanhar metas, evolução dos custos, política tarifária, condições meteorológicas, etc.

Desse modo, é a partir da análise sobre a relação entre valor da energia produzida, custos de produção e disponibilidade de recursos energéticos, que se decide sobre a operação das unidades geradoras.

Para exemplificar isso, alguns cenários podem ser criados para ilustrar a atuação sobre os sistemas:

- *Cenário1:*

Contexto: *Baixa procura por biometano e pouca oferta de biomassa devido ao período de férias na usina.*

Ação: *Foco na produção ou armazenamento de energia fotovoltaica para fins de compensação ou provimento de serviços à rede elétrica.*

- *Cenário2:*

Contexto: *Demanda alta por combustível e custo de energia elétrica elevado.*

Ação: *Foco na produção de energia fotovoltaica para fins de compensação ou fornecimento exclusivo para a planta de biogás/biometano.*

- *Cenário 3:*

Contexto: *Controle do volume de produção de biometano para abastecimento de veículos e da produção de biogás para cocção.*

Ação: Foco na proporção adequada de produção para maximizar o lucro.

O objetivo do sistema é, portanto, prover informações acerca das unidades geradoras bem como do mercado de energia a fim de capacitar o operador a atuar sobre essas unidades de modo eficaz e alinhado com as tendências de mercado. Para tanto, é necessário um nível de automação cada vez mais elevado e uma infraestrutura de rede de comunicação adequada para permitir a coleta de dados *online* e eventuais intervenções na operação.

Vale destacar ainda, o registro contínuo no banco de dados sobre toda a operação e produção das unidades geradoras. Esse registro corresponde a um histórico, que poderá ser acessado a qualquer instante para análise temporal do comportamento e produtividade das plantas.

Considerando o estágio atual de desenvolvimento, muito ainda precisa ser feito. Dentre os principais pontos a serem avançados destacam-se:

- Ampliação do número de plantas instaladas interligadas ao sistema;
- Elevar o nível de automação dos processos;
- Permitir armazenamento de energia fotovoltaica;
- Ampliar as possibilidades de intervenção remota nas plantas;
- Padronizar o sistema de acordo com normas internacionais;

5 | CONCLUSÃO

O trabalho apresentou o estágio de implantação de duas plantas de microgeração de energia instaladas nos estados de Rondônia e Paraná. No primeiro caso, trata-se de uma planta exclusivamente fotovoltaica e no segundo, uma planta de geração mista fotovoltaica e biogás/biometano. Nesse sentido, chama-se atenção para o novo olhar dado aos resíduos orgânicos e ao esgoto sanitário, que são tratados como recursos energéticos. O projeto acompanha a tendência atual de pulverizar a produção de energia ao longo do território nacional, promovendo impactos socioambientais altamente positivos e serviços importantes para o setor elétrico em todos os seus níveis.

Um sistema onde as unidades de geração encontram-se distribuídas exige, no entanto, um monitoramento e gerenciamento remotos dos recursos energéticos e da evolução do mercado. Para isso, o sistema de monitoramento apresentado coleta e disponibilizar dados de produção e de disponibilidade de geração das plantas tanto *online* como por período. Como visto, toda infraestrutura apresentada alinha-se ao conceito de central virtual de energia, entidade voltada ao gerenciamento de recursos energéticos e despacho de geração de energia, que vem sendo explorado

e desenvolvido em diversos países. Apesar de embrionário, o projeto reflete o novo cenário de negócios que se abre no setor elétrico e que certamente exigirá dos órgãos reguladores uma legislação mais inclusiva no que tange à geração de energia distribuída.

6 | AGRADECIMENTOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os autores do artigo agradecem às Centrais Elétricas de Rondônia – CERON pelo apoio financeiro ao projeto e à Itaipu Binacional pela parceria no desenvolvimento e implantação do sistema.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica. “BIG - Banco de Informações de Geração,” 2016. Disponível em : <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: 01 outubro 2016.

Agência Nacional de Energia Elétrica. “Relatório de Acompanhamento da Implantação de Empreendimentos de Geração”, nº7, 8p., Abril, 2016. Disponível em : <<http://www.aneel.gov.br/documents>>. Acesso em: 01 outubro 2016.

F. D. Moya Chaves, “Serviços Ancilares através da Geração Distribuída: Reserva de Potência Ativa e Suporte de Reativos”. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos.) – Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Campinas, São Paulo, 2012.

G. Plancke, K. De Vos, R. Belmans and A. Delnooz, “Virtual power plants: Definition, applications and barriers to the implementation in the distribution system,” 2015 12th International Conference on the European Energy Market (EEM), Lisbon, 2015, pp. 1-5.

Ł. Nikonowicz, J. Milewski, “Virtual Power Plants – general review: structure, application and optimization,” Journal of Power Technologies, vol. 3, no. 92, p. 135 – 149, 2012.

L. C. Rodrigues Junior, “Integração de fontes renováveis no sistema elétrico através de Centrais Renováveis Virtuais”. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

L. I. Dulău, M. Abrudean and D. Bică, “Distributed generation and virtual power plants,” Power Engineering Conference (UPEC), 2014 49th International Universities, Cluj-Napoca, 2014, pp. 1-5.

T. K. V. Hernandez, “Uma Proposta de Integração da Geração Distribuída, por Meio das Usinas Virtuais, ao Sistema Elétrico do Estado de São Paulo”. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

S. You, C. Træhold, and B. Poulsen, “A market-based virtual power plant,” in Proc. Int. Conf. Clean Elect. Power (ICCEP’09), 2009, pp. 460 – 465.

X. Huanhai et al., “Virtual power plant-based distributed control strategy for multiple distributed generators,” IET Control Theory Appl., vol. 7, no. 1, pp. 90–98, Jan. 2013.

M. Vasirani, R. Kota, R. Cavalcante, S. Ossowski, and N. Jennings, “An agent-based approach to

virtual power plants of wind power generators and electric vehicles,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 4, no. 3, pp. 1314 – 1322, Sep. 2013.

N. Etherden, M. H. Bollen, and J. Lundkvist, “Quantification of network services from a virtual power plant in an existing subtransmission network,” in Proc. 4th IEEE PES Int. Conf. Exhib. Innov. Smart Grid Technol. (ISGT Europe), 2013, pp. 1–5.

M. Braun, “Provision of Ancillary Services by Distributed Generators – Technological and Economic Perspective,” Tese (Doutorado em Energias Renováveis e Eficiência Energética.) Institute für Elektrische Energietechnik, Kassel University, Kassen, Alemanha, 2008.

Nicholas Etherden, Valeriy Vyatkin, Math H. J. Bollen, “Virtual Power Plant for Grid Services Using IEC 61850”, IEEE Transaction on Industrial Informatics, Vol. 12, no 1, vol. 12, February 2016.

CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group (SG-CG). (2012, Nov). “First set of standards,” Brussels [Online]. Disponível:<ftp://ftp.cen.eu/EN/EuropeanStandardization/HotTopics/SmartGrids/First%20Set%20of%20Standards.pdf>.

Jayavardhana G., Rajkumar B., Slaven M., Marimuthu P., Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions, Future Generation Computer Systems, vol 29, no 7, p. 1645-1660, Sep 2013.

PROTEÇÃO TÉRMICA CONTRA ARCOS ELÉTRICOS: UM ESTUDO DE CASO COM UMA SUBESTAÇÃO DE 13,8 KV

Data de aceite: 26/11/2019

Herick Talles Queiroz Lemos

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

Humberto Dionísio de Andrade

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

Matheus Emanuel Tavares Sousa

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

Adriano Aron Freitas de Moura

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

Ednardo Pereira da Rocha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

Ailson Pereira de Moura

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza – CE

RESUMO: Um dos principais riscos associados às atividades envolvendo equipamentos energizados são os efeitos térmicos produzidos pela energia incidente resultante de uma explosão elétrica. Neste contexto, uma importante medida para proteção contra os efeitos térmicos dos arcos elétricos é a utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs)

com grau ATPV (*Arc thermal performance value*) adequado e a definição de uma distância segura de aproximação do local de trabalho. No Brasil, a utilização de EPIs com proteção térmica é exigida na Norma Regulamentado Nº 10 (NR 10), no entanto, essa norma fornece orientações sobre metodologias de estudo de energia incidente, as quais servem de base para especificação desses equipamentos. Desse modo, este trabalho se propõe a demonstrar, por meio de um estudo de caso, a aplicação da metodologia proposta na IEEE1584/2018 (*Guide for performing arc-flash hazard calculations*) e as orientações da NFPA 70E/2018 (*Standard for electrical safety requirement for employee workplace*) para o estudo da energia incidente e determinação do grau de proteção ATPV dos EPIs de trabalhadores de uma subestação de 500 kVA em 13,8/0,38 kV da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada no município de Mossoró, RN. No estudo, pode-se constatar que os serviços na subestação requerem a utilização de EPIs com categoria ATPV grau 2 e a delimitação de uma distância segura de aproximação mínima de 1,1771 m. Por meio desse trabalho, pode-se demonstrar, de forma clara e objetiva, os principais métodos e padrões internacionais de referência utilizados no estudo de energia incidente e proteção térmica.

PALAVRAS-CHAVE: Arco elétrico; Energia

incidente; Equipamentos de proteção individual.

ARC FLASH THERMAL PROTECTION: A STUDY CASE WITH A 13.8KV SUBSTATION

ABSTRACT: One of the main risks associated with activities involving energized equipment is the thermal effects produced by incident energy resulting from an electrical explosion. An important measure for protection against arc flash hazards is the use of personal protective equipment (PPE) with appropriate ATPV (Arc thermal performance value) and the definition of a safe approach distance from the workplace. In Brazil, the use of thermally protected PPE is required by Regulated Standard No. 10 (NR 10), however, this standard provides no guidance on incident energy study methodologies, which serve as a basis for the specification of such equipment. Thus, this paper aims to demonstrate, through a case study, the application of the methodology proposed in IEEE1584 / 2018 (Guide for performing arc flash hazard calculations) and the guidelines of NFPA 70E / 2018 (Standard for electrical safety requirement for employee workplace) for the study of incident energy and determination of the ATPV protection level of the PPE from workers of a 500 kVA 13.8 / 0.38 kV substation at the Federal Rural University of Semi-Arid, located in the Mossoró city, RN. In the study, was found that services on the substation require the use of PPE with ATPV level 2 and the delimitation of a minimum safe approach distance of 1.1771 m. Through this work, it was possible to demonstrate clearly and objectively the main international reference methods and standards used in the study of incident energy and arc flash protection.

KEYWORDS: Arc flash; Incident energy; personal protective equipment.

1 | INTRODUÇÃO

Embora seja preconizado a intervenção em instalações elétricas desenergizadas sempre como primeira opção para os trabalhadores, nem sempre é possível atender essa premissa para todo o leque de atividades existentes, especialmente quando a continuidade do fornecimento é um fator crítico para instalação elétrica. Um dos principais riscos associados às atividades envolvendo equipamentos energizados é o surgimento de arcos elétricos, os quais liberam grandes quantidades de energia na forma de calor, som, expansão de ar e luz, dando origem a uma explosão elétrica (DAS, 2012). Quando exposto a uma explosão elétrica, o trabalhador pode ter como consequências queimaduras, traumatismos, surdez e até o óbito (GAMMON, 2015).

Tendo em vista as consequências danosas dos arcos elétricos, entende-se que o estudo de energia incidente constitui a ferramenta necessária para a correta especificação do grau de proteção contra os efeitos térmicos do arco elétrico, bem como para determinação da distância segura de aproximação e delimitação

de estratégias de ajuste dos equipamentos de proteção que minimizem os danos produzidos por uma explosão elétrica.

Na NR 10, é previsto a exigência de vestimentas adequadas para proteção dos trabalhadores (BRASIL, 2016), no entanto, não é detalhado nenhuma metodologia que oriente o engenheiro eletricitista na especificação das características de proteção dos EPIs. Neste caso, faz-se necessário, portanto, para condução do estudo de energia incidente, o uso de normas internacionais, como a IEEE1584/2018 e a NFPA 70E/2018, muitas vezes desconhecidas pelos projetistas.

Neste trabalho, buscou-se demonstrar, por meio de um estudo de caso, a aplicação do estudo de energia incidente para correta determinação do categoria ATPV das vestimentas de trabalhadores e a distância segura de aproximação para serviços em um quadro elétrico de uma instalação de média tensão, utilizando como base a metodologia proposta na IEEE1584/2018 e as orientações da NFPA 70E/2018.

2 | O FENÔMENO DO ARCO ELÉTRICO

Um arco elétrico consiste na passagem de corrente elétrica através do ar ionizado e material condutor vaporizado entre condutores ou condutores e a terra. Esse fenômeno pode ter origem em (DAS, 2012):

- Defeitos no isolamento e terminações de cabos devido à deterioração ou contaminação;
- Sobretensões de origem atmosférica ou internas ao equipamento geradas por transitórios de chaveamento;
- Contatos acidentais entre condutores ou condutores e a terra;
- Operação inadequada de dispositivos de seccionamento na ausência de intertravamento;
- Subdimensionamento de equipamentos para a máxima corrente de curto-circuito possível;
- Falha humana, como a derrubada de partes ou ferramentas sobre equipamentos energizados.

Na ocorrência de um arco elétrico, grandes quantidades de energia na forma de calor, som, expansão de ar e luz são liberadas. O efeito combinado dessas energias é denominado explosão elétrica. A Figura 1 ilustra as principais consequências do arco elétrico.

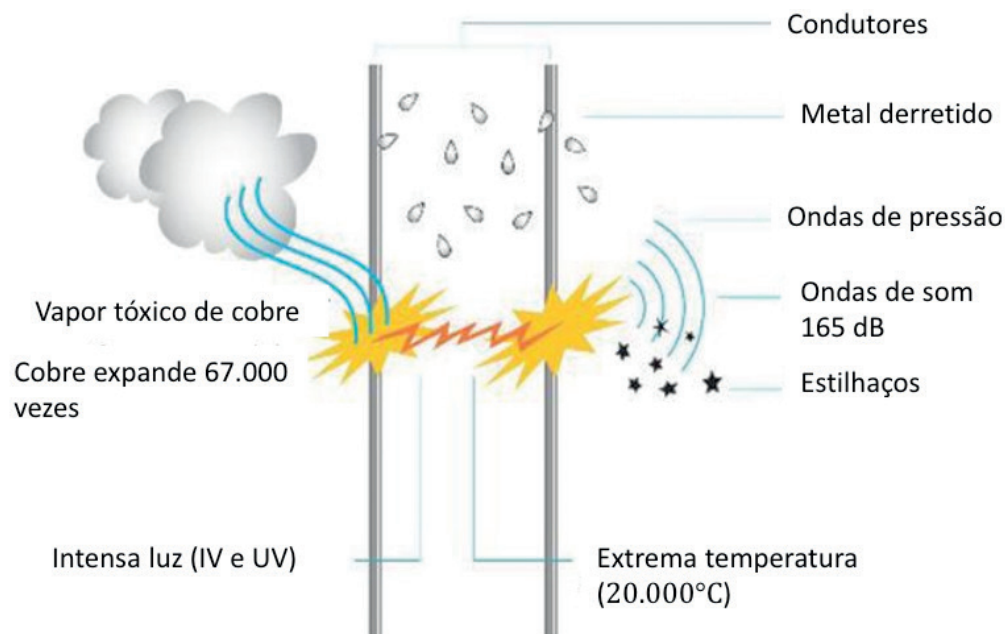


Figura 1 – Efeitos de uma explosão elétrica provocada por arco elétrico

Fonte: Adaptado de (RANDELA, 2016).

Quando exposto a uma explosão elétrica, os efeitos térmicos da energia incidente correspondem a causa dos maiores danos ao trabalhador. Essa energia, medida em cal/cm^2 , é liberada em sua maioria por irradiação e pode alcançar níveis superiores $100 \text{ cal}/\text{cm}^2$, valor capaz de, em meio segundo, elevar a temperatura da pele humana a 500°C e expandir a água contida nela em até 500 vezes, produzindo um efeito similar a uma explosão (QUEIROZ, 2012). A Figura 2 ilustra a ocorrência de uma explosão elétrica.

Dentre os possíveis efeitos causados por um acidente por arco elétrico, as queimaduras se destacam, principalmente, pela elevada taxa de mortalidade associada, além da severidade das sequelas funcionais e estéticas que acometem às vítimas.



Figura 2 – Demonstração de explosão elétrica em ensaio laboratorial

Fonte: Adaptado de (AMPSAFE, 2019).

Outro problema associado à energia incidente é a possibilidade de ignição das vestimentas do trabalhador, aumentando consideravelmente os efeitos de possíveis queimaduras. Uma importante medida para proteção contra os efeitos térmicos dos arcos elétricos é a utilização de vestimentas com grau ATPV adequado e a definição de uma distância segura de aproximação, a qual é definida como sendo a distância da fonte de arco no qual um trabalhador sem proteção é exposto a uma energia de $1,2 \text{ cal/cm}^2$, causando-lhe queimaduras de segundo grau. A Figura 3 ilustra o conceito de distância segura de aproximação.



Figura 3 – Distância segura de aproximação em sistemas energizados

Fonte: Os autores, 2019.

A seguir será apresentado a metodologia para o cálculo da energia incidente e da distância segura de aproximação presente na norma IEEE 1584/2018 e os critérios de determinação do grau ATPV dos EPIs com base na NFPA 70E/2018.

3 | CÁLCULO DA ENERGIA INCIDENTE E GRAU ATPV

Esta seção apresenta, inicialmente, o método proposto na norma IEEE 1584/2018 para o cálculo da corrente de arco, da energia incidente e da distância segura de aproximação. Na sequência, são apresentados os critérios de seleção da categoria ATPV dos EPIs conforme as recomendações da NFPA 70E/2018.

4 | MÉTODO DO IEEE 1584

A norma IEEE 1584 fornece um guia com técnicas para determinação da distância segura de aproximação e da energia incidente durante a realização de atividades junto a equipamentos elétricos ou proximidades de sistemas energizados (IEEE, 2018). Devido a sua abrangência, as técnicas presentes na IEEE 1584

tornaram-se as metodologias de cálculo mais difundidas no mundo.

A metodologia descrita na IEEE 1584 é fundamentada em modelos estatísticos e no ajuste de curvas com base em uma série de ensaios realizados pelo grupo de trabalho dessa norma (DAS, 2012). Essa metodologia pode ser aplicada a sistemas trifásicos, em configuração fechada ou aberta, em baixa ou média tensão. Todavia, riscos relativos à projeção de estilhados ou material derretido, ondas de pressão e fumaça tóxica ainda não são considerados nessa norma (IEEE, 2018). Além disso, a aplicabilidade é restrita aos limites apresentados na Tabela 1.

Parâmetro	Faixa de aplicação
Tipo de defeito	Trifásico
Nível de tensão	0,208 a 15 kV
Frequência	50 a 60 Hz
Corrente de curto-circuito	0,7 a 106 kA
Espaçamento entre condutores	13 a 152 mm

Tabela 1 – Limites de aplicação da IEEE 1584.

Fonte: Adaptado de (IEEE, 2018).

De acordo com norma IEEE 1584 (2018), a corrente de arco depende, principalmente, da corrente de curto-circuito, da distância entre os condutores e do tipo de ambiente. Em sistemas de média tensão (MT), no entanto, a impedância proporcionada pelo afastamento dos condutores e o tipo de ambiente possuem pouca influência na corrente de arco, de modo que a norma propõe duas equações para o cálculo da corrente de arco: uma para sistemas de baixa tensão (BT), isto é, até 1 kV; e outra para sistemas de média tensão entre 1 e 15 kV. Para sistemas de baixa tensão, aplica-se a Equação 1.

$$I_a = 10^{[K+(0,662+0,5588V-0,00304G) \log_{10}(I_{3\phi})+0,0966V+0,000526G]} \quad (1)$$

Em que:

I_a é a corrente de arco em kA;

K é $-0,153$ para arcos em ambientes abertos e $-0,097$ para ambientes fechados;

$I_{3\phi}$ é a corrente de curto-circuito trifásica em kA;

V é a tensão do sistema em kV;

G é a distância entre os condutores em mm.

A distância entre os condutores, G , pode ser estimada com base nas distâncias típicas previstas na norma, conforme apresentado na Tabela 2.

Tensão do sistema (kV)	Tipo de instalação	Distância típica (mm)	Fator de distância ()
$0,208 \leq V \leq 1,0$	Ambiente aberto	10 – 40	2,000
	Painel de distribuição	32	1,473
	CCM e painel	25	1,641
	Cabos	13	2,000
$1,0 < V \leq 5,0$	Ambiente aberto	102	2,000
	Painel de distribuição	13 – 102	0,973
	Cabos	13	2,000
$5,0 < V \leq 15$	Ambiente aberto	13 – 153	2,000
	Painel de distribuição	153	0,973
	Cabos	13	2,000

Tabela 2 – Distâncias típicas entre condutores e fatores de distância propostos na IEEE 1584.

Fonte: Adaptado de (IEEE, 2018).

Para sistemas de média tensão, a corrente de arco pode ser estimada por meio da Equação 2.

$$I_a = 10^{[0,00402 + 0,983 \log_{10}(I_{3\phi})]} \quad (2)$$

De posse do valor da corrente de arco, calcula-se o valor da energia incidente normalizada utilizando-se a Equação (3). Essa energia é padronizada em ensaios laboratoriais considerando arcos com tempo de extinção de 200 ms e trabalhos a uma distância do ponto de origem do arco de 610 mm.

$$E_{inc}^* = 10^{[K_1 + K_2 + 1,081 \log_{10}(I_a) + 0,0011G]} \quad (3)$$

Em que:

E_{inc}^* é a energia incidente normalizada em J/cm²;

K_1 é $-0,792$ para ambientes abertos e $-0,555$ para ambientes fechados;

K_2 é 0 para sistemas isolados ou aterrados por alta resistência e $-0,113$ para sistemas solidamente aterrados.

A energia incidente determinada na Equação 3 deve ser posteriormente corrigida para as condições reais do equipamento analisado. Essa correção requer o conhecimento das características de atuação dos dispositivos de proteção e da distância real de trabalho no equipamento analisado.

A partir das características dos dispositivos de proteção, deve-se determinar o tempo total de interrupção do defeito trifásico que dá origem ao arco elétrico, incluindo, quando for o caso, o tempo de abertura do disjuntor. Esse tempo pode ser obtido por meio das curvas tempo-corrente fornecidas na folha de dados do dispositivo de proteção.

Conforme a norma IEEE 1584 (2018), o cálculo da energia incidente é realizado

a fim de obter o nível de exposição da face do trabalhador à energia emitida pelo arco elétrico. Assim, deve-se considerar como distância de trabalho o afastamento entre o ponto de formação do arco no equipamento e a face do trabalhador durante a execução dos serviços. A Tabela 3 apresenta estimativas da IEEE 1584 para as distâncias de trabalho típicas de alguns equipamentos.

Tipo de equipamento	Distância de trabalho típica (mm)
Painel de 5 kV	910
Painel de 15 kV	910
Painel de BT	610
CCMs e quadros de BT	455
Cabos	455
Outros	Deve ser determinada em campo

Tabela 3 – Distâncias típicas de trabalho recomendadas pela IEEE 1584.

Fonte: Adaptado de (IEEE, 2018).

Conhecendo-se o tempo de extinção do arco e a distância de trabalho, pode-se determinar a energia incidente corrigida por meio da Equação 4.

$$E_{inc} = 4,184CE_{inc}^* \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{D}\right)^x \quad (4)$$

Em que:

E_{inc} é a energia incidente corrigida em J/cm²;

C é um fator de cálculo igual a 1 para MT e 1,5 para BT;

t é o tempo de extinção do arco em segundos;

D é a distância de trabalho em mm;

x é o fator de distância obtido na Tabela 1.

A fim de considerar possíveis variações na corrente de arco ou no tempo de abertura do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, é recomendado que seja determinada a energia incidente para o tempo de duração do arco para uma segunda corrente de arco igual a 0,85 _{α} .

Por fim, sabendo-se que a distância segura de aproximação, D_s , corresponde à distância do ponto de formação do arco no qual a energia incidente é igual a 1,2 cal/cm² ou 5 J/cm², pode-se obter, partindo-se da Equação 4, que D_s será dado pela Equação 5.

$$D_s = \left[CE_{inc}^* \left(\frac{t}{0,2}\right) \left(\frac{610}{5,0}\right)^x \right]^{\frac{1}{x}} \quad (5)$$

A partir dos resultados obtidos com a análise de energia incidente, pode-se

determinar a categoria de risco ou grau ATPV dos EPIs dos trabalhadores. A seguir serão discutidos os critérios de seleção da NFPA 70E/2018.

5 | ESPECIFICAÇÃO DO GRAU ATPV

A NFPA 70E é uma norma americana que estabelece práticas de segurança para trabalhadores de serviços com eletricidade. No tocante aos arcos elétricos, essa norma propõe métodos para determinação da energia incidente e distância segura de aproximação e seleção do grau de proteção ou categoria ATPV dos EPIs dos trabalhadores (NFPA, 2018).

A seleção dos EPIs é facilitada pela NFPA 70E por meio da utilização de tabelas que relacionam a categoria ATPV com a energia incidente na distância de trabalho. A categoria ATPV dos EPIs é definida pela norma ASTM F1959-06 e representa a energia incidente que resulta em uma probabilidade 50% de que o calor transferido através do material que compõe o EPI provoque lesões na pele com queimaduras de segundo grau, com base modelo empírico *Stoll Response* (DAS, 2012).

O grau de proteção ATPV é dividida em quatro categorias, conforme apresentado na Tabela 4. A classificação dos EPIs nessas categorias é feita por meio de testes padronizados sob diferentes condições de corrente de arco e tempo de exposição.

Categoria ATPV	Suportabilidade térmica nominal (cal/cm²)	Energia incidente (cal/cm²)
1	4	$1,2 \leq E_{inc} \leq 4$
2	8	$4 < E_{inc} \leq 8$
3	25	$8 < E_{inc} \leq 25$
4	40	$25 < E_{inc} \leq 40$

Tabela 4 – Suportabilidade térmica nominal das categorias ATPV previstas na NFPA 70E.

Fonte: Adaptado de (DAS, 2012).

Quando, para um determinado equipamento, a energia incidente na distância de trabalho supera 40 cal/cm², somente é permitido serviços com a instalação desenergizada, uma vez que não existem EPIs capazes de fornecer proteção adequada para esse nível de energia incidente. Por outro lado, quando a energia incidente é inferior a 1,2 cal/cm², é suficiente para os trabalhos vestimentas fabricadas em fibra natural não tratada com gramatura mínima de 152 g/cm², além de óculos de proteção, protetor auricular e luvas (RÔMULO, 2012).

Na seção a seguir será demonstrado, por meio de um estudo de caso, a aplicação das metodologias descritas para uma instalação de média tensão.

6 | ESTUDO DE CASO

Nesta seção será demonstrado, por meio de um estudo de caso em uma subestação de média tensão, a aplicação da norma IEEE1584/2018 e as orientações da NFPA 70E/2018 para determinação da energia incidente, da categoria ATPV dos EPIs e a da distância segura de aproximação. Inicialmente serão apresentados os dados do circuito da subestação utilizada no estudo de caso. Na sequência, serão apresentadas as considerações e resultados obtidos para da análise de curto-circuito e corrente de arco. Por fim, serão apresentados os resultados obtidos no estudo de energia incidente.

7 | DADOS DA SUBESTAÇÃO

A subestação utilizada no estudo foi idealizada para suprir quatro centrais de aula na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada no município de Mossoró, RN. A Figura 4 apresenta o diagrama unifilar da instalação desde o ponto de conexão com a rede de distribuição da concessionária local (PGA) até o barramento do QGF.

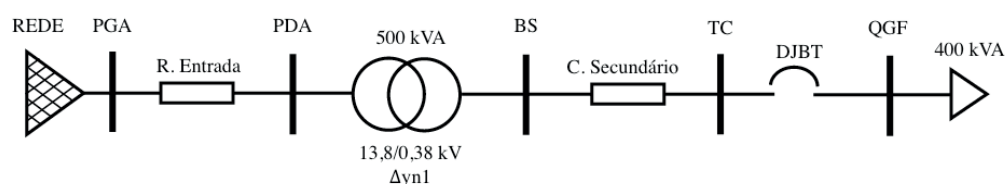


Figura 4 – Diagrama unifilar da instalação.

Fonte: Os autores, 2019.

A rede de distribuição é representada por seu equivalente de Thévenin no ponto de entrega. Para esse ponto, utilizou-se as potências de curto-circuito de 150 MVA com X/R de 4,637 para o defeito trifásico e 120 MVA com X/R de 6,096 para o defeito monofásico.

Os dados dos cabos do ramal de entrada e do cabo de interligação do secundário do transformador ao QGF são apresentados na Tabela 5. Nessa tabela: representa o comprimento dos cabos; R e X representam, respectivamente, a resistência e reatância do cabo; e os sobrescritos 1 e 0 representam, respectivamente, as componentes de sequência positiva e negativa.

O transformador da subestação possui potência nominal de 500 kVA, tensões nominais de 13,8/0,38 kV e grupo de ligação $\Delta yn1$. Além disso, o transformador também possui impedância percentual de 5,75% e razão X/R de 3,09 para as sequências positiva e zero.

Cabo	Tipo	l (m)	R_1 (Ω /km)	X_1 (Ω /km)	R_0 (Ω /km)	X_0 (Ω /km)
R. Entrada	CAA 1/C #1/0 AWG	400	0,6596	0,3148	0,6984	1,8843
C. Secundário	CU 1/C #500 AWG	5	0,0861	0,2561	0,0867	0,8730

Tabela 5 – Dados dos cabos do ramal de entrada e de interligação do secundário transformador ao QGF.

Fonte: Os autores, 2019.

A proteção geral do QGF é realizada por meio de um disjuntor termomagnético tripolar MCCB (*Molded Case Circuit Breaker*) da GE, modelo MVT-Plus de 800 A/0,48kV, com capacidade de interrupção de 50 kA. O disjuntor é instalado em um quadro metálico sobreposto em parede com dimensões 1200x800x350 mm. Os barramentos do quadro são fabricados em cobre e possuem espaçamento 32 mm.

Na seção a seguir serão apresentados os resultados obtidos para a corrente de arco produzida a partir de um defeito trifásico no barramento do QGF.

8 | ESTUDO DE CURTO-CIRCUITO E CÁLCULO DA CORRENTE DE ARCO

A partir dos dados apresentados na Seção 4.1, realizou-se um estudo do nível de curto-circuito no barramento do QGF. No estudo, constatou-se que, para uma falta trifásica no QGF, tem-se uma corrente de defeito de 11,44 kA. A Figura 4 ilustra a característica tempo-corrente do disjuntor, incluindo os ajustes dos disparadores térmico (ST Pickup) e magnético (Inst. Pickup), além de indicadores da corrente de falta (DJ QGF – 3P), da corrente de carga total do circuito (CARGA-FLA) e da capacidade de condução do cabo do secundário (C. SEC. Ampacity) e a curva de capacidade térmica do cabo do secundário (C. SEC. - P).

Para o defeito trifásico, considerando um ambiente fechado, obtém-se pela Equação 1 uma corrente de arco, I_α , de 6,0118 kA. Utilizando-se 85% de I_α , isto é 5,11 kA, verifica-se um tempo de arco ou de interrupção total falta de 0,31 s, conforme ilustrado na Figura 5.

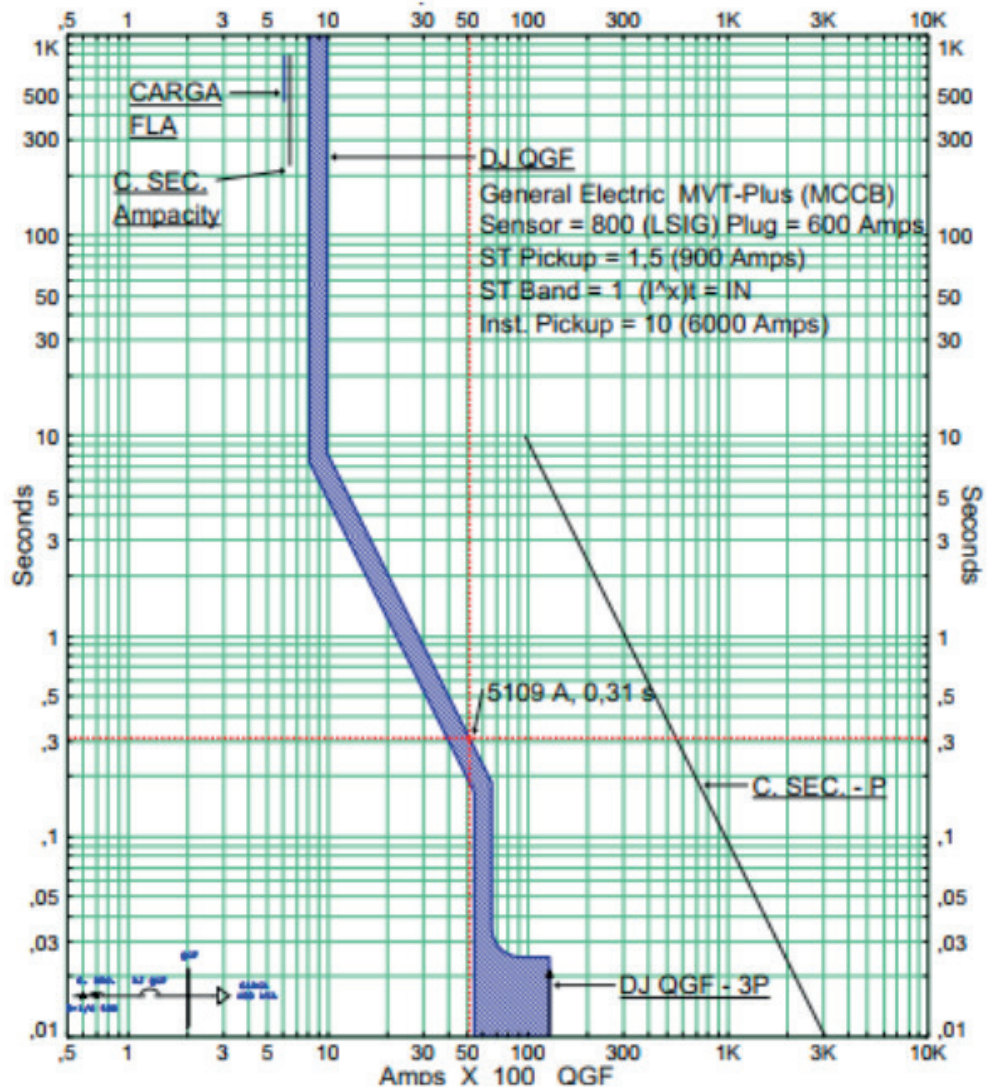


Figura 5 – Característica tempo-corrente do disjuntor geral do QGF.

Fonte: Os autores, 2019.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos para a energia incidente e distância segura de aproximação.

9 | ESTUDO DA ENERGIA INCIDENTE E ESPECIFICAÇÃO DA CATEGORIA ATPV

Para a corrente de arco de 5,11 kA, considerando-se um ambiente aberto, verifica-se por meio da Equação 3 uma energia incidente normalizada de 1,3583 J/cm². A correção desse valor para as condições reais da instalação por meio da Equação 4 resulta em uma energia incidente no plano de trabalho de 4,834 cal/cm², considerando-se: o fator de distância de 1,473, conforme a Tabela 2; a distância de trabalho de 455 mm, conforme a Tabela 3; e o tempo de arco de 0,31 s.

A partir da Equação 5, verificou-se que a distância segura de aproximação é de aproximadamente 1,1771 m, isto é, a partir dessa distância do ponto de formação do arco, a energia incidente é inferior a 1,2 cal/cm², dispensando o uso de EPIs

especiais com proteção antichama.

Utilizando-se as recomendações da NFPA 70E discutidas na Seção 3.2, verificou-se, a partir da Tabela 4, que são requeridos EPIs com categoria ATPV 2, isto é, com suportabilidade térmica nominal de 8 cal/cm².

10 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos principais riscos associados às atividades envolvendo equipamentos energizados é a energia incidente resultante de uma explosão elétrica, que pode gerar, entre outros danos, graves queimaduras na pele. Nestas circunstâncias, o uso de EPIs com categoria de proteção ATPV adequado e delimitação de uma distância segura de aproximação, conforme previsto na NR 10, são fundamentais para minimizar os danos produzidos pela explosão.

Neste trabalho, demonstrou-se, por meio de um estudo de caso, a aplicação da metodologia proposta na IEEE1584/2018 e as orientações da NFPA 70E/2018 para o estudo da energia incidente e determinação do grau de proteção ATPV dos EPIs de trabalhadores de uma instalação de média tensão. O estudo de caso foi realizado no QGF de uma subestação de 500 kVA em 13,8/0,38 kV da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, localizada no município de Mossoró, RN.

No estudo, verificou-se que, na ocorrência de um defeito trifásico no QGF da instalação, será produzida uma corrente de falta de 11,44 kA, e um arco elétrico de cerca de 5,11 kA. Para essa corrente de arco, verificou-se que o tempo de extinção do defeito pela proteção é de 0,31 s e que a energia incidente na distância de trabalho é de 4,834 cal/cm², exigindo, de acordo com a NFPA 70E, vestimentas com categoria de risco ATPV grau 2. Constatou-se, ainda, que a distância segura de aproximação, ou seja, a distância da fonte do arco na qual a energia incidente é 1,2 cal/cm², é de cerca de 1,1771 m.

Com o estudo de energia incidente, pode-se demonstrar, de forma clara e objetiva, a aplicação das normas IEEE1584/2018 e NFPA 70E/2018 para correta especificação das vestimentas antichama para a proteção dos efeitos térmicos dos arcos elétricos. Por meio desse trabalho, espera-se que estudantes de engenharia elétrica ou profissionais já inseridos no mercado de trabalho possam tomar conhecimento e compreender os principais métodos e padrões de referência utilizados no estudo de energia incidente.

REFERÊNCIAS

AMPSAFE. **Arc Flash**. 2019. Página inicial. Disponível em: <http://www.ampsafe.com/services/arc-flash>. Acesso em 5 de julho de 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. 2016.

DAS, J. C. **Arc flash hazard analysis and mitigation**. John Wiley & Sons, 2012.

GAMMON, Tammy et al. **“Arc flash” hazards, incident energy, PPE ratings and thermal burn injury-A deeper look**. In: 2015 IEEE IAS Electrical Safety Workshop. IEEE, 2015. p. 1-9.

IEEE STD. IEEE 1584-2018: **IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations**. 2018.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION – NFPA. **NFPA 70E: Standard for Electrical Safety in the Workplace**. USA, 2018.

QUEIROZ, Alan Rômulo Silva; SENGER, Eduardo Cesar. **A natureza e os riscos do arco elétrico**. Revista: O setor elétrico. Edição 72, 2012.

RANDELA, Robert. **Arc flash data collection and system modelling**. EE Publishers. Technology & Business for Development. 12 de abril de 2016. Disponível em: <https://www.ee.co.za/article/arc-flash-data-collection-system-modelling.html>. Acesso em 5 de julho de 2019.

RÔMULO, Alan; SENGER, Eduardo. **A NFPA 70E e os requisitos de segurança para arco elétrico Seleção de EPIs**. Revista: O setor elétrico. Edição 74, 2012.

VEÍCULOS ELÉTRICOS E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARTIR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Data de aceite: 26/11/2019

Jardel Eugenio da Silva

PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, C.V. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9926973145008984>

Fabianna Tonin

PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, C.V. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0094472315589324>

Jair Urbanetz Junior

PPGSE, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, C.V. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2654512569280452>

RESUMO: O veículo elétrico é o futuro, e com ele surge à necessidade de suprir a demanda energética desta nova carga no sistema elétrico. Este artigo aborda as principais tecnologias empregadas nos veículos elétricos: puro, híbrido, híbrido *plug-in*, bem como as respectivas tabelas de consumo de energia kWh/100km, e também sua interação com um caso real de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR), no que concerne a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Curitiba, este possui um SFVCR de 2,1kWp, que está em operação desde dezembro de 2011. Esse sistema está instalado no Escritório Verde (EV)

da UTFPR e utiliza um inversor monofásico em 220 V de 2 kW de potência nominal, e opera de forma ininterrupta, sendo que até setembro de 2016 gerou aproximadamente 11 MWh de energia elétrica. Os dados de geração de energia elétrica do SFVCR foram correlacionados com os valores necessários para suprir a demanda energética de um veículo elétrico. Por fim, a geração fotovoltaica do EV mostrou-se como uma sustentável e eficaz forma de geração distribuída de energia elétrica no ambiente urbano, sendo capaz de atender às necessidades de carregamento das baterias de um veículo elétrico.

PALAVRAS-CHAVE: Veículo Elétrico, Energia Solar Fotovoltaica, Geração Distribuída.

ABSTRACT: The electric vehicle is the future, and with it comes the need to supply the energy demand of this new charge in the electrical system. This article discusses the main technologies used in electric vehicles: pure, hybrid, plug-in hybrid, as well as the respective tables of kWh / 100km energy consumption, as well as their interaction with a real case of a grid-connected Photovoltaic System (SFVCR), with regard to the Federal University of Paraná (UTFPR), Campus Curitiba, has a SFVCR of 2.1kWp, which has been in operation since December 2011. This system is installed in the UTFPR Green Office (EV) and uses a single-

phase inverter in 220 V of 2 kW nominal power, and operates in an uninterrupted manner, and until September 2016 generated approximately 11 MWh of electricity. The electric power generation data of the SFVCR were correlated with the values needed to supply the energy demand of an electric vehicle. Finally, the photovoltaic generation of EV proved to be a sustainable and efficient form of distributed generation of electric energy in the urban environment, being able to meet the needs of charging the batteries of an electric vehicle.

KEYWORDS: Electric Vehicle, Photovoltaic Solar Energy, Distributed Generation.

1 | INTRODUÇÃO

Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCR) configuram-se como uma alternativa sustentável de produção de energia elétrica, pois permitem a geração de energia de modo distribuído, ou seja, no próprio local onde será consumida também para o carregamento das baterias dos veículos elétricos e, permitem também, com que o excedente de energia produzido seja injetado na rede, colaborando assim com o desempenho da rede em que se encontram conectados. Além disso, esses sistemas não necessitam de novas áreas para instalação, pois estes fazem uso de espaços já existentes, como as coberturas das edificações para as quais gerarão energia [1].

Em vista disso, o objetivo desse artigo é abordar as principais tecnologias empregadas nos veículos elétricos: puro, híbrido, híbrido plug-in, bem como as respectivas tabelas de consumo de energia kWh/100 km, e também sua interação com um caso real de um SFVCR.

2 | SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA (SFVCR)

Um SFVCR é constituído basicamente pelo painel fotovoltaico, o qual converte a energia do sol em energia elétrica em corrente contínua, por um inversor, o qual converte a corrente contínua em corrente alternada e, além de disponibilizá-la para a instalação, também injeta o excedente dessa energia na rede da concessionária e, pelo medidor bidirecional, o qual contabiliza a energia injetada na rede da concessionária elétrica [2] [3]. A Fig. 1 mostra esses componentes.



Fig. 1. Painel fotovoltaico, inversor e medidor bidirecional [4]

Em dezembro de 2011, o Escritório Verde (EV) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) foi inaugurado em Curitiba. Essa edificação de 150 m² é uma proposta única no que diz respeito à sustentabilidade, visto que adotou diversas estratégias visando à máxima eficiência energética [5]. A linha mestra para prover a energia consumida na edificação é um SFVCR. Quando há incidência solar sobre o painel fotovoltaico, há geração de energia elétrica, e esta é disponibilizada diretamente na rede elétrica do próprio consumidor onde está localizado o gerador fotovoltaico. No caso da energia fotogerada ser superior à consumida, a mesma é injetada na rede elétrica da concessionária. Nos momentos de baixa ou nenhuma incidência solar, a concessionária é quem supre o consumidor. A Fig. 2 ilustra a fachada do EV da UTFPR.



Fig. 2. Vista frontal do EV da UTFPR [5]

O SFVCR do EV da UTFPR tem uma potência instalada de 2,1 kWp (10 módulos KYOCERA de tecnologia de silício policristalino, modelo KD210GX-LP ligados em série) e um inversor monofásico em 220V de 2kW de potência nominal (PVPOWERED modelo PVP2000), e entrou em operação em 14 de dezembro de 2011. A área ocupada na cobertura da edificação para esse painel é de apenas 15m².

2.1 Energia Gerada pelo SFVCR do EV da UTFPR

A análise do desempenho do SFVCR do EV da UTFPR é feita com base nos valores de energia gerada durante os quatro anos e nove meses de operação do sistema e nos valores de irradiação incidentes no painel fotovoltaico. Analisando-se o funcionamento do SFVCR do EV durante esse período, observou-se uma geração total de aproximadamente 11 MWh. A geração de energia elétrica é proporcional à irradiação incidente no painel fotovoltaico, onde nos meses de verão (maior incidência solar) há maior geração de energia elétrica e nos meses de inverno, (menor incidência solar) há menor geração. A Fig. 3 apresenta os valores de energia elétrica gerados em cada mês de operação do SFVCR do EV da UTFPR.

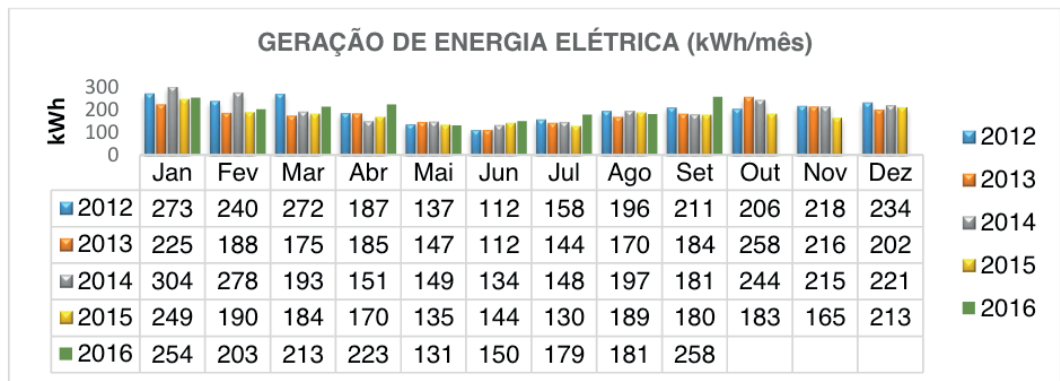


Fig. 3. Geração de Energia Elétrica (kWh/mês)

3 | CONSUMO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

No fim dos anos 1990 e início dos anos 2000, tinham-se a impressão de que a revolução no mundo automobilístico aconteceria, com a substituição dos veículos à combustão, pelo veículo elétrico. Contudo, as limitações da tecnologia de bateria eram muitas e, em virtude disso, os veículos híbridos tornaram-se uma alternativa bastante popular. Desde então, a indústria automotiva vem trabalhando no desenvolvimento dos veículos elétricos, focada na melhora contínua das tecnologias empregadas nas baterias. É interessante ressaltar que especialistas afirmam que os avanços na tecnologia das baterias Li-ion resolverão muitos dos problemas da autonomia do veículo elétrico e, dessa forma, os consumidores verão os veículos elétricos sob uma nova perspectiva. O mercado automobilístico deixa claro que a tendência para os próximos anos são os veículos elétricos, motivo pelo qual diversas montadoras já anunciaram a produção desse tipo de veículos, como por exemplo as construtoras japonesas. Atualmente, os modelos existentes têm autonomia de 60Km (Volteis X4) a 425 km (Tesla S). [6] [7].

3.1 Equivalência em litros por 100 km

A quantidade de energia elétrica consumida para percorrer uma determinada distância, expresso em kWh/100 km. Com a entrada dos carros elétricos no mercado, a Administração Nacional de Segurança do Transporte (*NHTSA - National Highway Traffic Safety Administration*) e a Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental (*EPA - Environmental Protection Agency*) implementaram uma equivalência entre o consumo de veículos térmicos, com motor de combustão interna (MCI), e elétricos.

O motor elétrico é uma máquina que transforma a potência elétrica em potência mecânica, com reduzida porcentagem de perdas. Quando o motor elétrico é ligado, ele absorve 90% quantidade de energia elétrica e a transforma em torque, ou seja, potência mecânica. Este princípio de conversão de energia em trabalho é o mesmo do motor térmico de um automóvel, chamado de motor de combustão interna (MCI), a diferença é que o MCI é alimentado por combustíveis queimáveis, nos quais utiliza-se 35% (para um litro de diesel) de sua energia para transformar em torque ou seja potência mecânica, e os outros 65% são perdidos devido à dissipação térmica, a força para girar gerador, bombas, entre outros fatores. Ao se comparar os valores em L/100 Km, dos motores elétricos com os de combustão interna, os números aparecem relativamente baixos, isso acontece devido ao bom desempenho do motor elétrico.

3.2 Preço de "full" (cheio)

Para os cálculos, foi utilizado o preço praticado pela Copel (Companhia Paranaense de Energia), tarifa convencional subgrupo B1 consumo mensal superior a 220 kWh, custo em R\$/kWh conforme descrito na tabela 1.

Convencional Tarifa em R\$/kWh B1-residencial	Resolução ANEEL nº 2.096 de 21 de junho de 2016	Com impostos ICMS e PIS/ COFINS
Consumo mensal inferior ou igual a 30 kWh (isento de ICMS)	0,14400	0,15270
Consumo mensal entre 31 kWh e 100 kWh	0,24685	0,37803
Consumo mensal entre 101 kWh e 220 kWh	0,37028	0,56705
Consumo mensal superior a 220 kWh	0,41143	0,63006

Tabela 1. Tarifa Convencional - subgrupo B1

Fonte: Adaptado de Copel [8]

3.3 Autonomia dos Veículos Elétricos

Os fabricantes são rápidos a exaltar as virtudes econômicas dos veículos

elétricos. Eles destacam o baixo preço da recarga, ou mesmo grátis, em terminais públicos (prefeituras, shopping center, etc, em alguns países). A principal armadilha do veículo elétrico no estado atual da tecnologia é a autonomia. Nesse artigo foi utilizado o valor fornecido pelo fabricante, conforme tabela 2, a qual é calculado de acordo com a norma europeia. Segundo essa norma existe uma lacuna entre o consumo real do automóvel e o anunciado pelo fabricante, devido ao fato dos fabricantes utilizarem um protocolo de medição padronizada que leva a resultados muito longe da realidade. ou seja, os valores de consumo publicados pelos fabricantes têm como objetivo constituir uma base de comparação, pois todos os modelos estão sujeitos a um método de cálculo padronizado. Na Europa, utiliza-se o ciclo NEDC (*New European Driving Cycle*), destinado a simular a condução em vários tipos de estrada [9].

Modelo	Consumo de energia em 100 km	L/100Km equivalente	Autonomia	Potência da bateria	Preço total (R\$) subgrupo B1
Mia Electric	10,0 kWh	1,02	80 km	8,0 kWh	7,58
Lumeneo Neoma	10,1 kWh	1,03	140 km	14,2 kWh	7,68
Renault Zoé	10,5 kWh	1,07	210 km	22,0 kWh	7,96
Citroën C-Zéro	10,7 kWh	1,08	150 km	16,0 kWh	8,11
Renault Fluence Z.E	11,9 kWh	1,21	185 km	22,0 kWh	9,02
Bolloré Bluecar	12,0 kWh	1,22	250 km	30,0 kWh	9,09
Smart Fortwo E.D.	12,1 kWh	1,23	145 km	17,6 kWh	9,17
Renault Kangoo Z.E.	12,9 kWh	1,31	170 km	20,0 kWh	9,77
Nissan Leaf	13,7 kWh	1,39	175 km	24,0 kWh	10,38
Ford Focus EV	14,3 kWh	1,42	160 km	23,0 kWh	10,89
FAM F-City	14,4 kWh	1,46	100 km	14,4 kWh	10,91
Tesla Roadster	15,1 kWh	1,55	350 km	53,0 kWh	11,44
Tesla S	19,9 kWh	2,03	426 km	85,0 kWh	15,08
Renault Twizy 45	5,1 kWh	0,52	120 km	6,1 kWh	3,85
Mega City	9,0 kWh	0,91	100 km	9,0 kWh	6,82
Little 4	11,0 kWh	1,12	100 km	11,0 kWh	8,33
Volteis X4	19,1 kWh	1,94	60 km	14,5 kWh	14,47

Tabela 2. Consumo dos veículos elétricos

Fonte: Adaptado de Par Nicolas Meunier [7]

3.4 Híbridos *plug-in*

O termo *plug-in* do veículo elétrico (PEV), inclui veículos concebidos para serem conectados na rede elétrica. Com o aparecimento dos primeiros PHEVs (carros híbridos recarregáveis), os quais podem ser abastecidos tanto com combustíveis térmicos, como energia elétrica, ou mesmo com ambos, revelam valores de consumo de combustível de 1,42 L/100 km (ou 27 g/km de CO₂), como é o caso do Chevrolet Volt. Esses veículos são capazes de realizar uma grande parte do NEDC, ou mesmo completarem o ciclo, com a bateria carregada no modo elétrico. E, dessa forma, não queimam nenhuma gota de combustível. O padrão europeu, portanto, adaptado através da imposição de instrução do consumo em modo de calor no ciclo NEDC ponderada pelo intervalo de elétrica, ou seja, quando utilizar no modo somente elétrico, não mostra o real consumo em pequenas distâncias. Os números de consumo para os híbridos *plug-in* são apenas uma indicação vaga da realidade. Portanto, é impossível dar um único valor de consumo, se usar apenas como combustível a energia das baterias, serão consideradas nula. Por outro lado, em uma longa viagem, o consumo final ficará mais próximo da realidade, pois ao descarregar as baterias passará a queimar combustível (modo térmico).

Para o consumo real de um híbrido *plug-in*, é necessário saber dois parâmetros:

- sua autonomia no modo elétrico;
- seu consumo no modo térmico.

Nas viagens que exigem o uso do motor térmico, deve-se multiplicar o consumo de calor pela proporção da jornada percorrida no modo de calor. Se a escala elétrica geralmente é anunciada pelo fabricante (é um argumento comercial inegável), não é o mesmo para a térmica de consumo real, necessariamente muito maior do que os dados "legais". No entanto, é possível deduzir a partir dos dados na planilha, usando o volume total do tanque de combustível e sua autonomia.

A Chevrolet anuncia uma autonomia de 550 quilômetros, para o modelo Chevrolet Volt, com tanque de combustível cheio, incluindo a faixa de 60 km no modo elétrico. Isto significa, portanto, que com o tanque cheio é possível percorrer 490 km, ou em média, 7,2 L/100 km, tendo em conta o volume do tanque de combustível que é de 35,3 litros. Um valor maior do que o oficial apresentado na tabela 3 de 1,42 L/100 km. Este exemplo revela que o cliente deve verificar se um veículo *plug-in* irá suprir às suas necessidades, pois no caso do Volt, indica-se a utilização desse modelo, para motoristas que percorram em torno de 60 km por dia.

Modelo	Consumo de energia em 100 km	L/100Km equivalente	Autonomia	Potência da bateria (kWh)	Preço total (R\$) subgrupo B1
Toyota Prius plug-in	12,32 kWh	1,25	25 km	4,44	7,76
Chevrolet Volt	14,00kWh	1,42	80 km	16,00	8,82
Fisker Karma	21,40 kWh	2,17	80 km	21,10	13,48

Tabela 3. Consumo dos veículos híbridos *plug-in*

Fonte: Adaptado de Par Nicolas Meunier [7]

4 | GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SFVCR PARA O VEÍCULO ELÉTRICO

De acordo com os dados de geração de energia elétrica do EV apresentados na Fig. 3, calcula-se que em média, o sistema produz 200 kWh/mês, o que corresponde a aproximadamente 6,6 kWh/dia. Em posse desse valor e das características de cada veículo elétrico, citado na tabela 2, determina-se a quantidade de quilômetros que cada veículo poderia rodar mensalmente e diariamente para poder ser carregado exclusivamente pela energia elétrica proveniente do SFVCR instalado no EV da UTFPR.

Segundo dados informados pela fabricante Renault, o veículo elétrico Renault Fluence Z.E, percorre uma distância média de 60 km/dia e, o carregamento completo da bateria desse veículo leva em torno de 10 horas, em uma tomada do tipo E/F. A tabela 4 revela características desse veículo [7].

Modelo	Renault Fluence Z.E
Consumo de energia em 60 km (E)	7,14 kWh
L/100Km equivalente	1,21
Autonomia	185 km
Potência da bateria	22 kWh

Tabela 4. Especificação do veículo

Fonte: Adaptado de Par Nicolas Meunier [7]

A tabela 5 mostra os valores de quilômetros diários e mensais que cada veículo elétrico poderia percorrer para ser carregado unicamente pela energia elétrica pelo SFVCR de 2,1kWp do EV da UTFPR.

Modelo	Consumo de energia em 100 km	Km/dia	Km/Mês
Mia Electric	10,0 kWh	66,00	2.000,00
Lumeneo Neoma	10,1 kWh	65,34	1.980,19
Renault Zoé	10,5 kWh	62,86	1.904,76
Citroën C-Zéro	10,7 kWh	61,69	1.869,16
Renault Fluence Z.E	11,9 kWh	55,47	1.680,67
Bolloré Bluecar	12,0 kWh	55,00	1.666,67
Smart Fortwo E.D.	12,1 kWh	54,55	1.652,90
Renault Kangoo Z.E.	12,9 kWh	51,16	1.550,39
Nissan Leaf	13,7 kWh	48,18	1.459,85
Ford Focus EV	14,3 kWh	46,15	1.398,60
FAM F-City	14,4 kWh	45,83	1.388, 89
Tesla Roadster	15,1 kWh	43,71	1.324,50
Tesla S	19,9 kWh	33,16	1.005,03
Renault Twizy 45	5,1 kWh	129,41	3.921,57
Mega City	9,0 kWh	73,30	2.222,22
Little 4	11,0 kWh	60,00	1.818,18
Volteis X4	19,1 kWh	34,55	1.047,12

Tabela 5. Cálculo da energia elétrica necessária para carregar os veículos elétricos

Fonte: Dados do Autor

O veículo Renault Twizy, devido ao seu baixo consumo de energia em 100 km, permitiria com que o veículo percorresse 129,41 km por dia com a energia gerada pelo SFCVR de 2,1kWp do EV da UTFPR, porém, a autonomia desse veículo é de 120 km. O valor da autonomia refere-se à quantidade de quilômetros que o veículo pode percorrer sem a necessidade de recarga da bateria. Já por sua vez, o veículo elétrico Volteis X4 permitiria que o condutor percorresse apenas 34,55 km diariamente com a energia produzida pelo mesmo SFVCR. De modo geral, para percursos diários de 60 km, os veículos elétricos seriam carregados exclusivamente pela energia elétrica gerada pelo painel fotovoltaico instalado no telhado do EV. Além disso, é importante ressaltar que após diversas pesquisas as fabricantes chegaram a conclusão que 60 km por dia é, em média, a distância percorrida pelos condutores para cumprirem as respectivas atividades cotidianas, segundo *European Commission; Joint Research Centre; Institute for Prospective Technological Studies*, essa média varia de 40 km (Reino Unido) para uma média de 80 km (Polónia). Sendo assim, o SFCVR instalado no EV configura-se como uma forma sustentável e eficaz de geração distribuída de energia elétrica no ambiente urbano, sendo capaz de atender às necessidades de carregamento das baterias dos diversos veículos elétricos disponíveis no mercado

[12].

5 | CONCLUSÕES

É indiscutível que o veículo elétrico se mostra cada dia mais como uma solução para os diversos problemas de poluição produzidos pelos veículos à combustão. Porém, uma das grandes questões para aplicação em centros urbanos desse meio de transporte é como suprir a demanda energética dessa nova carga no sistema elétrico. Em vista disso, esse artigo correlacionou os dados de geração de energia elétrica de um SFVCR de 2,1kWp em operação ininterrupta desde 2012 instalado sobre a edificação do Escritório Verde, em Curitiba com os valores necessários para suprir a demanda energética diária, que é em média de 60 km/dia, de diversos modelos de veículos elétricos que estão disponíveis no mercado. Com o valor diário médio de geração de energia elétrica pelo SFVCR de 6,6 kWp, percebeu-se que é possível que a energia elétrica gerada a partir do painel fotovoltaico supra a demanda de carregamento da bateria do veículo elétrico para percursos médios diários de 60 km. Além disso, é importante frisar que o painel fotovoltaico não ocupa nenhuma área extra à edificação, visto que ele está instalado no telhado do prédio, ocupando uma área de 15 m² e dessa forma, configurando-se como uma forma promissora de geração de energia elétrica em centros urbanos. Por fim, a geração fotovoltaica do EV da UTFPR mostrou-se como uma forma sustentável, limpa e eficaz de geração distribuída de energia elétrica no ambiente urbano, sendo capaz de atender às necessidades de carregamento das baterias dos veículos elétricos.

REFERÊNCIAS

S. Rebechi. **O potencial da geração solar fotovoltaica conectada ao sistema de distribuição urbano**: estudo de caso para um alimentador com pico de carga diurno. Florianópolis, 2008.

J. Urbanetz Junior. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas**: sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. 2010. 189 p. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis – SC, 2010.

Ministério de Minas e Energia. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisas Energéticas, 2012.

Gerasol. Sistemas Conectados à rede. Disponível em: <http://www.gerasolbr.com.br/energia-solar.html>, 2016.

Escritório Verde. Disponível em: <http://www.escriptorioverdeonline.com.br>, 2016

J. Martins, F. Brito. **Carros Elétricos**. Portugal, Porto, 2011.

N. Meunier ***La vérité sur la consommation des voitures électriques***. Disponível em: <http://automobile.challenges.fr/dossiers/20120807.LQA3178/la-verite-sur-la-consommation-des-voitures-electriques.html>, 2012.

Copel. **Tarifa Convencional - subgrupo B1**. Disponível em: <http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2F5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e%2Fc28b22b01ad9182403257488005939bb>, 2016.

R. Souza. **Como aferir testes reais de condução**. Disponível em: <http://fleetmagazine.pt/2015/12/16/como-aferir-testes-reais-de-conducao>, 2016.

P. Ridden. ***Mia's plug-in electric delivery van puts driver front and center***. Disponível em: <http://www.gizmag.com/mia-electric-delivery-van/21577/>, 2012.

Totally Electric Cars. Renault Fluence Z.E. Disponível em : <http://www.totallyelectriccars.com/renault-fluence-ze/>, 2014.

Driving and parking patterns of European car drivers a mobility survey. Disponível em : https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf

ANÁLISE DA CURVA E FATOR DE CARGA COM E SEM PRESENÇA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Data de aceite: 26/11/2019

Murilo Miceno Frigo

Instituto Federal do Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, Brasil, murilo.frigo@ifms.edu.br

Roberto Pereira de Paiva e Silva Filho

Instituto Federal do Maranhão, Imperatriz, Brasil, roberto.filho@ifma.edu.br

RESUMO: Do ponto de vista da gestão energética, tanto para o consumidor, como para a concessionária, é essencial que ambos conheçam o comportamento do seu perfil de consumo e demanda. Dessa forma é sempre necessário que se façam análises da evolução do comportamento da carga, pois é através dos comportamentos de consumo que as estratégias de gestão são traçadas. No Brasil a Resolução ANEEL 482/12 de 17 de abril de 2012, estabeleceu padrões para a microgeração de energia, a microgeração de energia elétrica é definida como pequenas unidades geradoras diretamente ligadas aos sistemas de distribuição, ou seja, a carga, e são fundamentadas em fontes renováveis de energia. No entanto, a injeção desta microgeração na rede de distribuição tem instigado a curiosidade sobre o novo perfil dos sistemas de distribuição de energia elétrica. A maior preocupação está relacionada ao horário da geração de energia em sistemas fotovoltaicos

ocorrer em horário distinto do pico de consumo do sistema, diversos trabalhos estão sendo realizados com a finalidade de contribuir para o planejamento, controle e operação de redes de distribuição na presença da microgeração elétrica. Neste trabalho, foram realizadas medições que proporcionaram traçar a curva de carga do bloco J da Universidade Federal do Tocantins, Campus Palmas. Foi estabelecido um perfil de geração fotovoltaica distribuído pela rede de baixa tensão e avaliou-se a curva de carga com e sem microgeração fotovoltaica com objetivo de estudo da sua influência sobre as demandas médias e máximas para realizar uma análise sobre o que ocorre com a curva e o fator de carga do alimentador, dessa forma é possível estabelecer novas estratégias que contemplem a eficiência global do sistema elétrico bem como a incorporação de fontes renováveis à matriz energética. Foi possível concluir que a microgeração fotovoltaica, apesar de ser viável, gera energia fora do horário da ponta de consumo da edificação. Analisando-se as demandas médias e máximas percebe-se um aumento da discrepância entre demanda média e demanda máxima, deste modo, o fator de carga apresentou uma leve piora. Esses indicadores são importantes para que possa ser traçado um modelo de gestão energética para o prédio, como, por exemplo, priorizar a utilização das instalações durante o período de

pico de geração, redistribuir a ocupação do prédio, por consequência a demanda de energia para fora do período de ponta entre outros.

PALAVRAS-CHAVE: fator de carga, microgeração, rede de distribuição, sistemas fotovoltaicos

1 | INTRODUÇÃO

A microgeração de energia no Brasil ainda é pouco discutida e incentivada. Desta maneira, o presente trabalho busca contribuir com o conhecimento técnico e discussões da viabilidade da implantação deste sistema.

Para que a gestão energética seja viável, tanto para o consumidor como para a concessionária, é essencial que ambos conheçam o comportamento do seu perfil de consumo e demanda. Dessa forma é sempre necessário que se façam análises da evolução do comportamento do consumidor, pois é através dos comportamentos de consumo que as estratégias de gestão são traçadas.

No Brasil a Resolução ANEEL 482/12 de 17 de abril de 2012, estabeleceu padrões para a microgeração de energia, oportunizando que até residências possam produzir energia e alimentar o sistema, regras que sustentam e estimulam a micro e minigeração, instaurando um prazo de 240 dias para que as distribuidoras se igualem ao novo método (ANEEL, 2012).

2 | CURVA DE CARGA E FATOR DE CARGA

É fundamental conhecer o consumo horário de energia para o estudo detalhado de um sistema elétrico, dessa forma, é necessária uma observação particular da curva de carga dos consumidores durante uma auditoria energética.

A curva de carga é definida como a curva que constitui a demanda em função do tempo $D(t)$ em um período T estabelecido, na Figura 1 abaixo pode observa-se uma curva de carga, assim como a denominação de demandas máxima DM e média Dm . (SOUZA, 2010).

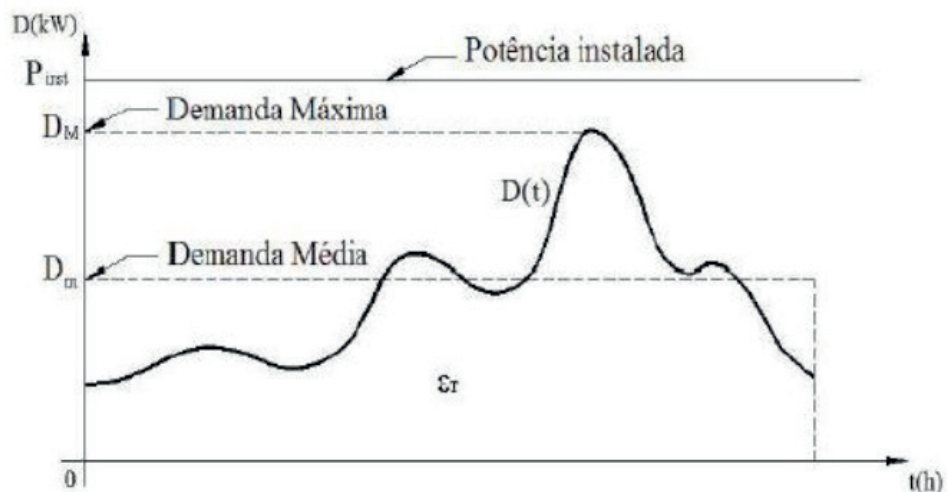


Figura 1: Curva de carga das demandas
(Fonte: COTRIN, 2003 apud SOUZA et al, 2010).

O Fator de Carga (FC) é um índice importante que representa a forma como a energia está sendo utilizada. De acordo com a resolução a normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, o fator de carga é obtido através da razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo especificado (ANEEL, 2010).

$$FC = \frac{\text{Demanda Média}}{\text{Demanda Máxima}}$$

Há grandes variações de demanda ao decorrer do dia. Geralmente, o horário do menor consumo é no período da madrugada e o de maior consumo começa às 18 horas (horário de pico). Cada consumidor possui uma característica própria de consumo.

O presente trabalho visa à análise da curva de carga e do fator de carga (FC) do bloco J da Universidade Federal do Tocantins. Foram realizadas medições para obter as demandas, média e máxima, também foi realizado um estudo para saber como ficariam estas demandas com e sem a microgeração, estes estudos foram explicitados em forma de gráficos que serão mostrados a seguir.

A curva de carga do bloco J foi levantada utilizando um analisador de energia trifásico e a potência ativa drenada da rede sem a microgeração é mostrada na Gráfico 1 abaixo.



Gráfico 1: Curva de carga da potência da ativa sem a microgeração.

Pode-se perceber através da curva que no período da madrugada não consumo algum de potência, começando às 6 horas da manhã um consumo moderado. De acordo com a curva da Potência Ativa consumida, percebe-se um aumento entre 8 horas e 12 horas que é o período em que as aulas da parte da manhã ocorrem. Estes valores mantêm-se equiparados na parte da manhã e na parte da tarde, pois o uso das salas de aulas é aproximadamente o mesmo nestes períodos. Após as 18 horas há um aumento significativo nesta curva, pois na parte da noite todas as salas estão em funcionamento pleno e há o uso da iluminação externa, diferentemente da manhã e da tarde que apenas parte das salas são ocupadas e somente a iluminação interna está acionada. Chegando ao pico máximo as 19 horas e 30 minutos onde o consumo de potência é máximo. A partir das 21 horas e 30 minutos a curva já está nível moderado, pois é o período em que começa-se a encerrar as atividades noturnas na Universidade.

3 | CURVA TÍPICA DA INJEÇÃO FOTOVOLTAICA

A microgeração foi simulada de forma a fornecer um pico máximo de 10 kW, obedecendo a sua curva típica de geração ao longo de um dia conforme Gráfico 2 abaixo.

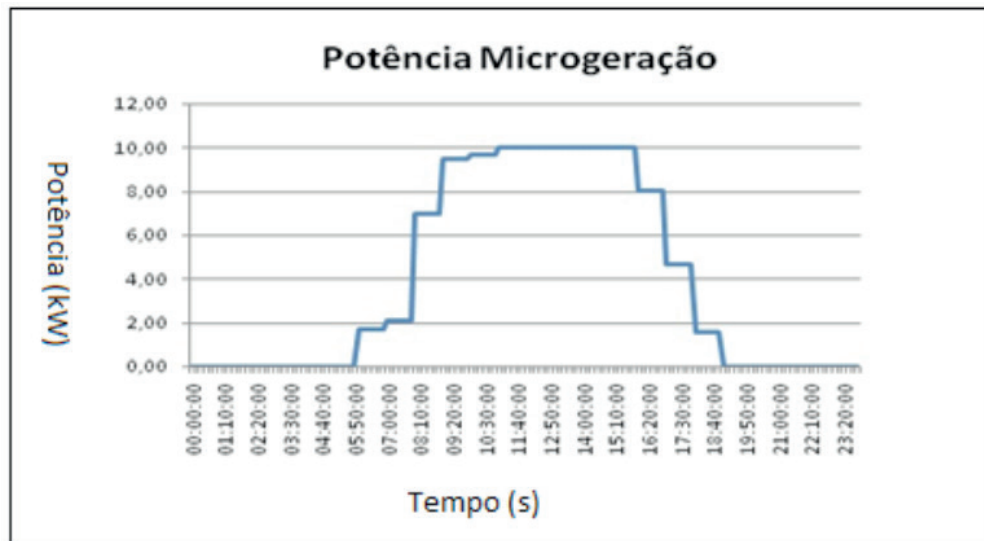


Gráfico 2: Curva da potência da microgeração.

Pode-se perceber que a geração inicia às 6 horas da manhã que é quando o Sol nasce no Tocantins. De acordo com a curva da microgeração, percebe-se um aumento significativo a partir das 8 horas da manhã, chegando a gerar até 7kW entre 8 e 9 horas da manhã. Após este período há um pequeno crescimento entre 9 horas e 11 horas. Após as 11 horas da manhã tem-se o pico máximo de geração de potência que é quando a radiação solar está no ápice. Este pico máximo é de 10kW, optou-se limitar a geração tanto inversores quanto arranjo de placas solares em 10 kW, e se mantém constante até aproximadamente 16 horas. Após as 16 horas a potência começa a cair chegando a níveis baixíssimos até as 18 horas e 30 minutos e a partir das 19 horas volta ao ponto inicial que é o período onde não há a microgeração, pois já não há presença solar.

4 | ANÁLISE DOS CENÁRIOS.

Com a instalação de um sistema fotovoltaico com 10 kW pico no Bloco J sua curva de carga apresentada na Figura 2 sofre alterações significativas, além de suprir parcialmente ou totalmente a carga durante o período de disponibilidade da energia solar, o bloco “injeta” potencia da na rede quando a energia gerada é maior que a energia consumida. Dessa forma para melhor representar o novo comportamento do prédio são apresentadas as curvas da Figura 4 e Figura 5, sendo a energia líquida injetada na rede pela microgeração e a “nova” curva de carga do Bloco J, ou seja, a energia drenada da rede.

A Gráfico 3 abaixo ilustra a Potência que é entregue a rede.

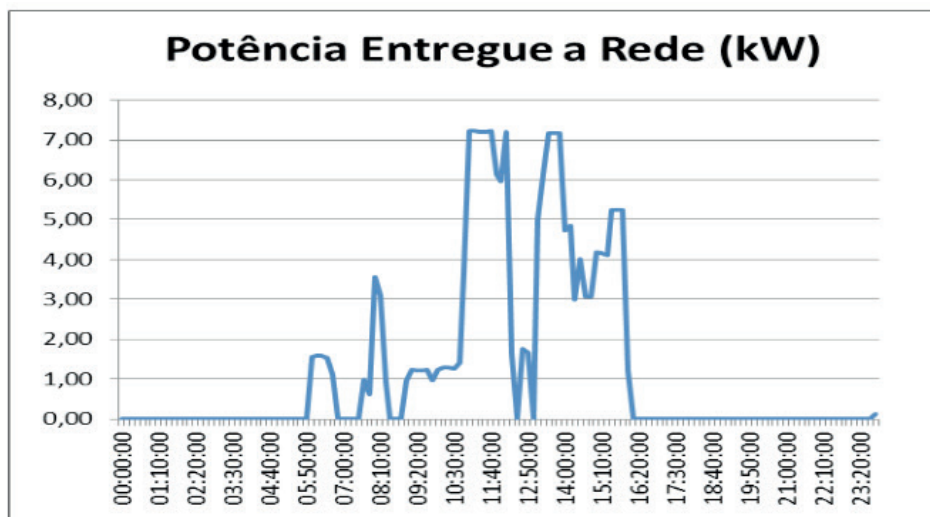


Gráfico 3: Curva da potência que é entregue a rede em kW.

Este gráfico indica a Potência extra que foi gerada e não foi consumida pela carga.

No período entre 7 horas e 8 horas da manhã a potência de consumo é maior do que a potência gerada, pois é neste período em que os ares condicionados das salas serão ligados e a radiação solar ainda é pouco intensa. A partir de 9 horas da manhã os aparelhos ar condicionado já estão estabilizados e a intensidade da radiação solar começa a aumentar dessa forma surge um excedente de energia elétrica.

O período entre 11 horas da manhã e 16 horas é o período de pico da potência de geração atingindo seu nível máximo que é de 10kW. Percebe-se que entre 13 horas e 16 horas o índice da potência extra gerada permanece alto.

A partir das 16 horas quando a intensidade da radiação solar começa a diminuir, porém os aparelhos de ar condicionado estão ligados e a partir das 16 horas e 20 minutos não há mais potência extra sendo gerada, ou seja, toda a potência que é gerada é consumida.

A Gráfico 4 a seguir mostra a Potência Drenada da Rede.



Gráfico 4: Curva da potência drenada da rede em kW.

A partir das 7 horas da manhã quando as atividades iniciam na Universidade e a intensidade da radiação solar ainda é muito fraca, há um maior consumo de potência do que geração da mesma, percebe-se um aumento do índice analisado entre 7 e 8 horas da manhã e entre 8 e 9 horas da manhã.

No período durante a manhã e até o meio da tarde, entre 9 horas e 16 horas, nota-se que o índice analisado permanece nulo, isso ocorre devido à intensa radiação solar durante este período.

No período após as 16 horas a potência que é consumida é sempre maior do que a que é gerada. Nota-se pela curva do gráfico que a partir das 16 horas e 20 minutos o índice aumenta cada vez mais, chegando ao pico próximo às 19 horas, onde o consumo é máximo e não há geração alguma de potência, intensidade de radiação solar é nula.

5 | ANÁLISES DOS RESULTADOS

Como foi citado anteriormente, o fator de carga se dá pela razão entre a demanda média e a demanda máxima, trata-se de uma medida adimensional, e quanto mais próximo do valor 1, há uma melhor utilização da energia elétrica.

Analisando-se a tabela acima nota-se que o FC está longe do valor desejado, conclui-se que a demanda máxima é muito maior que a demanda média. Isto se dá pelo uso inconstante do bloco, usa-se um curto período a plena carga e vários períodos com uso moderado. Isto faz com que haja uma discrepância de valores, a demanda média cai muito, e a máxima é alta.

Com a microgeração ao invés de melhorar este índice, há uma piora no mesmo. A demanda máxima continua a mesma, porém, a demanda média que já era baixa diminui ainda mais. Isto se dá ao fato da demanda máxima está no período noturno, onde não há geração.

A Gráfico 5 abaixo caracteriza os valores das demandas médias máximas e fatores de carga sem e com a microgeração.

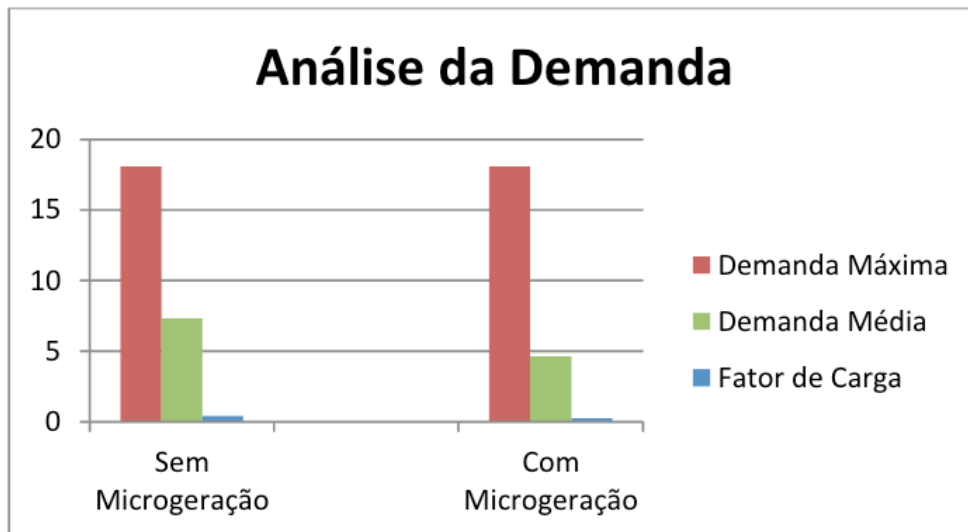


Gráfico 5: Análise das demandas médias e máximas e fator de carga, sem e com microgeração.

Com a microgeração ao invés de melhorar este índice, há uma piora no mesmo. A demanda máxima continua a mesma, porém, a demanda média que já era baixa diminui ainda mais. Isto se dá ao fato da demanda máxima está no período noturno, onde não há geração.

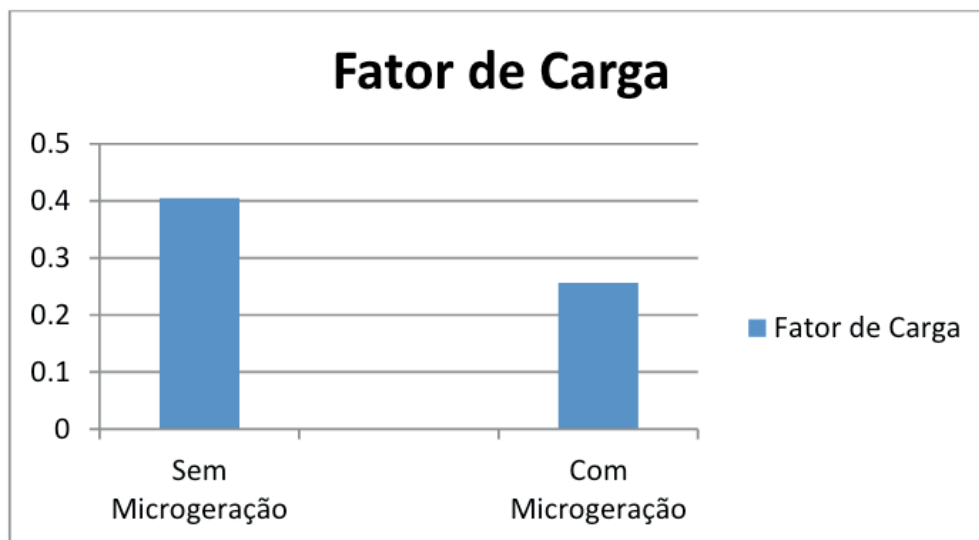


Gráfico 6: Análise do fator de carga sem e com a microgeração.

Nota-se que o perfil do fator de carga que já era baixo, na ordem de 0,4 passou a ser de 0,25 com a presença da microgeração.

6 | CONCLUSÕES

Para se traçar estratégias de gestão energética é de extrema importância conhecer o perfil de carga da instalação elétrica. Com o avanço da instalação de sistemas de microgeração há uma tendência de alterações nos perfis já consolidados.

Algumas preocupações surgem com essa nova característica de consumidor. A maior preocupação está relacionada ao horário da geração de energia em sistemas fotovoltaicos ocorrer em horário distinto do pico de consumo do sistema. Como está prevista a possibilidade de se injetar a energia excedente dos microgeradores na rede elétrica este problema pode vir a ser solucionado no futuro.

Em relação ao fator de carga percebe-se que os efeitos da microgeração causam uma leve piora neste índice. Esta piora pode ser minimizada diminuindo-se a demanda máxima que é no período noturno. Isto pode ser feito realocando alunos do período noturno para outros blocos, ou realizando atividades que demandam alto consumo para o período vespertino.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Direitos e Deveres do Consumidor de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 414, Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/folder_perguntas%20e%20respostas_414_final.pdf Acesso em: 12 de janeiro de 2014

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília seção 1, p. 53, v. 149, n. 76, 19 de abril de 2012, retificado no D.O. de 08.05.2012 e 19.09.2012. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01 de janeiro de 2013.

SOUZA, A, N,; COSTA JUNIOR, P, da; ZAGO, R, de O, M, G,; PAPA, J, P,; GASTALDELLO, D, S, Algoritmos para estimar curvas de cargas a partir de padrões de hábitos de consumo, Dincon'10, 9º Brazilian Conference on Dynamics, Control and their Applications, 2010,

ANÁLISE DE VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DE LASER SCANNER TERRESTRE EM MINERAÇÃO DE CALCÁRIO

Data de aceite: 26/11/2019

Caio Cesar Vivian Guedes Oliveira

Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral
Caçapava do Sul – RS

Luis Eduardo de Souza

Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral
Caçapava do Sul – RS

Luciana Arnt Abichequer

Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Mineral
Caçapava do Sul – RS

RESUMO: Muitos avanços tecnológicos em equipamentos e processos vêm ocorrendo atualmente, mas suas aplicações acabam sendo consideradas inviáveis financeiramente, pelo investimento necessário ou por falta de mão-de-obra capacitada, apesar das vantagens a médio e longo prazo que as empresas poderiam conseguir com sua implementação. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar o uso do *scanner a laser* terrestre, juntamente com suas ferramentas computacionais para interpretação de dados, em ambiente de mineração, analisando praças, taludes e o fator de diluição em bancadas. O estudo foi realizado em mineração de calcário, no município de

Caçapava do Sul. Verificou-se e analisou-se a aplicabilidade do *Scanner a Laser* em praças e taludes em bancadas de trabalho, nos avanços de lavra em mineração de calcário, utilizando-se de coleta de dados, estudo bibliográfico e caracterização dos procedimentos realizados. O uso do equipamento em mineração de calcário possibilitou a obtenção de dados e informações da mina de forma rápida e segura, sendo capaz de alcançar lugares inacessíveis, instáveis e de risco, extraíndo uma alta densidade de pontos que, após o processamento, proporciona ferramentas de análise e tomada de decisão em relação à situação atual e futura da área.

PALAVRAS-CHAVE: mineração de calcário, *scanner a laser* terrestre, diluição, geometria de bancada, modelo tridimensional.

FEASABILITY ANALYSIS OF GROUND LASER SCANNER APPLICATION IN LIMESTONE MINING

ABSTRACT: Many technological advances in equipment and processes are currently occurring, but their applications are considered financially unviable due to the necessary investment or lack of skilled labor, despite the medium and long term advantages that companies could achieve with their implementation. Thus, the present work aimed to analyze the use of ground laser scanner, and its computational tools for data

interpretation, in a mining environment, analyzing working benches elements (height, width, and slopes) and the dilution factor. The equipment made possible to obtain data and information from the mine quickly and safely, being able to reach inaccessible, unstable and risky places, in an extremely narrow point spacing, allowing to analyze the current and future situation of the area.

KEYWORDS: limestone mining, ground laser scanner, dilution, bench geometry, 3D model.

1 | INTRODUÇÃO

Enquanto o desenvolvimento tecnológico tanto de equipamentos quanto de processos avança muito rapidamente, a indústria de mineração como um todo, mas de maneira especial as operações de pequeno e médio porte, não parece conseguir acompanhar esse crescimento, no sentido de aplicar estas tecnologias para otimização do ciclo produtivo ou redução dos custos operacionais. Muitos avanços tecnológicos ocorrem, mas sua aplicação acaba sendo considerada inviável financeiramente, pelo investimento necessário ou por falta de mão-de-obra capacitada, apesar das vantagens a médio e longo prazo que as empresas poderiam conseguir com sua implementação (VAN DER MERWE; ANDERSEN, 2012).

A utilização de instrumentos topográficos é considerada como método antigo de levantamentos de distâncias e direções. A técnica utilizada atualmente com medidores eletrônicos de distâncias e direções tornou-se mais eficiente, utilizando-se das estações totais. Com a melhora dos medidores a laser tornou-se possível a realização de medidas de distâncias sem a necessidade de refletores, o que permitiu a determinação remota de coordenadas, sem tocar o objeto. Com isso, a evolução da tecnologia aplicada a estes equipamentos, desenvolveu a medição programada de pontos, sem a necessidade de um operador e sem expor pessoal a zonas com risco de ruptura ou caimento (TOMMASELLI, 2003).

O *scanner a laser* terrestre é um aperfeiçoamento desses equipamentos, que recentemente tornou-se utilizado em levantamento de minas. Porém sua utilização é ampla e pode abranger diversos setores em diferentes indústrias.

Segundo Gerry (2016), o uso do *scanner a laser* vai depender de como é a área que se deseja obter resultado, classificando o uso de diferentes equipamentos para diferentes áreas, sugerindo o uso de drones para pequenas áreas e centros urbanos, para grandes áreas em locais remotos o uso do levantamento por *PhotoSat*, e para levantamentos de solo em áreas abertas e com regiões de cobertura o uso do *scanner a laser* com tecnologias LIDAR (*Light Detection and Ranging*), assim como em ambiente de mineração.

Atualmente, as empresas buscam manter o máximo controle de suas

operações. Logo sabe-se que, quanto melhor é o controle e o domínio sobre as atividades desenvolvidas na empresa, menores serão os riscos e erros associados ao controle das operações. Conseqüentemente, esses erros podem levar a resultados indesejáveis e ao não aproveitamento dos recursos minerais existentes. A variabilidade geológica é um dos parâmetros que devemos ter o máximo de domínio possível sobre seu comportamento, pois está diretamente relacionada com a lavra do minério. Essa variabilidade geológica afeta diretamente a diluição do material de interesse, portanto ela deve ser considerada no planejamento dos avanços de lavra do minério.

Segundo Diakite (1999) a diluição de minério é a adição de rocha residual, material não minério e o material que está abaixo do teor de corte para o minério durante o processo de mineração. Em outras palavras, a diluição é definida como o material de baixo teor que entra em um fluxo de minério, reduzindo seu valor.

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar o uso do *Scanner a Laser Terrestre 3D*, juntamente com suas ferramentas computacionais para interpretação de dados, em ambiente de mineração, analisando praças, taludes e a diluição do material nas bancadas de avanços de lavra em mineração de calcário.

1.1 Localização e contexto geológico

O estudo foi realizado em mineração de calcário, localizada na região das caieiras, no município de Caçapava do Sul, que está localizado na chamada Zona da Campanha do estado do Rio Grande do Sul, distante aproximadamente 262 km da capital do estado, Porto Alegre.

A área de estudo está inserida na Suíte Granítica Caçapava do Sul (SGCS), localizada no Escudo Sul-Riograndense. A Suíte Granítica Caçapava do Sul, com idade aproximada de 540 milhões de anos, é constituída principalmente por sienogranito, contornando e intrudindo monzogranito a allanita granodiorito, médio a fino, dominante na porção central, com foliação protomilonítica ao longo das bordas do corpo granítico. A SGCS possui uma forma de corpo elíptico com o eixo maior orientado na direção N-S. Esta compreende dois corpos graníticos intrusivos no Complexo Metamórfico Vacacaí, sendo que este complexo forma um cinturão metamórfico no entorno da SGCS (PORCHER *et al.*, 2000).

1.2 Uso do laser scanner 3D

Nos últimos anos houve uma crescente utilização do *scanner a laser* terrestre em diversas áreas, sendo utilizado principalmente na documentação gráfica e métrica de objetos variados. O uso dessa técnica de monitoramento é consideravelmente aceito pelas empresas, pois utiliza-se de maneiras não invasivas e não destrutivas,

assim não necessitando de contato direto com o material. O *scanner a laser* terrestre é considerado um equipamento de sensoriamento remoto, pois consegue captar uma grande quantidade de dados com alta taxa de aquisição de uma superfície observada e, de certa forma, com grande precisão (BELLIAN *et al.*, 2005).

1.3 Aplicação do scanner a laser terrestre 3D na mineração

A tecnologia LIDAR presente no *scanner a laser* terrestre vem sendo utilizada desde 1995 para realização de trabalhos na área de estratigrafia de maneira qualitativa e quantitativa, os trabalhos de Kerans and Tinker (1997) e Read *et al.* (1995) são exemplos de aplicação dessa tecnologia.

Segundo Rocha (2002), o levantamento topográfico em mineração com o uso do *Scanner a Laser Terrestre 3D* possui vantagens em relação a outros sistemas de medidas topográficas, pois possibilita um maior rendimento, maior velocidade, precisão e segurança, visto que permite capturar informações topográficas em lugares inacessíveis como tetos e galerias irregulares de minas. Ele também menciona outras aplicabilidades do equipamento em ambiente de mineração, que estão descritos logo abaixo:

- auxilia no controle do ângulo de talude;
- permite a cubagem de pilhas pulmão e depósitos de estéreis;
- facilita o levantamento de estruturas geológicas como falhas e dobras;
- realiza monitoramento de cavidades, erosões e deslizamentos;
- possibilita o levantamento de volumes de caçambas e conchas dos equipamentos.

Muitas empresas de mineração estão descobrindo que os *scanners a laser* terrestres fornecem um método de levantamento e monitoramento de minas que podem ajudar a aumentar a produtividade e melhorar a competitividade no mercado. Conforti (2017) utilizou dois tipos de *scanners a laser* terrestres na mineração: um *scanner a laser* estático e um móvel, para comparar resultados de testes de campo em diferentes aplicações na mineração, incluindo estimativas de volumes, com o objetivo de obter o nível mais alto de precisão e a melhor cobertura de áreas inacessíveis. Ele utilizou-se de nuvens de pontos geradas e do georreferenciamento desses pontos, assim como, mapas de declives e mapas de superfícies de deslocamentos em seus resultados e discussões.

1.4 Diluição

Diluição refere-se ao material residual (estéril) que não é separado do minério durante a operação e é extraído com minério. Este estéril é misturado com o minério

e enviado para a planta de processamento. A diluição aumenta a tonelagem de minério enquanto diminui seu teor. A diluição pode ser definida como a razão entre a tonelagem de estéril enviados para a usina de beneficiamento e a tonelagem total de minérios e estéril combinados que são beneficiados (JARA *et al.*, 2006; SINCLAIR, 2002).

Esse entendimento, mencionado no parágrafo anterior, pode ser aplicado na cava a céu aberto, em material *in situ*, ou seja, a diluição de uma bancada lavrada é igual a razão entre as intrusões presentes na bancada (estéril) e a tonelagem total de material desmontado naquele avanço de lavra. Geralmente, a diluição (d_i) é expressa em formato percentual, como mostrado na equação a seguir:

$$d_i = \left(\frac{\text{volume de estéril}}{\text{volume total (minério + estéril)}} \right) \times 100$$

Por exemplo, se 15 toneladas de estéril (ou minério abaixo do teor de corte) forem mineradas com 85 toneladas de minério, ao todo teremos 100 toneladas enviadas para o beneficiamento, a diluição resultará em 15,0%. De acordo com essa definição, d_i por cento da diluição (no caso os 15%) em uma mina, sugere que d_i por cento da razão não é economicamente rentável para ser processada. Este montante d_i não deve ser enviado para o beneficiamento e ações adequadas devem ser tomadas na mina, para separá-las da alimentação no britador, tanto quanto possível.

2 | METODOLOGIA

Primeiramente buscou-se verificar na prática a precisão do *scanner a laser*, partindo já no laboratório de mineração, onde utilizou-se os azulejos que recobrem as paredes, como foco de medições. Foi então medido a largura dos azulejos, utilizando-se de uma trena de mão e, posteriormente, realizando o mapeamento dos azulejos com o *scanner a laser*, logo mais apresentado em resultados e discussões.

Dando início às atividades na mineração, buscou-se averiguar na prática o funcionamento do *scanner a laser* em cava a céu aberto, em uma mineração de calcário, possibilitando experiência com o método, de maneira a obter os melhores resultados possíveis nas futuras atividades com o equipamento. Os monitoramentos foram realizados em 2018, ao longo de 3 meses, totalizando aproximadamente 9 varreduras com o equipamento, sendo o grande intervalo de tempo devido ao mal tempo predominante na região e à disponibilidade da empresa em nos receber. Porém, grande parte dos dados coletados foram descartados devido às irregularidades nos pontos e superfícies da cava, espaços não mapeados e posicionamento desfocado

do equipamento em relação à área de interesse. Com esses mapeamentos em 2018 buscou-se averiguar as dimensões de praças de trabalho e controle de talude, fatores esses de suma importância no avanço de lavra em uma mineração.

Já em 2019, em acordo com a empresa onde foi desenvolvido o trabalho, buscou-se analisar a diluição nas bancadas de avanço de lavra.

3 | ANÁLISE DOS RESULTADOS

Utilizou-se a nuvem de pontos gerada nos processos de varredura no *software Reconstructor*[®], para precisão construtiva em modelagem 3D dos pontos obtidos. O *scanner a laser* realiza um mapeamento tão denso de pontos que a imagem gerada se assemelha muito a uma foto, quando o *zoom* é aplicado percebe-se os inúmeros pontos coletados milimetricamente. Temos então nossa primeira imagem, a qual foi coletada em laboratório, como mencionado anteriormente. A varredura buscou mapear os azulejos na parede (Figura 1), os quais foram medidos com trena e *scanner* e os resultados apresentados a seguir (Quadro 1).

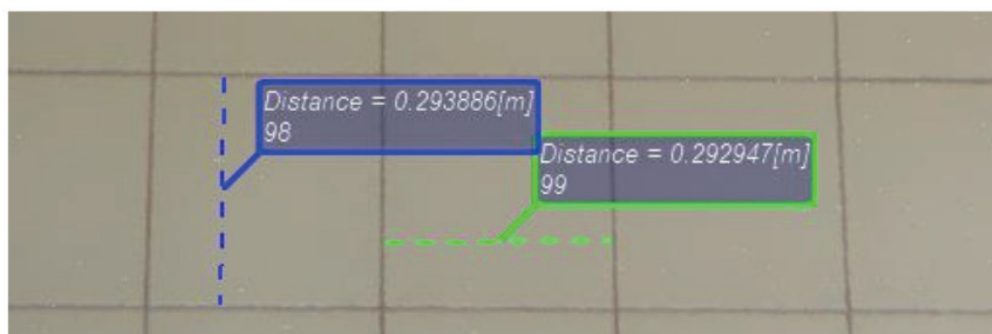


Figura 1 – Scan dos azulejos do laboratório de mineração como teste de precisão do *scanner*.

Fonte: do autor, 2018.

	Trena	Scanner 3D
Lado (Azul)	29,30 cm	29,3886 cm
Lado (Verde)	29,30 cm	29,2947 cm

Quadro 1 - Largura dos azulejos no laboratório de mineração.

Fonte: do autor, 2018.

Pode-se observar na Figura 1, que a medida no *software reconstructor* tem uma precisão de 6 casas depois da virgula, sendo essa medida dada em metros. É demonstrado os valores dos lados do azulejo em azul e verde, com os quais pode-se calcular a área caso necessário, por exemplo $0,293886 \times 0,292947 = 0,086$ m² de área para cada azulejo. Logo após a Figura 1, temos o Quadro 1, o qual

demonstra uma comparação entre os dados medidos com a trena e os medidos com o *scanner*. Podemos perceber a baixa variabilidade entre os mesmos, sendo esses valores variando na casa dos milímetros, e com pouca variação se comparado ao todo medido. Reforçando que as medidas apresentadas no Quadro 1 estão em centímetros, e que sua coleta teve intuito de verificar a precisão do equipamento para embasar futuras varreduras com o mesmo em ambiente de mineração.

Posteriormente foi realizado medidas utilizando uma trena de mão, para assim mapear metricamente as dimensões da praça, bancada de trabalho e altura de talude. E, sucessivamente, o mapeamento da área com o *scanner* 3D, assim possibilitando coletar as medidas, que anteriormente foram coletadas com trena e que demandaram muito mais tempo e risco, perante bancadas irregulares. Utilizou-se a nuvem de pontos gerada nos processos de varredura no software, para precisão construtiva em modelagem 3D dos pontos obtidos (Figura 2).



Figura 2 – Nuvem de pontos após conversão e tratamento dos dados.

Fonte: do autor, 2018.

Com os dados em mãos, extraiu-se do *software* (*Stonex 3D Reconstructor*) as medidas referentes a praça e ao talude de avanço da cava, utilizando a ferramenta de modelamento de superfície (Figura 3), os quais também haviam sido medidos *in situ* com a utilização da trena, de maneira a compará-los em sua precisão ou aproximação com os dados coletados pelo equipamento.

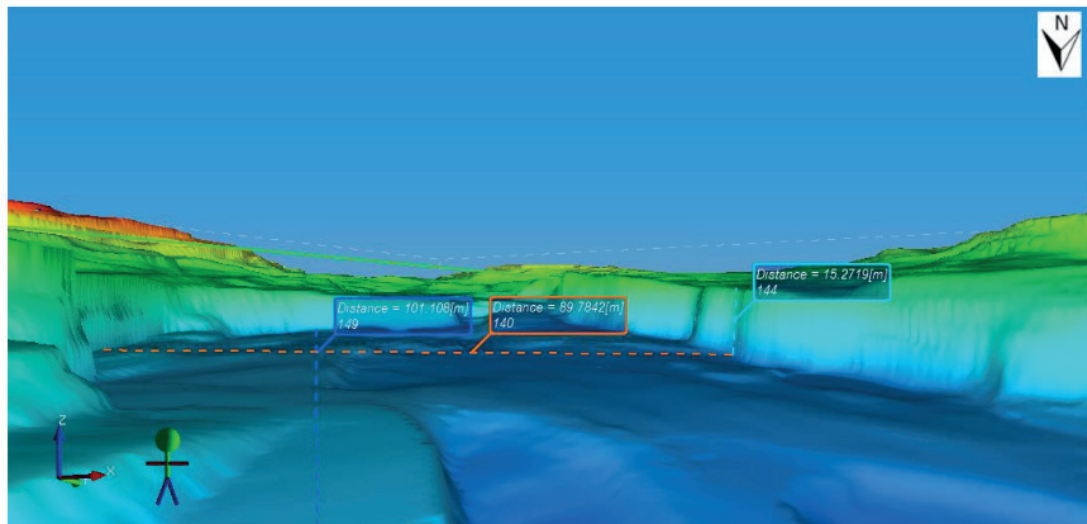


Figura 3 – Modelamento de superfície e verificação de distâncias entre pontos.

Fonte: do autor, 2018.

Observou-se no terreno diversas irregularidades, as quais foram minimizadas quando utilizado o modelamento de superfície, porém essas irregularidades em superfície dificultaram a precisão das medidas com a trena, o que ocasionou consequentemente valores diferentes dos medidos pelo software. Entretanto, em teste prévio realizado, buscou-se verificar a precisão do mapeamento dos pontos conhecidos com a realidade, e confirmou-se o constatado pelo manual do equipamento, que sua precisão chega na casa dos milímetros, como demonstrado no teste inicial em laboratório.

Após a coleta dos dados, buscou-se analisar a precisão do equipamento com a realidade, agora em ambiente de mineração, como demonstrado no Quadro 2, logo abaixo.

	Largura da praça	Comprimento da praça	Altura do talude
Trena	89,45 m	101,40 m	15,60 m
Scanner	89,78 m	101,11 m	15,27 m

Quadro 2 – Largura da praça e do talude em mineração a céu aberto. Medidas realizadas com utilização de trena e com o *Scanner* 3D.

Fonte: do autor, 2018.

Pôde-se observar uma variabilidade de centímetros entre os valores, porém essa variabilidade demonstrada deve-se a alguns fatores, tais como: (i) irregularidade nas bancadas e praças de trabalho, o que ocasionou desníveis em superfície; (ii) elevado grau de faturamento nos taludes, ocasionado pelas condições geológicas presentes e de possível planejamento irregular no desmonte, que acarretou em

faces de taludes deformadas e sem ângulo predominante, assim como a formação de repés. Esses fatores mencionados ocasionaram em medidas não tão confiáveis com a trena. Temos aí então, mais um fator a favor do equipamento para realização de medidas em superfícies irregulares e de difícil acesso.

Já em 2019 as atividades envolvendo o *scanner a laser* foram dedicadas ao mapeamento, interpretação e análise da diluição frente às bancadas de avanço na mineração de calcário. O modelo tridimensional composto pela nuvem de pontos pode ser trabalhado em formato que possibilita a identificação do estéril e do minério através da reflectância (Figura 4) ou mesmo de maneira colorida naturalmente pelo ambiente.

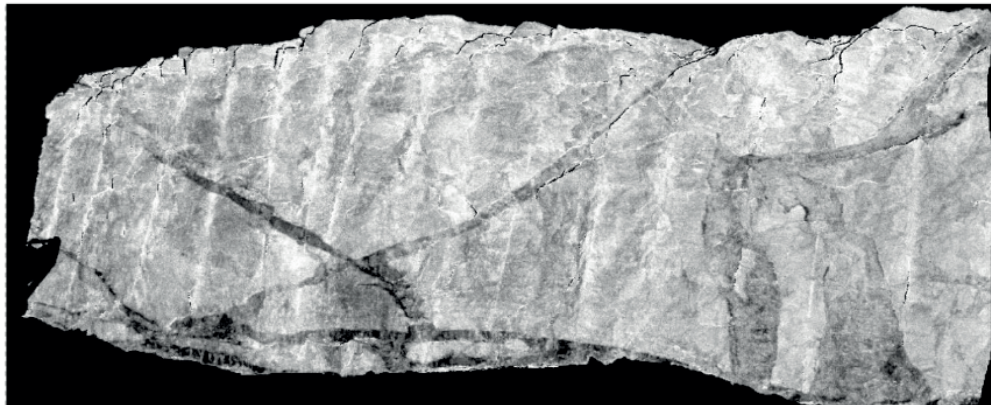


Figura 4 – Bancada de avanço de lavra representada pela nuvem de pontos de reflectância.

Fonte: do autor, 2019.

Utilizando-se dos monitoramentos com o *scanner* pode-se calcular as áreas de diversas formações geológicas com diferentes irregularidades. O recorte é realizado manualmente através do *software* (Figura 5), podendo ser visualizado e comparado também com modelos de reflectância, para obtenção de maior precisão na identificação das litologias.

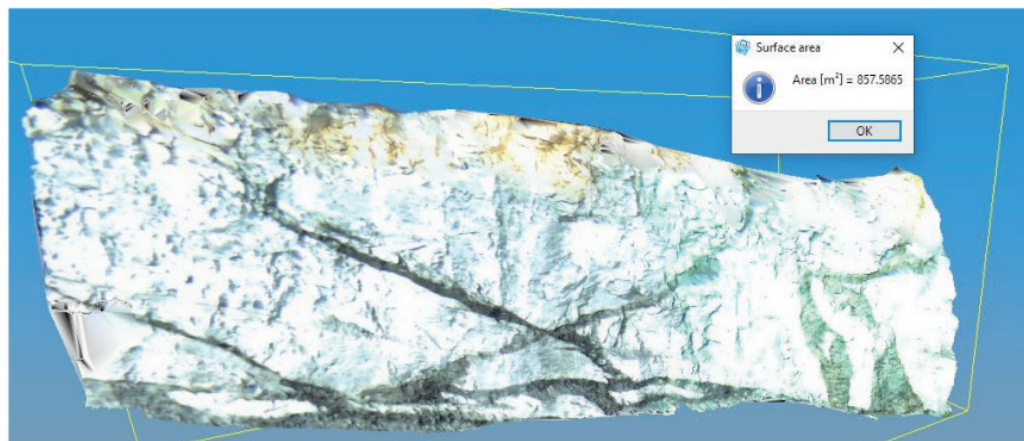


Figura 5 – Bancada de avanço de lavra com sua respectiva área.

Fonte: do autor, 2019.

Assim consegue-se obter um recorte manual, tanto no minério como do estéril, de maneira mais precisa possível.

Posteriormente é identificado e separado o estéril do minério e calculado suas respectivas áreas, como mostrado na Figura 6 e 7.

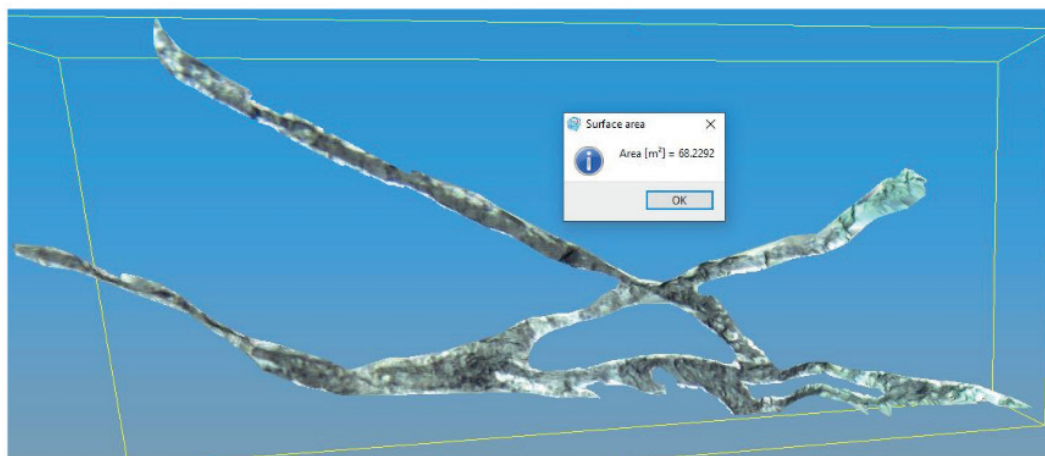


Figura 6 – Recorte da intrusão n° 1 (estéril) e sua respectiva área.

Fonte: do autor, 2019.

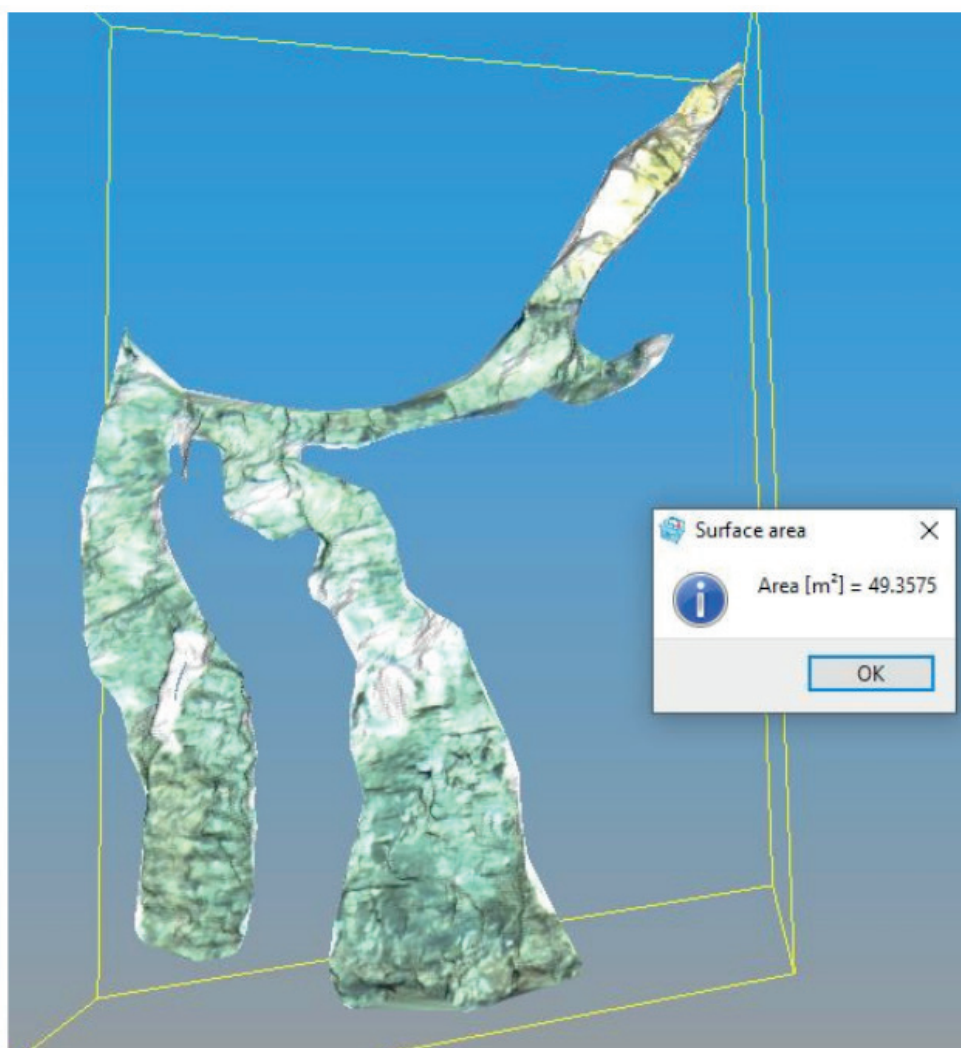


Figura 7 – Recorte da intrusão n° 2 (estéril) e sua respectiva área.

Fonte: do autor, 2019.

Sabendo as áreas das intrusões e da bancada total, podemos calcular a relação de diluição presente na bancada tanto em área como em volume, acrescentando o avanço realizada na bancada de acordo com a malha do plano de fogo. Para esta situação apresentada o avanço nessa bancada foi de 4 metros. Assim, podemos realizar os cálculos como apresentado logo abaixo.

Para a área de minério temos a área total menos a área das intrusões:

$$\text{Área Minério} = 857,59 \text{ m}^2 - 117,59 \text{ m}^2$$

$$\text{Área Minério} = 740 \text{ m}^2$$

Para calcularmos o volume de minério na bancada detonada teremos:

$$\text{Volume Minério} = 740 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m}$$

$$\text{Volume Minério} = 2960 \text{ m}^3$$

Para averiguarmos a diluição ocorrida na bancada aplicamos a relação do volume de estéril pelo volume total (minério + estéril), ambos multiplicados por 100 para obter um resultado em porcentagem, ou seja:

$$\text{Diluição} = \left(\frac{(117,59 \times 4) \text{ m}^2}{(857,59 \times 4) \text{ m}^2} \right) \times 100$$

$$\text{Diluição} = 13,71 \%$$

Com isso podemos correlacionar o fator diluição com outros aspectos referentes ao desmonte de rochas, como adequar o plano de fogo e/ou até mesmo verificar o custo x benefício dos desmontes em relação ao aumento do fator de Diluição.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo sobre o *scanner a laser* 3D, abre uma gama de oportunidades em termos de desenvolvimento científico e inovação, unindo a área de Sensoriamento Remoto ao planejamento mineiro, atividade fundamental no importante processo de lavra e beneficiamento de minérios, podendo ser aplicada nos mais diversos setores e tipos de minas.

Através da aplicação do equipamento em mina de calcário, foi possível

observar que o uso do equipamento é valioso e incomparável. A obtenção de dados e informações da mina ocorreu de forma rápida e segura, sendo capaz de alcançar lugares inacessíveis, instáveis e de risco, onde extraiu-se uma alta densidade de pontos, sendo assim, adquirida e processada em um baixo tempo, trazendo assim, condições de analisar a situação atual e futura da área.

O manuseio do equipamento é relativamente simples, porém é necessário que o operador esteja preparado e familiarizado com os princípios básicos de operação, para obter um melhor aproveitamento dessa tecnologia. Deve-se também estar ciente das limitações impostas pelo equipamento e seu funcionamento.

A utilização *do software* para interpretação de dados é de suma importância, e esse processo pode ser demorado devido à pouca familiarização com o mesmo, por isso apesar da prática de campo ser rápida e eficiente, o tratamento dos dados já é algo que demanda mais tempo. Assim como, o processo de análise e interpretação da nuvem de pontos para obtenção do fator de seletividade, independentemente da imagem colorida ou por reflectância.

O presente trabalho pode servir de suporte a futuras pesquisas realizadas na área da mineração, pois apresenta de maneira mais geral algumas, dentre tantas outras aplicações possíveis do equipamento, podendo ser utilizado em estudos geológicos e ambientais, assim como na área de construção civil, pois demonstrou-se uma técnica viável, inovadora e confiável em se tratando de representação tridimensional de pontos.

REFERÊNCIAS

BELLIAN, J. A., KERANS, C., JENNETTE, D. C. **Digital Outcrop Models: applications of terrestrial scanning lidar technology in stratigraphic modeling**. Journal of Sedimentary Research, v. 75, n. 2, p. 166-176, 2005.

CONFORTI, D. Optech Incorporated. Using Static and Mobile Laser Scanners to Measure and Manage Open Pit Mines. Open Pit Mine Surveying. ILRIS Application Note: IL – 004, REV A. Canada, 2017.

DIAKITE, O. **Ore Dilution In Sublevel Stopping**; Department of Mining and Metallurgical Engineering, McGill University, PhD Theses, pp. 36-38. Montreal, 1999.

GERRY, M. President PhotoSat. **Leaders in Satellite Surveying for Mining and Energy**. Vancouver, British Columbia, Canada, 2016.

JARA, R. M. et al. **Block size selection and its impact on open-pit design and mine planning**. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, v. 106, n. 3, p. 205-211, 2006.

KERANS, C., AND TINKER, S. **Sequence Stratigraphy and Characterization of Carbonate Reservoirs**: SEPM, Short Course, no. 40, 130 p, 1997.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. C; J. A. FONSECA. **Programa levantamentos geológicos básicos do**

Brasil. Ministério de Minas e Energia, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A. Brasília, Distrito Federal, 2000.

READ, J.F., KERANS, C., WEBER, L.J., SARG, R., AND WRIGHT, F.M. **Milankovitch Sea-Level Changes, Cycles, and Reservoirs on Carbonate Platforms in Greenhouse and Ice-house Worlds:** SEPM, Short Course no. 35, 147 p, 1995.

SINCLAIR, A. J.; BLACKWELL, G. H. **Applied mineral inventory estimation.** Cambridge University Press, 2006.

TOMMASELLI, A. M. G. **Um Estudo Sobre as Técnicas de Varredura a Laser e Fotogrametria para Levantamentos 3D a Curta Distância.** GEODÉSIA Online - Revista da Comissão Brasileira de Geodésia. 4 / 2003 [ISSN 1415-1111].

VAN DER MERWE, J. W., ANDERSEN, D. C. **Applications and benefits of 3D laser scanning for the mining industry.** Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, v. 113, n. 3, 2013.

APLICAÇÃO DA PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA NO ESTUDO DE CASO DA PALMILHA SENSORIZADA PARA PÉS DIABÉTICOS

Data de aceite: 26/11/2019

Luciana Maria de Oliveira Cortinhas

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

Leonara Gonçalves e Silva Pires

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

Anna Patrícia Teixeira Barbosa

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

Jeane Souza Chaves Sidou

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

Camila Alves Areda

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

Rafael Leite Pinto de Andrade

Universidade de Brasília – UnB
Brasília – Distrito Federal

RESUMO: O presente artigo realiza uma prospecção tecnológica do pedido de patente intitulado “palmilha sensorizada para pés diabéticos” de titularidade da Fundação Universidade de Brasília, com o intuito de

analisar a viabilidade de sua manutenção em razão do cenário atual de crise orçamentária. Foram mapeadas tecnologias similares, no Brasil e exterior, que utilizam sinais bioelétricos, no corpo ou em suas partes, para monitoramento. A busca por patentes se deu na base *Orbit*. Também foram analisadas publicações sobre sistemas eletrônicos de monitoramento, nas bases de dados das plataformas *Scopus* e *Web of Science*. Identificou-se que a área apresentou crescimento nos últimos anos, porém que os estudos ainda são incipientes. O trabalho visou também a avaliação da maturidade tecnológica do invento, pelo que se concluiu que o grau de prontidão tecnológica da palmilha estudada é TRL 5.

PALAVRAS-CHAVE: Sinais Bioelétricos. Corpo. Palmilha.

APPLICATION OF TECHNOLOGICAL PROSPECTION IN THE CASE STUDY OF THE INSOLE WITH DIABETIC FEET SENSORS

ABSTRACT: The present article carries out a technological prospection of the technology titled "sensorized footbed for diabetic feet", owned by the University of Brasilia Foundation, in order to analyze the viability of maintaining its patent application due to the current scenario of budget crisis. Similar technologies have been

mapped, in Brazil and abroad, that use bioelectrical signals, in the body or in its parts, for monitoring. The search for patents was based on Orbit. We also analyzed publications on electronic monitoring systems in the databases of the Scopus and Web of Science platforms. It was identified that the area presented growth in the last years, but that the studies are still incipient. The study also aimed at evaluating the technological maturity of the invention, so it was concluded that the degree of technological readiness of the insole studied is TRL 5.

KEYWORDS: Bioelectrical Signals. Body. Insole.

1 | INTRODUÇÃO

Dados da pesquisa de Vigilância de Fatores de Risco e Proteção para Doenças Crônicas por Inquérito Telefônico (Vigitel) do Ministério da Saúde indicam que entre 2006 e 2016, o número de brasileiros com diabetes aumentou 61,8%. Isso significa que a doença passou de atingir 5,5% da população para 8,9% das pessoas (Brasil, 2017).

Entretanto, poucos produtos nacionais são desenvolvidos com o intuito de melhorar a qualidade de vida do paciente diabético. Segundo Tales Andreassi e Roberto Sbragia (2002), no Brasil, diferente do que ocorre em outros países, são os resultados de vendas que condicionam os investimentos futuros em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Era esperado que os investimentos em P&D fossem futuramente compensados com a participação dos novos produtos na receita total das empresas.

Nesse contexto, destacam-se trabalhos realizados em universidades brasileiras, como a “palmilha sensorizada para pés diabéticos”, de titularidade da Fundação Universidade de Brasília - FUB. O pedido de patente depositado no INPI, sob o registro PI 1103692-5, em 18 de julho de 2011, encontra-se em análise já há 7 (sete) anos. A invenção tem como princípio detectar e monitorar os principais pontos de pressão do pé, de modo a realizar um estudo mais detalhado sobre as áreas suscetíveis ao desenvolvimento de feridas em pés de pessoas com diabetes. A tecnologia visa principalmente ao estágio de prevenção, mas sem deixar de atender aos pacientes acometidos por feridas. A palmilha segue a anatomia e as características dos pés do usuário e é confeccionada, de forma individualizada e personalizada, em látex hipoalergênico, proporcionando maior conforto e bem-estar.

Entretanto, mesmo sendo um dos grandes polos de pesquisa no Brasil, as universidades têm dificuldade em manter os pedidos de patentes, uma vez que há custos envolvidos e, com a nova realidade imposta pela Emenda Constitucional nº 95/2016 (BRASIL, 2016), limitando os gastos públicos, uma nova era de eficiência e planejamento de gastos deve ser estabelecida.

Nesse contexto, o presente estudo visa identificar o mercado mundial em que a tecnologia “palmilha sensorizada para pés diabéticos” encontra-se inserida. Pretende-se embasar uma futura discussão sobre a manutenção ou não do pedido de proteção da patente e suporte dos gastos diretos do Centro de Apoio do Desenvolvimento Tecnológico - CDT/UnB, efetuados ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) a título de taxas.

No presente trabalho é apresentada uma prospecção, de abrangência nacional e internacional, da tecnologia de titularidade da FUB, detectando inventos similares, publicações sobre o assunto, viabilidade comercial, bem como grau de prontidão tecnológica.

Portanto, a intenção principal é, considerando o histórico do pedido de patente e o tempo decorrido para análise, verificar qual é o atual cenário onde se localiza a tecnologia prospectada. E, por fim, realizar uma qualificação tecnológica do pedido de responsabilidade do CDT/UnB frente a um cenário mundial e regional, fornecendo subsídios a uma proposta de gerenciamento de ativos de Propriedade Industrial pela Universidade de Brasília.

2 | METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa, adotada no presente estudo, permitiu a avaliação do cenário mundial e nacional de tecnologias de sistemas de monitoramento eletrônicos, a partir de informações obtidas em bases de patentes e de artigos, nacionais e internacionais. Para tanto, foram escolhidas as plataformas *Orbit*, *Scopus* e *Web of Science*.

Foi realizada a análise bibliométrica quantitativa acerca do tema que envolve a tecnologia analisada. Essa é uma técnica para o mapeamento dos principais autores, periódicos e palavras-chave sobre determinado tema (PRITCHARD, 1969). Ela examina o material bibliográfico de uma perspectiva objetiva, quantitativa, que é útil para organizar a informação em um campo temático específico (MERIGÓ *et al.*, 2015). É também uma forma de análise de publicações científicas que avalia a evolução do conhecimento de um assunto específico, a qualidade científica e a influência de obras e fontes (BOUYSSOU & MARCHANT, 2011; DAIM *et al.*, 2006).

A análise bibliométrica seguiu seis etapas: 1) definição do campo de estudo, 2) escolha do banco de dados, 3) ajuste dos critérios de busca, 4) compilação das categorias de informações bibliográficas, 5) codificação do material recuperado e, finalmente, 6) análise da informação.

Foram utilizadas diferentes combinações de palavras-chave, nos campos “título” e “resumo”, a fim de melhor representar o objeto de pesquisa. As palavras-chave

utilizadas foram as seguintes: “*bioelec*”, “*signal*” e “*body*”. Para melhor descrever a tecnologia, foram usadas técnicas clássicas de pesquisa, tais como operadores booleanos (*AND - OR*), de truncamento (*) e sinônimos para as palavras-chave (“*bio-signal*”).

Os resultados obtidos foram analisados a fim de identificar os principais países de prioridade das tecnologias, as empresas mais atuantes nesta área, a evolução do número de proteções ao longo dos últimos anos, a distribuição dos depósitos em universidades e a situação atual das proteções. Com relação às publicações científicas, foram identificados os principais autores, universidades, revistas, países, áreas temáticas e períodos de ascendência do tema.

Posteriormente, o estudo foi direcionado para a obtenção do grau de maturidade da tecnologia “palmilha sensorizada para pés diabéticos”. O nível de prontidão tecnológica foi obtido considerando a escala TRL (*Technology Readiness Level*).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A prospecção tecnológica é uma ferramenta capaz de mapear sistematicamente os desenvolvimentos científico e tecnológico, os quais, por sua vez, são capazes de influenciar de forma significativa os investimentos em tecnologia, que impactam diretamente na indústria, na economia e nas relações de consumo presentes na sociedade como um todo (SERAFINI *et al.*, 2012).

No dia 14.06.2018, foi realizada uma pesquisa de depósitos de patentes na base *Orbit*, com filtro para intervalo de 20 anos (1997-2017). As buscas foram iniciadas, no título e resumo, com as palavras-chave “*bioelec*” e “*bio-signal*” com o operador booleano “*OR*” e o truncamento (*), tendo sido obtidos 3.351 resultados. Para o aprimoramento, foi inserida a palavra-chave “*signal*” com o operador booleano “*AND*”, resultando 1.678 registros. Por fim, foi adicionada a palavra-chave “*body*”, também com o operador booleano “*AND*”, obtendo o resultado de 616 registros.

Optou-se pela não utilização da palavra-chave “*insole*” (palmilha) tendo em vista que restringia muito a busca e inviabilizava a análise de mercado da tecnologia objeto deste estudo. Atentou-se também ao fato de que o pedido de patente reivindicado não é somente para uma palmilha, mas também para o sistema de monitoramento de pressão plantar. Os dados estão demonstrados na Tabela 1.

Busca avançada	Palavras-chave	Resultados encontrados
1ª	<i>"bioelec*" OR "bio-signal"</i>	3.351 resultados
2ª	<i>("bioelec*" OR "bio-signal") AND "signal"</i>	1.678 resultados
3ª	<i>("bioelec*" OR "bio-signal") AND "signal" AND "body"</i>	616 resultados

Tabela 1 – Resultados da busca na base de patentes da plataforma *Orbit* para as palavras-chave *"bioelec*" OR "bio-signal" AND "signal" AND "body"*, 2018.

Fonte: Elaboração própria (2018).

Os 616 resultados encontrados foram selecionados para confecção de gráficos, que possibilitaram as análises que serão a seguir expostas.

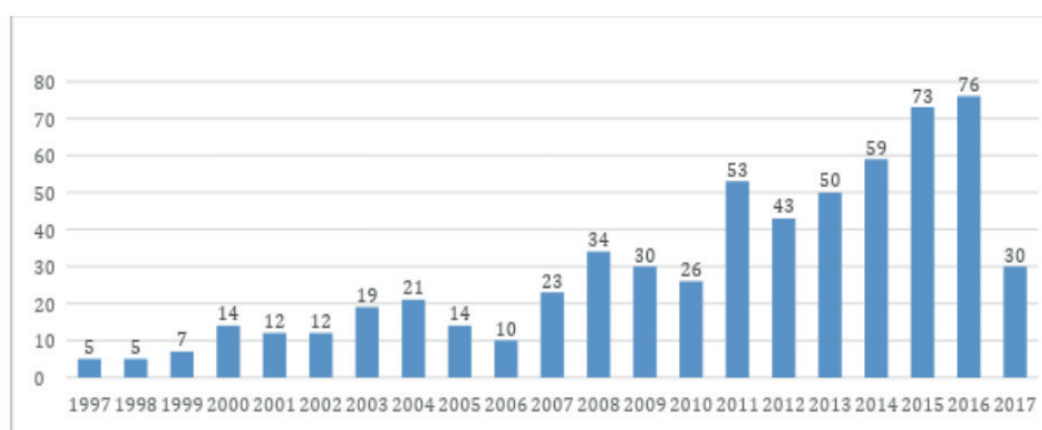


Figura 1 – Patentes disponíveis na base de patentes da plataforma *Orbit* para as palavras-chave *"bioelec*" OR "bio-signal" AND "signal" AND "body"*, por ano de publicação.

Fonte: Elaboração própria (2018).

Nota-se que o número de patentes teve uma evolução expressiva nos últimos 10 anos, em especial nos anos de 2015 e 2016. Há uma redução no ano de 2017, provavelmente em função do período de sigilo exigido pela lei brasileira que é de 18 meses, portanto, as patentes ainda não estão disponíveis para consulta.

Salienta-se que os resultados selecionados representam tecnologias que detectam, medem ou registram sinais bioelétricos do corpo ou de suas partes, conforme a classificação do pedido de patente analisado (IPC A61B5/04).

Foi possível observar, que o país com maior número de depósitos de patentes com a tecnologia de sensores para detectar e monitorar pontos de pressão no corpo humano é a República da Coreia, que totaliza 373 registros, quantidade superior à soma dos registros de todos os outros 15 países subsequentes do ranking de depositantes para essa família tecnológica (China, Japão, Estados Unidos, entre outros).

Pode-se verificar, a partir dos resultados encontrados que a tecnologia aplicada no pedido de patente objeto deste estudo é encontrada em diversos segmentos,

porém os mais relevantes são ligados aos temas médicos-biológicos, com o objetivo do monitoramento dos sinais do corpo e níveis de atividade e suas intensidades.

Existe também a liderança da República da Coreia como território propício para o investimento em tecnologia e inovação, pois, das 16 maiores instituições depositantes de patentes apenas 5 não se encontram no território sul-coreano.

A empresa SAMSUNG destaca-se como maior depositante no período de 20 anos pesquisado, que é de 1997 a 2017. Somando-se o percentual de depósitos das principais empresas sul-coreanas obtêm-se um percentual superior a 60% do total de registros ligados a tecnologia.

Pode ser observado que a SAMSUNG detém mais de 25% de todos os registros de pedidos e concessões de patentes ligadas a tecnologia de sensores e monitoramento.

No dia 13.06.2018, na base *Scopus* foi realizada uma busca no título, resumo e palavras-chave de documentos que contivessem [(“biolec*” OR “bio-signal”) AND “signal” AND “body”], com filtro para publicações entre 1997 e 2017. A utilização das mesmas palavras-chave e período utilizado para a busca de patentes foi proposital. A busca refinada resultou em 228 documentos, os quais serviram para a análise.

A pesquisa realizada na plataforma *Web of Science*, em 12.06.2018, que utilizou a mesma combinação das palavras-chave, os mesmos ordenadores booleanos e delimitação de período, possibilitando inicialmente a localização de resultados bem abrangentes, porém, com o refinamento da busca foi possível chegar a um número de publicações aproximado ao da outra base, conforme descrito na Tabela 2.

	Palavras-chave	R e s u l t a d o s <i>Scopus</i>	Resultados <i>Web of Science</i>
1 ^a	(“biolec*” OR “bio-signal”)	1.381	6.606
2 ^a	((“biolec*” OR “bio-signal”) AND “signal”)	1.286	1605
3 ^a	[(“biolec*” OR “bio-signal”) AND “signal” AND “body”]	228	194

Tabela 2- Busca por palavras-chave e demais combinações e os respectivos resultados nas bases de dados das plataformas *Scopus* e *Web of Science* para as palavras-chave “*bioelec**” OR “*bio-signal*” AND “*signal*” AND “*body*”, 2018.

Fonte: Elaboração própria (2018).

A distribuição das patentes por ano de publicação permite identificar uma evolução o número de depósitos nos últimos anos, conforme a Figura 2.

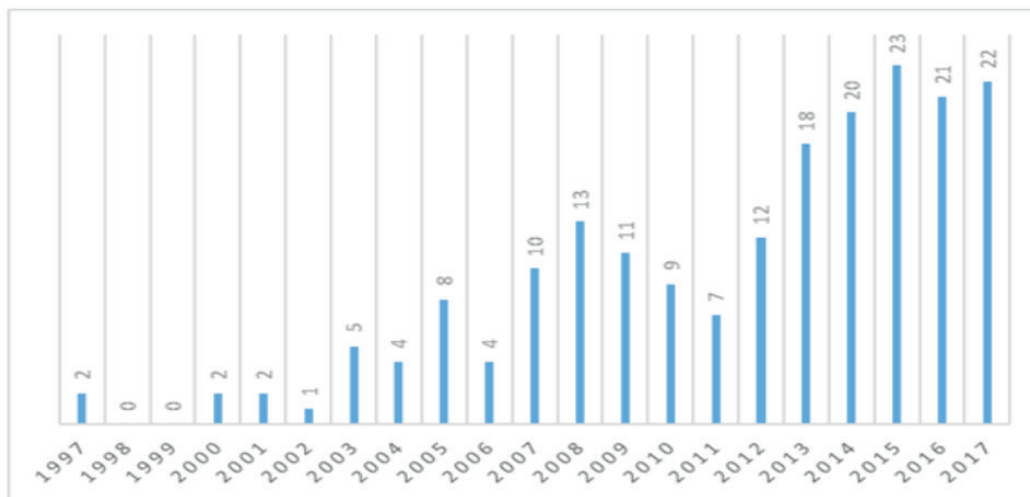


Figura 2 – Documentos disponíveis na base da plataforma *Web of Science* para as palavras-chave “*bioelec**” OR “*bio-signal*” AND “*signal*” AND “*body*”, por ano de publicação.

Fonte: Elaboração própria (2018).

É possível notar que, nos últimos 20 anos, houve um aumento importante de publicações sobre o assunto, em especial entre os anos de 2013 a 2017, com leve decréscimo em 2016. A base de dados *Scopus* indicou o ápice de publicações sobre o tema no ano de 2014 e a base *Web of Science* no ano de 2015.

Entre as cinco fontes com mais publicações sobre o tema, duas são IEEE, ou seja, pertencentes ao Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos. Essa organização de profissionais foi responsável por 14% das publicações sobre o tema analisado.

Na base *Web of Science* a apresentação do demonstrativo das publicações em periódicos científicos, ofereceu destaque para a revista americana *Bioelectromagnetics* (BEM), que publicou 15% de artigos sobre o tema.

Os líderes em publicações, nas duas bases pesquisadas, são os autores Giovanni Ansaloni e David Atienza Alonso, porém, aparecem em posições trocadas. David em primeiro lugar na base *Scopus* e Giovanni na base *Web of Science*.

Dos 228 documentos pesquisados na plataforma *Scopus*, pode-se observar que foram originados na maioria em instituições de ensino da Suíça, Coréia do Sul, Itália e Portugal. A Escola Federal Politécnica de Lausanne (EPFL) apareceu em primeiro lugar com grande vantagem no número de documentos produzidos sobre as demais.

A análise por países, na base *Scopus*, confirma a predominância da Coréia do Sul (37 documentos), da mesma forma como ocorre nas patentes, seguida logo após de Índia (33), Estados Unidos (27), Japão (19), Suíça (16), China (12), Itália (12) Taiwan (11) e Canadá (9). O Brasil aparece com apenas 1 (um) documento.

Já na base *Web of Science*, verificou-se a predominância dos Estados Unidos (38) seguido de Índia (21), Coréia do Sul (20), China (16), Itália (12), Taiwan (11),

Japão (10) e Suíça (9).

O volume de publicações do tema pesquisado com destaque para os Estados Unidos e a Índia que juntos somam 30% do material produzido ao longo do período avaliado.

Dos 228 documentos analisados na base *Scopus*, verificou-se que 143 são papéis de conferência (62,7%) e 77 são artigos (33,8%). Assim, vê-se que embora o tema venha sendo bastante pesquisado, divulgado em conferências e compartilhado com os pares, o fato de constar mais em papéis de conferência do que em artigo indica que é uma área que ainda precisa ser consolidada cientificamente.

Com relação a área de estudo, a pesquisa demonstrou ser marcante a predominância do assunto em Engenharia (143 documentos – 62,7%), seguida de Ciência da computação (129 – 56,6%) e Medicina (52 – 22,8%).

O número de citações sobre o tema foi de 1.242 com uma média de 59,14 por ano, somente no ano de 2017 foram registradas 250 citações.

Segundo Di Cross, Simon Thomson e Alexandra Sinclair (2018), o número de citações que uma publicação de pesquisa (*paper*) recebe reflete o impacto que teve em pesquisas posteriores. As publicações científicas citam documentos anteriores para validar uma contribuição intelectual. Assim, torna-se possível dizer que uma publicação (ou uma coleção de publicações) que tenha uma contagem de citações mais elevada teve também um impacto maior no campo de conhecimento ao qual se relacionou (Relatório *Clarivate Analytics*, 2018).

A análise da razão entre patentes e publicações é importante para determinar a maturidade da tecnologia. Para tanto, foi utilizada para a busca a base de patentes *Orbit* e a base de artigos *Web of Science*.

A comparação entre as duas bases de artigos *Scopus* e *Web of Science*, realizada no presente trabalho em um primeiro momento, serviu para validar a informação encontrada de que existem mais pedidos de patentes do que produções científicas sobre a tecnologia estudada. Isso se dá pelo fato de existirem empresas investindo em tecnologias com foco no mercado e menos estudos publicados por universidades e demais instituições, possibilitando assim uma crescente comercialização de produtos nessa área. Tal situação é peculiar e denota que a maturidade da tecnologia é bem propícia ao mercado, tendo em vista que a publicação de artigos torna o conhecimento de domínio público, enquanto a patente traz a apropriação daquela tecnologia restringindo os direitos de exploração comercial do ativo exclusivamente ao detentor da patente. Esse crescimento relacionado aos depósitos de patentes também é típico de uma tecnologia emergente em seus primeiros anos de apropriação (QUINTELLA, 2011), conforme a Figura 3.

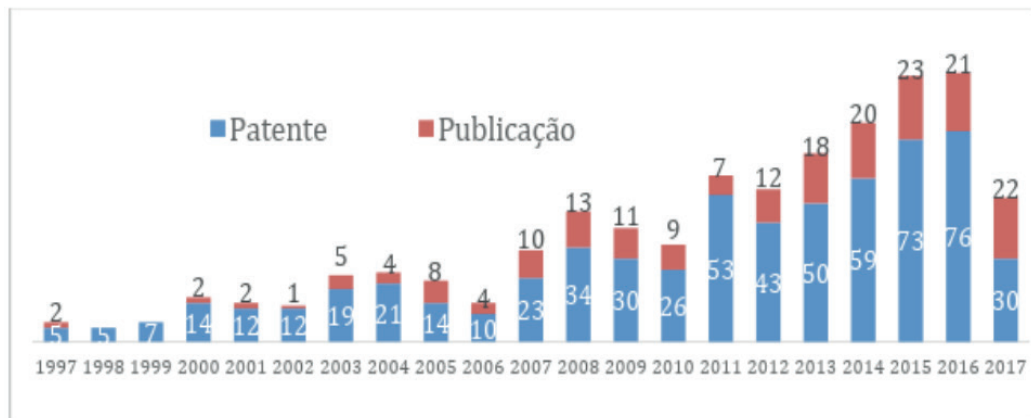


Figura 3 – Relação patentes x publicações para as palavras-chave “*bioelec**” OR “*bio-signal*” AND “*signal*” AND “*body*”.

Fonte: Autoria própria (2018).

O primeiro documento que descreveu a ideia sobre os níveis de maturidade das tecnologias foi o “*The NASA technology push towards future space mission systems*” (SADIN, 1989). Segundo Mankins (1995), por meio de um sistema de medição sistemática, os TRLs auxiliam as avaliações da maturidade de uma tecnologia em particular e também a comparação de maturidade entre diferentes tipos de tecnologia.

O método TRL é apresentado como uma ferramenta de política de pesquisa e inovação pelo *The TRL Scale as a Reserch & Innovation Policy Tool* (EARTO, 2014), capaz de estimar a maturidade tecnológica dos elementos críticos da tecnologia durante o seu processo de aquisição e permitir discussões consistentes e uniformes de maturidade técnica em diferentes tipos de tecnologia.

A Resolução nº 191, de 18 de maio de 2017, do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, que institui o Projeto Piloto de Priorização do Exame de Pedidos de Patente depositados por Instituições de Ciência e Tecnologia, em seu artigo 2º, define TRL ou Níveis de prontidão tecnológica como “metodologia de estimação da maturidade tecnológica dos Elementos Tecnológicos Críticos (CTE) de um projeto através do processo de desenvolvimento, baseado em uma escala de 1 a 9”.

Com base nas concepções antes mencionadas e no modelo da referida Resolução, que fornece uma sugestão de descrição e dos resultados dos TRLs, bem como na norma ISO 16290:2013, foi realizada a análise pelos autores de forma a terminar o grau de maturidade da tecnologia intitulada “palmilha sensorizada para pés diabéticos”.

Inicialmente, verificou-se que a tecnologia sob análise demonstra, de forma simples, o processo tecnológico, bem como expressa os princípios básicos destinados ao uso e aplicações potenciais. Os conceitos e a aplicação do produto são bem formulados, destinando-se especialmente para pessoas diabéticas, com confecção do produto de forma individualizada e personalizada.

O estabelecimento de função crítica, de forma analítica ou experimental, ou prova de conceito é demonstrada em publicações de pesquisas realizadas pelos professores responsáveis pela tecnologia e seus alunos. De acordo com o artigo “*Embodiments, Visualizations and Immersion with Enactive Affective Systems*” (DOMINGUES *et al*, 2014), a viabilidade do produto é ressaltada pela utilização de sensores apenas nos pontos específicos desejados.

A validação funcional dos componentes em ambiente de laboratório foi realizada apenas em parte. O estudo “*Mathematical Modeling of Passive Diabetic Step*” (FLEURY ROSA *et al*, 2014) nos mostra que a modelagem da marcha diabética é desafiadora e requer um estudo da marcha do paciente com diabetes para confecção da palmilha. Diante disso, o referido artigo retrata ainda que estão sendo realizados estudos e testes laboratoriais sobre a marcha de pessoas acometidas da doença por meio de um sistema que utiliza uma palmilha em látex com dispositivos sensoriais que identificam a pressão plantar nessas pessoas.

Da leitura do artigo “*Walking and health: an anctive affective system*” (LUCENA *et al*, 2016) depreende-se que uma das inventoras, a Prof. Suélia Rodrigues (BioEngLab - UnB), criou um biomaterial de palmilha que foi testado, para sinais vitais, como um tipo de assistente pessoal. Esse protótipo tem sido usado com sucesso para medir a pressão do pé, no intuito de servir como assistente de saúde, especialmente para pessoas diabéticas. O artigo supramencionado ainda relata que o protótipo pode ser considerado como uma inovação disruptiva aplicada para a saúde móvel.

A validação e demonstração das funções críticas dos componentes em ambiente relevante foram realizadas. O protótipo foi reproduzido com comprovação de sua funcionalidade e desempenho. Contudo, não houve demonstração em ambiente operacional. Assim, necessário enfatizar que o produto não foi finalizado e qualificado, bem como não se encontra apto a ser comercializado.

Diante dessa análise, foi possível concluir que a tecnologia “palmilha sensorizada para pés diabéticos” ainda se encontra em fase de teste com nível de prontidão passível de ser classificado como TRL 5, que se refere à validação das funções críticas dos componentes em ambiente relevante. A prontidão da tecnologia ainda é muito incipiente, carecendo da realização de testes de efetividade em pessoas diabéticas.

É importante destacar que o grau de prontidão foi analisado com base nas informações constantes no pedido de patente depositado e em dados resultantes de estudos posteriores que estão disponíveis em publicações de autoria dos próprios inventores, tendo sido, portanto, consideradas as evoluções divulgadas publicamente nos últimos sete anos.

Vale ressaltar que as tecnologias com potencial de aplicação ao Sistema Único de Saúde – SUS devem passar por um processo de certificação pela ANVISA em

atendimento ao disposto na Lei nº 6.360/76, art. 12, que dispõe que nenhum produto de interesse à saúde, seja nacional ou importado, poderá ser industrializado ou comercializado no mercado brasileiro sem obter o registro junto ao Ministério da Saúde. Diante disso, faz-se necessário mencionar que a tecnologia em questão, carece de um longo caminho a ser percorrido até chegar ao mercado brasileiro, necessitando de realização de testes em pessoas acometidas pela diabetes, autorização de comercialização pelo Ministério da Saúde, produção de lote piloto e prototipagem a nível industrial. Ou seja, apesar de se tratar de uma tecnologia em elevado estado de prontidão, se comparado com grande parte das tecnologias desenvolvidas em Universidades, esta ainda demandará um volume significativo de recursos de um eventual interessado antes que possa ser comercializado.

4 | CONCLUSÃO

O estudo prospectivo conduzido pelo presente trabalho visou identificar o mercado mundial em que a tecnologia “palmilha sensorizada para pés diabéticos” encontra-se inserida. No presente trabalho foi apresentada uma prospecção, em nível nacional e internacional, da tecnologia de titularidade da FUB, detectando inventos similares, publicações sobre o assunto, viabilidade comercial, bem como grau de prontidão tecnológica.

Utilizando-se as bases de dados das plataformas *Orbit*, *Scopus* e *Web of Science*, pode-se concluir a predominância de documentos de pedidos de patente, que perfazem o triplo do número de publicações científicas.

As informações levantadas tanto de patentes como publicações indicam que os desenvolvimentos tecnológicos na área se encontram em crescimento, com ápice em 2014 e 2015, e que a maior parte das tecnologias similares estão sendo produzidas na Coreia do Sul. Também são realizados muitos estudos na Índia, EUA, Japão, Suíça, China e Itália. A empresa que mais desenvolve tecnologia na área é a SAMSUNG.

O fato de haverem mais documentos publicados em papéis de conferência do que em artigo indica que a área precisa ainda ser mais bem consolidada cientificamente.

A classificação da tecnologia em TRL 5 evidenciou a necessidade do estabelecimento de parcerias estratégicas para o aprimoramento do produto, realização de testes em pessoas diabéticas e certificação na ANVISA.

As informações levantadas também mostraram ser possível a realização de parcerias para a futura comercialização do produto, haja vista o crescente número de brasileiros diagnosticados com a doença e a existência de indústrias atuantes na área de tecnologias para monitoramento, no corpo ou em suas partes, de sinais bioelétricos.

Conclui-se que a manutenção do pedido de proteção da patente e suporte dos gastos diretos do CDT/UnB, efetuados ao INPI a título de taxas, se justificam.

O atual cenário onde se localiza a tecnologia prospectada ainda é crescente e capaz de absorver e receber a invenção analisada.

REFERÊNCIAS

- ANDREASSI, Tales; SBRAGI, Roberto. **Relações entre indicadores de P&D e de resultado empresarial**. Artigo apresentado no XXI Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Revista de Administração, São Paulo, v.37, n.1, p.p. 72-84, jan./mar. 2002.
- BOUYSSOU, D. & MARCHANT, T. **Ranking scientists and departments in a consistent manner**. Journal of the American Society for Information Science and Technology, v. 62, n. 9, p.p. 1761-1769, 2011.
- BRASIL. Emenda Constitucional nº 95, de 2016. Altera o Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, para instituir o Novo Regime Fiscal, e dá outras providências. DOU 15.12.2016.
- BRASIL. Lei nº 6.360 de 23 de setembro de 1976. Dispõe sobre a Vigilância Sanitária a que ficam sujeitos os Medicamentos, as Drogas, os Insumos Farmacêuticos e Correlatos, Cosméticos, Saneantes e Outros Produtos, e dá outras Providências. DOU 24.9.1976.
- BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos não Transmissíveis e Promoção da Saúde. **Vigitel Brasil 2016**. Ministério da Saúde. Brasília, 2017. Disponível em: <http://portalarquivos2.saude.gov.br/images/pdf/2018/marco/02/vigitel-brasil-2016.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.
- CROSS, Di; THOMSON, Simon; SIBCLAIR, Alexandra. **Research in Brazil: A report for CAPES by Clarivate Analytics**, 2018. Disponível em: <http://www.capes.gov.br/images/stories/download/diversos/17012018-CAPES-InCitesReport-Final.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.
- QUINTELLA, C. M. *et al.* **Captura de CO₂: mapeamento tecnológico da captura de CO₂ baseada em patentes e artigos**. Salvador: EDUFBA, 2011.
- DAIM, T. U., RUEDA, G., MARTIN, H., and GERDRI, P. **Forecasting emerging Technologies: Use of bibliometrics and patente analysis**. Technological Forecasting and Social Change, v. 73, p.p. 981-1012, 2006.
- DOMINGUES, D.; MIOSSO, C. J.; RODRIGUES, S. F.; AGUIAR, C. S. R.; LUCENA, T. F.; MIRANDA, M.; ROCHA, A. F.; & RASKAR, R.. **"Embodiments, visualizations, and immersion with enactive affective systems"**, Edited by Margaret Dolinsky and Ian E. McDowall. The Engineering Reality of Virtual Reality 2014 (February 28, 2014). ISSN 0277-786X. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1721.1/92729>. Acesso em: 04 set. 2019.
- EARTO Recommendations, 2014. **The TRL Scale as a Reserch & Innovation Policy Tool, EARTO Recommendations**. Disponível em: https://www.earto.eu/wp-content/uploads/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-_EARTO_Recommendations_-_Final.pdf. Acesso em 04 set. 2019.
- FLEURY ROSA, S.; COLÓN, D.; REIS, C.; BALTHAZAR, J; SILVEIRA, M.; RODRIGUES DE PONTES JUNIOR, B.; BUENO, Á.; SATO, M.; RASKAR, R. **MATHEMATICAL MODELING OF PASSIVE DIABETIC STEP**. VIII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM - 2014), Uberlândia – Brasil. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264672451_MATHEMATICAL_MODELING_OF_PASSIVE_DIABETIC_STEP. Acesso em: 04 set. 2019.
- ISO 16290:2013 (ISO, 2013). Norma Técnica. Sistemas espaciais - Definição dos níveis de

maturidade da tecnologia (TRL) e de seus critérios de avaliação.

LUCENA; T. F. R.; FLEURY ROSA, S. R.; MIOSSO, C. J.; TORRES, R. S., KRUEGER, T.; & DOMINGUES, D. M. G. **Walking and health: an enactive affective system**. Digital Creativity, 2016, v. 27, p.p. 314-333, Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14626268.2016.1262430>. Acesso em 04 set. 2019.

MANKINS, John C. **Technology Readiness Levels – A White Paper**, Advanced Concepts Office – Office of Space Access and Technology (1995).

MERIGÓ, J. M., GIL-LAFUENTE, A.M, and YQGER, R. R. **An overview of fuzzy research with bibliometric indicators**. Applied Soft Computing, v. 27, p.p. 420-433, 2015.

ORBIT [Base de dados – Internet]. Questel Orbit. Disponível em: <<https://www.orbit.com>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

PI 1103691-5 A2. FUB. Maria do Carmo dos Reis; Adson Ferreira da Rocha; Suélia de Siqueira Rodrigues Fleury Rosa; Edson Alves da Costa Júnior. **PALMILHA SENSORIZADA PARA PÉS DIABÉTICOS**. INPI (Brasil), 18 jul. 2011, 16 jul. 2013. RPI 2219, 2013.

PRITCHARD, A. **Statistical bibliography or bibliometricas?** Journal of Documentation, v. 25, n. 4, p.p. 348-349, dez./1969.

Resolução/INPI nº 191, de 18 de maio de 2017. Disponível em: <http://www.inpi.gov.br/sobre/legislacao-1/Resolucao1912017PatentesICTs.pdf>. Acesso em: 04 set. 2019.

SADIN, Stanley T.; POVINELLI, Frederick P.; ROSEN, Robert. **“NASA technology push towards future space mission systems”**. Space and Humanity Conference Bangalore, India, selected Proceedings of the 39th International Aeronautical Federation Congress, Acta Astronautica, p.p. 73-77, v. 20, 1989.

SCOPUS. [Base de dados – Internet]. Disponível em: <https://www.scopus.com/home.uri>. Acesso em: 13 jun. 2018.

SERAFINI, M. R. *et al.* **Mapeamento de tecnologias patenteáveis com o uso da hecogenina**. Revista Geintec, v. 2, n. 5, p.p. 427-435, 2012.

WEB OF SCIENCE. [Base de dados – Internet]. Coleção Principal (Thomson Reuters Scientific). Disponível em: <<http://www.webofknowledge.com>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

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.

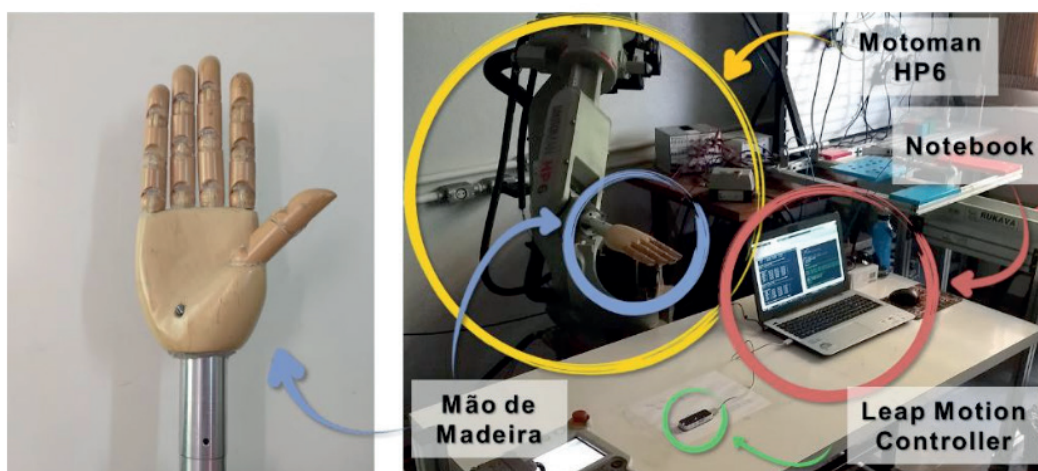


Figura 1 – Disposição dos equipamentos nos experimentos.

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.

ESTUDO PROSPECTIVO DE ÁCIDO LÁTICO PRODUZIDO POR LEVEDURAS EM GLICEROL BRUTO

Data de aceite: 26/11/2019

Leandro Rodrigues Doroteu

Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
Faculdade de Ciências Contábeis
Uberlândia - MG

Fabricio de Andrade Raymundo

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Rogério de Jesus Camargo Emidio

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Marcilene Cordeiro Gomes

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Camila Alves Areda

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Eliana Fortes Gris

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Grace Ferreira Ghesti

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Nadia Skorupa Parachin

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

Eduardo Antônio Ferreira

Universidade de Brasília UnB, Centro de Apoio ao
Desenvolvimento Tecnológico (CDT)
Brasília - DF

RESUMO: O presente trabalho é um estudo prospectivo acerca da produção de poli(ácido lático) (PLA) por leveduras utilizando resíduos industriais (glicerol) como fonte de energia. O PLA é a base para a produção de plásticos biodegradáveis (biopolímeros) produzidos em grande escala, a partir de subprodutos da indústria do biodiesel – fontes renováveis. A produção por rota biológica, além da solução no descarte de subprodutos industriais, amplia a utilização do PLA, destacando-se a indústria cosmética e para aplicações no corpo humano, como preenchimento facial, agregando valor ao produto. Utilizou-se como metodologia a tendência de pesquisa, medida pela produção de artigos científicos, em conjunto com a análise de registro de patentes. Optou-se pela utilização de quatro as bases: *Espacenet* e *Patentscope*

(patentes); Web of Science e Google Acadêmico (artigos). Os resultados demonstraram que a tecnologia em questão se encontra em nível de desenvolvimento em relação ao ciclo de vida da tecnologia, como uma tecnologia em estágio de escalonamento, ainda em andamento. Com base nas patentes analisadas foi possível verificar que o maior recorte das tecnologias dessa produção está entre os TRL4 a TRL6. De modo geral, a prospecção aponta uma promissora perspectiva na produção de PLA por leveduras a partir de glicerol para a indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Biopolímeros. Poli(ácido láctico). Leveduras.

PROSPECTIVE STUDY OF LACTIC ACID PRODUCED BY YEAST IN GROSS GLYCEROL

1 | INTRODUÇÃO

O ácido láctico é um ácido orgânico produzido por diversos organismos a exemplo de bactérias, fungos, leveduras e microalgas. Tem ampla aplicação industrial em seguimentos como alimentos, fármacos, têxteis, couro e também pode ser processado na indústria química o que lhe possibilita outras aplicações. Devido a esses fatores apresenta um amplo potencial de mercado (LIMA, et. al. 2016).

Uma das formas de processamento industrial do ácido láctico é a sua utilização como monômero (base de polímeros) utilizado para a produção de poli(ácido láctico) (PLA) biodegradável. Sua aplicação industrial é potencializada devido às suas características químicas de polímero biocompatível com o organismo humano e à sustentabilidade ecológica (DATTA; HENRY, 2006).

O poli(ácido láctico) (PLA) é considerado substituto do plástico convencional, feito a partir de derivado de petróleo. Assim, é uma possibilidade de substituição de um produto industrial (plástico convencional), produzido a partir de fonte esgotável (derivado de petróleo), por um produto a base de uma fonte vegetal, portanto renovável, que serve às mesmas funções sendo sustentável e biodegradável (SURYANEGARA; NAKAGAITO; YANO, 2009).

Em estudo prospectivo realizado no ano de 2014 o número de patentes brasileiras relacionadas a embalagens biodegradáveis depositadas, até então, foi considerado inexpressivo. O Brasil não possuía nem uma dezena enquanto o país líder apresentava em torno de oitenta, e o segundo colocado cerca de cinquenta patentes. Dessa forma “Os Estados Unidos é o país que maior detém a tecnologia de produção dos polímeros biodegradáveis e o Brasil ainda ocupa um espaço muito pequeno no cenário mundial como detentor desta tecnologia, sendo necessários incentivos que visem aumentar o cenário inovativo do país.” (MACHADO, et. al. 2014).

Outro estudo prospectivo analisou polímeros biocompatíveis aplicados à engenharia de tecidos e medicina regenerativa a partir da produção de artigos e depósito de patentes. Nesse estudo os polímeros receberam destaque, e o PLA foi citado como uma das possibilidades. “As tecnologias foram consideradas emergentes e de interesse em pesquisas científicas com potencial campo de crescimento.” (ROCHA; QUINTELLA; TORRES, 2014).

Em estudo de Cardoso; Souza e Guimarães (2017) relacionado a depósito de patentes de embalagens antimicrobianas em alimentos, verificou-se que dentre os doze tipos de polímeros possíveis para se trabalhar a tecnologia por eles analisadas, duas patentes utilizaram o PLA. Constatou-se também que o setor ainda é dominado por polímeros de base sintética, porém os pesquisadores mencionaram a importância e o interesse do desenvolvimento da tecnologia de polímeros biodegradáveis também no setor de embalagens ativas para alimentos como uma forma de sustentação ambiental. Cabe destacar que o setor de embalagens antimicrobianas é dominado por polímeros sintéticos “os sintéticos representaram a maior percentagem, 91% das patentes, enquanto os naturais apenas 9%”.

Dentre os microrganismos que podem processar o ácido láctico escolheu-se para o presente estudo as leveduras utilizadas em processos de fermentação, tendo como substratos subprodutos industriais como o subproduto da indústria de biodiesel, glicerol bruto, resíduo gerado na proporção de 10% da produção do biodiesel, que segundo dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, foi de 1,6 bilhões de litros no Brasil em 2016, mas já chegou ao número de 2,9 bilhões de litros em 2013 (ANP, 2016).

Verifica-se, portanto, que a indústria tem dificuldade de descarte de resíduos que apresentam potencial energético (fonte de carbono) mas que podem servir como base para processos de fermentação por leveduras preparadas para suportar o grau de toxicidade do material.

2 | METODOLOGIA

A atividade caracterizou-se como uma pesquisa quantitativa em fontes primárias representadas pelas próprias redações das patentes pesquisadas a partir de dois repositórios de patentes *Espacenet* (EPO) (*ESPACENET*, 2017) e *Patentscope* (*PATENTSCOPE*, 2017) e dois repositórios de artigos (Google Acadêmico e *Web of Science*) (Google Acadêmico, 2017 e *Web of Science*, 2017) e pelo número de produção de artigos científicos relacionados à tecnologia de utilização de leveduras para a produção de ácido láctico utilizando as palavras em língua inglesa: *Yeast*, *glycerol*, *poly lactic acid* e *lactic acid*, associadas aos operadores booleanos *and* e

or.

Com a aplicação dos operadores a busca foi aplicada aos termos: *Yeast and glycerol*, *Lactic acid and yeast and glycerol*, *Lactic acid or yeast*, *Lactic acid or glycerol* com seleção para a ocorrência dos termos no título ou no resumo. O que caracterizou a pesquisa como Bibliometria e análise de tendências. As buscas foram realizadas do dia 14 a 16 de junho de 2017.

Em um segundo momento a análise estatística “Na família de estatísticas, as principais técnicas são: Bibliometria (*Research Profiling*; *Patent Analysis*; *Text Mining*); Análise de Correlação; *Cross-Impact Analysis*; Análise de Risco; Análise de Tendência de Impacto (*Trend Impact Analysis [TIA]*) (PORTER et al., 2004, apud DOS REIS et. al., 2016).” Utilizamos a tendência de pesquisa medida pela produção de artigos científicos em conjunto com a análise de registro de patentes.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na busca de patentes no *Patentscope* foram encontradas 72 patentes, dessas 21 não tinham relação com a tecnologia de produção de poli(ácido láctico) (PLA) em glicerol por meio de leveduras, restando assim 51 patentes, distribuídas entre os quatro argumentos pesquisados. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Palavra-chave	Patentscope
<i>Yeast and glycerol</i>	16
<i>Lactic acid and yeast and glycerol</i>	2
<i>Lactic acid or yeast</i>	20
<i>Lactic acid or glycerol</i>	13

Figura 1 - Pesquisa em patentes Patentscope

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Observa-se na Tabela 1 que a expressão *Lactic acid or yeast* apresentou o maior número de resultados: 20, seguido de 16 resultados para *Yeast and glycerol*, 13 para *Lactic acid or glycerol* e em um refinamento maior da busca associando as palavras *Lactic acid*, *yeast*, *glycerol* pelo conectivo *and* apenas 2 depósitos.

Após a determinação do número de patentes relacionadas à pesquisa foi feito um estudo da evolução das patentes relacionando ao ano, buscando uma descrição cronológica dos depósitos relacionados à tecnologia (Figura 1).

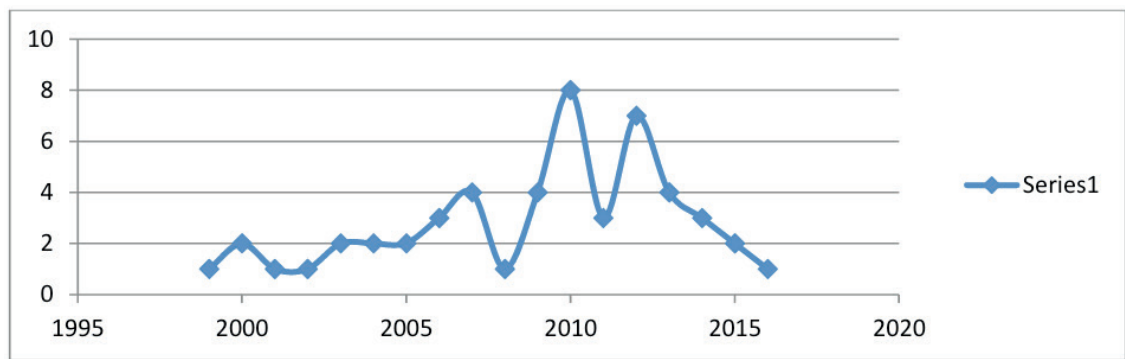


Figura 1 - Evolução anual de depósitos de patentes relacionadas com a tecnologia de produção de PLA em glicerol por meio de leveduras na base de dados do *Patentscope*

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Verificou-se que o primeiro depósito foi no ano de 1998, tendo seu ápice no ano de 2010, observando-se uma diminuição gradual do ano de 2013 a 2016. Estudos de patentes relacionadas a polímeros com agentes antimicrobianos ou embalagens ativas datam do final da década de 1980. “O ano de 1988, foi o início dos depósitos de patentes voltadas a polímeros incorporados com agentes antimicrobianos” (CARDOSO; SOUZA; GUIMARÃES, 2017). Apesar da produção por biotecnologia desses polímeros ativos, ainda há produção de polímeros sintéticos, então é representativo saber que o primeiro depósito relacionado à produção de ácido láctico em glicerol, base para polímeros biológicos, como demonstrado na Figura 1 é de 1998.

A constatação do início dos depósitos de polímeros biodegradáveis é coerente com o trabalho de Franchetti; Marconato (2006, p. 812) “Descobertos há cerca de 10 anos (informação prestada em 2004), os plásticos biodegradáveis, também denominados plásticos biológicos ou bioplásticos, hoje ainda têm uma participação mínima no mercado internacional.” Submetido em 2004, portanto redigido nesse ano e publicado em 2006, a tecnologia atualmente conta com mais de duas décadas.

Como se observa na Figura 1, na década de 1990 e anos iniciais de 2000 as pesquisas eram bem incipientes com o depósito de uma ou duas patentes (ano de 1999 a 2005) chegando ao depósito de quatro apenas em 2007. Os anos com maiores números de depósitos foram os anos de 2010 com 8 depósitos e de 2012 com 7 depósitos. Analisando o contexto do início dessa produção e de seu pico observa-se que entre os anos de 2010 a 2012 foram depositadas 18 patentes. Esses momentos guardam relação com as agendas estabelecidas nos eventos Rio 92 (início) e Rio mais 20 (pico), marco inicial e reafirmação de compromissos ecológicos impactantes em mercados relacionados à tecnologia analisada (GUIMARÃES; FONTOURA, 2012).

Na distribuição entre os países, demonstrada na Figura 2, verifica-se que o

país com maior número de patentes é a Coréia do Sul, com 11 patentes, o que corresponde a 21,56% do total de depósitos analisados. Em segundo lugar, com 9 patentes (17,64%) encontram-se o Brasil e a Coréia do Norte, seguidos do Japão (6 patentes - 11,76%) e Portugal (5 patentes - 10%). Os Estados Unidos e PCT possuem o mesmo número de patentes (3 patentes cada- 5,88%), bem como Áustria, Rússia e China (2 patentes cada - 3,92%). Em último lugar encontra-se a Rússia com 1 patente o que equivale a 2% do total de patentes analisadas.

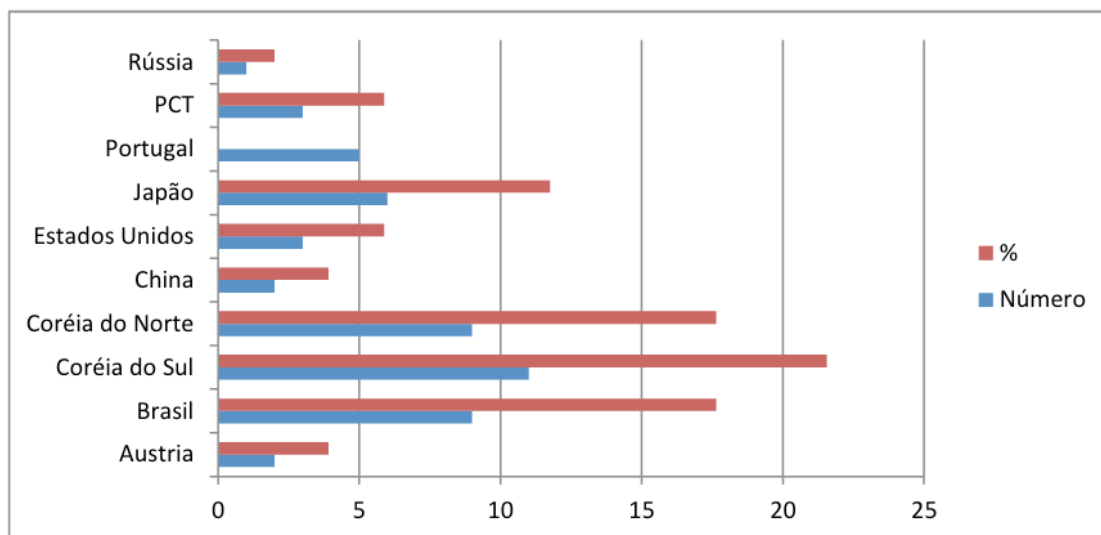


Figura 2 - Número de patentes relacionadas com a tecnologia de produção de PLA em glicerol por meio de leveduras depositadas por país na base de dados do *Patentscope*.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Ao associar os dados contidos nas Figuras 1 e 2 é possível verificar que apesar do pioneirismo japonês, país de onde se originou o primeiro depósito de 1998, atualmente merecem destaque nessa tecnologia a Coreia do Sul (11 depósitos), Coreia do Norte e Brasil (9 depósitos), seguidos pelo Japão (6 depósitos).

Os resultados da busca na base de patentes Espacenet, mais abrangente que a Patentscope, estão apresentados na Tabela 2. A pesquisa foi realizada com base nas mesmas expressões consultadas no título e abstract. Pela amplitude da base, que no geral apresentava mais de 10.000 resultados para cada consulta, optou-se por recortar também pela classificação da tecnologia apenas nas classificações A e C, classificações que estavam concentrados todos os resultados obtidos no Patentscope. Com esse recorte foi possível obter resultados compatíveis, resguardadas as proporções, com os apresentados na primeira base consultada conforme se observa na Tabela 2.

Palavras-chave	Spacenet
<i>Yeast and glycerol</i>	650
<i>Lactic acid and yeast and glycerol</i>	21

<i>Lactic acid or yeast</i>	199
<i>Lactic acid or glycerol</i>	199

Tabela 2 - Resultado da pesquisa de patentes na base de dados do *Espacenet*.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Verifica-se na Tabela 2 que os resultados obtidos em relação às expressões utilizadas foram diferentes dos resultados obtidos na base de dados Patentscope. A expressão *Yeast and glycerol* apresentou o maior número de resultados: 650, seguido de *Lactic acid or yeast* e *Yeast Lactic acid or glycerol* (199 cada) e *Lactic acid, yeast, glycerol* pelo conectivo *and*.

Além da busca em banco de dados de patentes o presente trabalho pretendeu também o levantamento bibliométrico, para tanto levando-se em conta o produto tecnológico pretendido a produção de ácido láctico por leveduras a partir de glicerol a foram empregados os mesmos argumentos de busca: *Yeast and glycerol*, *Lactic acid and yeast and glycerol*, *Lactic acid or yeast*, *Lactic acid or glycerol* nas bases *Web of Science* e *Google acadêmico*.

Palavra-chave	Web of Science	Google Acadêmico	Total
<i>Yeast and glycerol</i>	275	131	406
<i>Lactic acid and yeast and glycerol</i>	0	0	0
<i>Lactic acid or yeast</i>	98.357	6	98.363
<i>Lactic acid or glycerol</i>	36.196	2	36.196
Produção de poli-acido-latico	0	817	817

Tabela 3 – Número de publicações em diferentes bases de dados

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

Apesar da aparente abundância de produção acadêmica, ao se fazer um filtro do conteúdo que de fato tem relação com a tecnologia prospectada, observou-se uma pequena produção de trabalhos relativos à produção de PLA, de forma que na busca, tanto em língua portuguesa como em língua inglesa, não foi possível encontrar nenhum trabalho pelo título. A partir de uma análise dos conteúdos dos trabalhos localizados, 62 trabalhos podem ser relacionados aos termos, e destes, apenas 30 relacionados à produção de ácido láctico por leveduras em glicerol. Assim verifica-se que a pesquisa de produção de ácido láctico em glicerol é embrionária tanto no Brasil como no mundo, apresentando potencial de inovação bastante promissor. A Figura 3 apresenta a distribuição da produção dos artigos ao longo dos anos.

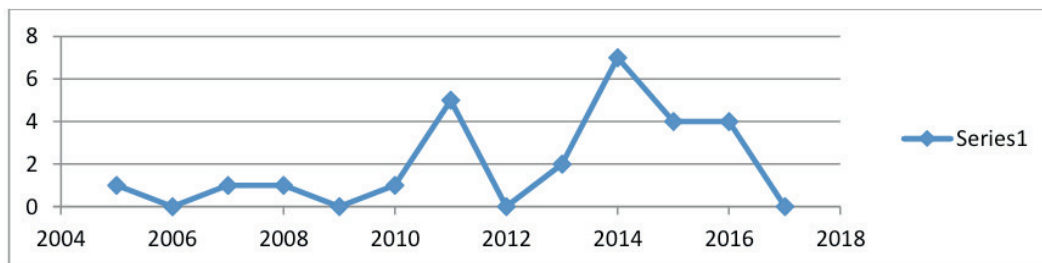


Figura 3 - Evolução anual dos artigos publicados nas bases *Web of Science* e *Google Acadêmico* relacionadas com a tecnologia de produção de PLA em glicerol por meio de leveduras.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

De modo geral pode-se observar que o número de publicações entre 2003 e 2010 foi de no máximo 1 artigo por ano. Em 2011 verifica-se um aumento significativo (5 artigos), seguido de um decréscimo em 2012. O auge se deu em 2014 com 7 artigos publicados, sendo seguido de um declínio expressivo nas publicações nos anos subsequentes para valores de 4 e 0.

A busca em bases de artigos difere da busca em bases de patentes pelo fato de os artigos não possuírem classificações, e as informações contidas nos seus campos (títulos, palavras-chave, resumo) não seguem critérios estabelecidos como nas reivindicações das patentes. Essas informações dependem apenas do(s) autor(es) e/ou sugestões dos revisores (QUINTELLA, et.al., 2011), o que restringiu os resultados a partir de uma análise detalhada das buscas.

Um comparativo relevante para aferição da maturidade tecnológica da produção de ácido láctico em glicerol pode ser expresso pela quantidade de patentes e de artigos. Esses dados são apresentados na Figura 4, sendo que a série 1 é relativa aos artigos e a série 2 às patentes.

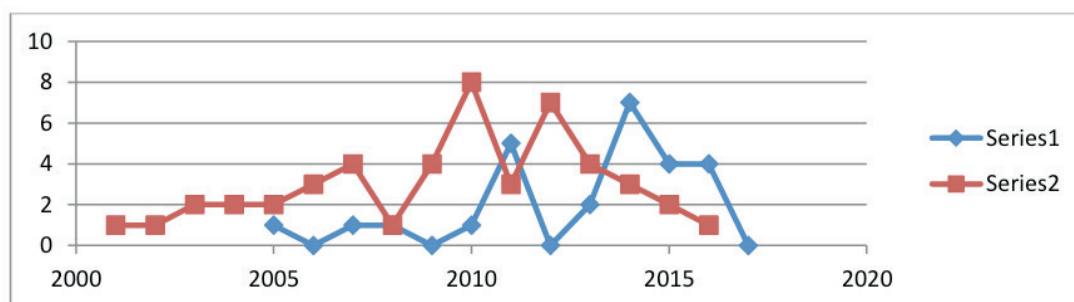


Figura 4 - Evolução anual da publicação de artigos nas bases *Web of Science* e *Google Acadêmico* e patentes na base de dados do *Patentscope* relacionadas com a tecnologia de produção de PLA em glicerol por meio de leveduras.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

O crescimento acentuado na produção de artigos, a partir do ano de 2011, e de depósitos de patentes, a partir de 2010, demonstra o grande interesse de pesquisa

e de produção relacionadas à tecnologia. Esse grande interesse na tecnologia de produção de PLA por leveduras em glicerol, atestado por essas informações colhidas nas bases de dados, é característico das tecnologias emergentes. Segundo alguns autores (QUINTELLA, 2009; JESUS, 2009), o crescimento expressivo na produção de patentes e artigos de uma determinada tecnologia é uma característica de tecnologias emergentes em seus primeiros anos de “apropriação”.

Analisando os pontos propostos no presente trabalho detalhando: o país/continente, ano da publicação, instituições que mais publicam ou inventores independentes, estabelecendo relações de proporções entre as publicações de artigos indexados e de patentes, com o detalhamento das tecnologias dos artigos e das patentes, das revistas e das editoras que mais publicam na área, é possível fazer-se mapas tecnológicos, com as seguintes aplicações:

O roadmap se aplica a um novo produto ou processo, ou a uma tecnologia emergente. Observa-se o desenvolvimento de um roteiro que apresenta três focos principais: (a) contribuir para chegar a um consenso sobre um conjunto de necessidades e sobre as tecnologias necessárias para satisfazê-las; (b) alicerçar a previsão da evolução tecnológica; e (c) fornecer um quadro para nortear o planejamento e coordenar a evolução da tecnologia (QUINTELLA, et. al., 2011, p. 25).

Para a análise relativa ao estágio de desenvolvimento e ciclo de vida da tecnologia foi utilizada a conceituação Roussel (1984) citado por CGEE (2014, p. 16), “a maturidade tecnológica pode ser avaliada segundo o estágio de desenvolvimento e aplicação no ciclo de vida da tecnologia. Ele descreve quatro fases sequenciais de maturidade tecnológica, a saber: (i) embrionária; (ii) crescimento; (iii) madura; e (iv) pós-madura.”

Outra forma de se aferir uma tecnologia é observar a sua oferta no mercado. Atualmente, já é possível encontrar com certa frequência sacolas de mercado e embalagens de alimentos feitas a partir de PLA produzido em fonte de carbono, comumente em substrato à base de amido e por processo sintético. De toda forma, o processo envolve a produção de ácido lático por meio de bactéria, algas ou leveduras, para depois submetê-lo ao processo de polimerização.

As vantagens de utilização das leveduras, conforme proposto, é que a partir de um resíduo industrial, glicerol bruto, produz o monômero L-ácido lático com alto grau de pureza apresentando melhor biocompatibilidade com o organismo humano. As bactérias produzem misturas racêmicas, o que dificulta o processo posterior de polimerização, e utilizam como substrato amidos e derivados, os quais são fontes concorrentes a alimentação.

FORÇAS (strengths)	Baixo custo para a Produção; Renovável; Biodegradável; 2 Leveduras geneticamente modificadas; Integração empresa <i>versus</i> academia no desenvolvimento da tecnologia; Biocompatível; Tecnologia nacional e pioneira para a produção do PLA.
FRAQUEZAS (weaknesses)	Tecnologia emergente; Risco associado à vida das cepas de leveduras; Relacionamento com o mercado nacional ainda não estabelecido; Dependência de editais de inovação para novos investimentos.
OPORTUNIDADES (opportunities)	Mercado para produção; Possibilidades de múltiplas aplicações (médica, farmacêutica, cosmética, embalagens); Parceria com os Institutos SENAI de inovação e a Universidade de Brasília para continuidade do desenvolvimento tecnológico; Possibilidade de conquista de mercado nacional e internacional; Incentivo nacional para logística reversa de resíduos industriais para geração de novos produtos com maior valor agregado; Geração cadeia produtiva.
AMEAÇAS (threats)	Dependência da indústria de biodiesel; Riscos tecnológicos associados à obtenção do PLA; Tempo exacerbado para a concessão das patentes; Poder de concorrência: mercado dominado por um único player; Novos fornecedores e concorrentes; Tecnologias e soluções avançadas.

Tabela 4 - Matriz SWOT para o PLA produzido por leveduras em glicerol bruto.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2019

A partir da consideração do número de artigos publicados em bases indexadas, do número de depósito de patentes nas bases pesquisadas, das possibilidades de aplicação da tecnologia e do mercado disponível verifica-se a possibilidade de abertura de novos mercados relacionados à aplicação no corpo humano, com base no ciclo de vida da tecnologia. Afere-se o seu nível de desenvolvimento, em relação ao ciclo de vida da tecnologia, como uma tecnologia em estágio embrionário. Trata-se de um estudo claramente ainda em desenvolvimento, que como é natural que seja, devido o interesse econômico, existam algumas poucas organizações no mundo explorando comercialmente a tecnologia de produção de PLA em glicerol por meio biológico, utilizando-se de leveduras.

Em relação à análise da prontidão tecnológica, a ferramenta indicada é o da tecnologia Technology Readiness Levels (TRL), uma escala com variação de 1 a 9 desenvolvida pela Agência Espacial Americana (NASA) colocada em prática em teste de materiais, a qual serve como exemplo de aplicação (GIL, ANDRADE, COSTA, 2014).

Com base nas patentes analisadas, mais detidamente tendo como referência o fato de que essas patentes analisadas competem com outras que guardam

proximidade entre si, é possível concluir que o maior recorte das tecnologias de produção de PLA em glicerol a partir de leveduras estão entre os TRL4 a TRL6, que segundo Quintella (2017, p.1) corresponde ao “desenvolvimento tecnológico focado em pesquisa aplicada e onde a transferência de tecnologia tem ainda grande viés acadêmico requerendo rodadas de negociação de Portfólios de PI e mentorias, startups; tradicionalmente denominada de piloto, por exemplo.”

Atualmente, o Brasil importa PLA e o valor elevado cobrado pela empresa pioneira no setor e o anseio de pessoas para terem acesso à tecnologia de preenchimento facial faz com que se desenvolvam pesquisas para aplicação médica de PLA. A constatação de que empresas incubadas tem pesquisas sendo desenvolvidas para o aumento da escala de produtividade em ambiente relevante para a exploração industrial, fazem-nos chegar à conclusão que a maior parte do recorte analisado no presente trabalho está entre o TRL 4 a 6.

4 | CONCLUSÃO

As pesquisas relativas à sua produção por meio de fermentação e métodos e mecanismos de extração e purificação desse ácido láctico produzido são mais recentes com depósitos de patentes a partir de 2001, e a primeira publicação de artigo datada de 2005. Observou-se um pico na produção de patentes em 2005/2006, mas o crescimento significativo no depósito de patentes foi no triênio de 2010/2012. O maior número de artigos concentrou-se nos anos 2011 a 2015.

Apesar de a bibliografia e dos números governamentais afirmarem que a política de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) no Brasil está aquém das políticas dos países orientais “Países como Coréia do Sul e Japão tem demonstrado um grande crescimento de depósitos de patentes, devido a sua política de incentivo a inovação e tecnologia, diferentes do Brasil,” a China responde por um terço do depósito de patentes no mundo, grande parte com proteção apenas em seu território (CARDOSO; SOUZA; GUIMARÃES, 2017).

No caso analisado, a produção de PLA por leveduras tendo como fonte de energia o glicerol, com destaque no Brasil, atribuindo-se o fato a sua vocação para o desenvolvimento de biocombustíveis e a tecnologia ser uma oportunidade para resíduos descartados da produção de biodiesel. Em adição, reporte-se que as instituições que se destacaram tratam-se de empresas privadas autofinanciadas e instituições de educação que mesmo com pouco ou nenhum financiamento governamental têm alta vocação nas atividades voltadas à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- CARDOSO, L. G.; DE SOUZA, C. O.; GUIMARÃES, A. G. **Prospecção tecnológica de patentes sobre a utilização de embalagens antimicrobianas em alimentos**. Cadernos de Prospecção, v. 10, n. 1, p. 14, 2017.
- CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Parcerias Estratégicas. Brasília: de Gestão e Estudos Estratégicos**: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. v. 19 n. 39 (dez 2014) Semestral. ISSN1413-9375
- DATTA, R.; HENRY, M. **Lactic acid**: recent advances in products, processes and technologies—a review. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 81, n. 7, p. 1119-1129, 2006.
- DOS REIS, D. R.; DE VINCENZI, T. B.; PUPO, F. P. **Técnicas de Prospecção: Um Estudo Comparativo**. Revista de Administração Contemporânea; v. 20, n. 2, p. 135-153, 2016.
- ESPAENET [Base de dados – Internet]. European Patent Office; 2016. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/>> Acesso em jul. 2017.
- FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C.. **Polímeros biodegradáveis** - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. Quím. Nova, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 811-816, July 2006. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000400031&lng=en&nrm=iso>. access on 29 June 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000400031>.
- GIL, L.; ANDRADE, M. H.; COSTA, M. do C. **Os TRL (Technology Readiness Levels) como ferramenta na avaliação tecnológica**. Revista Ingenium, p. 94-96, 2014.
- GOOGLE ACADÊMICO. [Base de dados – Internet] Google Inc.; 2017. Disponível em: <<http://scholar.google.com.br/>> - Acesso em Jun. 2017.
- GUIMARÃES, R. P.; FONTOURA, Y. S. dos R. da. **Rio+20 ou Rio-20?**: crônica de um fracasso anunciado. Ambient. soc., São Paulo, v. 15, n. 3, p. 19-39, Dec. 2012. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2012000300003&lng=en&nrm=iso>. access on 29 Jun. 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2012000300003>.
- JESUS, C. A. C. et al. **Prospecção Tecnológica de Biodiesel**. Cadernos de Prospecção, v.2, no 1, p. 17-21, 2009.
- LIMA, P. B. A. et al. **Novel homologous lactate transporter improves l-lactic acid production from glycerol in recombinant strains of Pichia pastoris**. Microbial Cell Factories, v. 15, n. 1, p. 158, 2016.
- MACHADO, B. A. S. et al. **Tendências tecnológicas de embalagens biodegradáveis através da prospecção em documentos de patentes**. Cadernos de Prospecção, v. 5, n. 3, p. 132, 2014.

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

Data de aceite: 26/11/2019

Fabrício de Andrade Raymundo

E-mail: fbi130620@gmail.com

Formação: Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, pelo Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação da Universidade de Brasília (PROFNIT/UnB); pós-graduado em Literatura, pela UnB, em Ciências Policiais, pelo Instituto Superior de Ciências Policiais (ISCP), e em Ciências Jurídicas, pela Universidade Cruzeiro do Sul (UNICSUL); bacharel em Direito, pela Universidade da Cidade de São Paulo, graduado em Letras e Literatura Espanhola, pela UnB, e em Segurança Pública, pelo ISCP.

Marcelo Borges de Andrade

E-mail: marcelo.and@gmail.com

Formação: Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, pelo Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação da Universidade de Brasília (PROFNIT/UnB); especialista em Engenharia de Sistemas, pela ESAB Brasil; e graduado em Engenharia de Computação, pelo Instituto de Educação Superior de Brasília IESB.

Marcus Vinícius Lopes Bezerra

E-mail: bezerra.marcus@gmail.com

Formação: Mestrando em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia e Inovação, pela

Universidade de Brasília; e pós-graduado em Gestão de Projetos, pela Universidade Católica de Brasília.

Marina Couto Giordano de Oliveira

E-mail: marina.giordano79@hotmail.com

Formação: Mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, pelo Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação da Universidade de Brasília (PROFNIT/UnB); especialista em Civil e Processo Civil; e bacharela em Direito e Letras–Tradução.

Sânia Léa Alves Rocha Lopes

E-mail: sanyalea.a@gmail.com

Formação: Mestranda em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação, pelo Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação da Universidade de Brasília (PROFNIT/UnB); bacharela em Direito, pela Faculdades Integradas da União Educacional do Planalto Central (2011).

Adriana Regina Martin

E-mail: adrianamartin@unb.br

Formação: Pós-Doutora em Inovação Tecnológica, pela UFSCar; doutora e mestra em Ciência e Engenharia dos Materiais, pela UFSCar, com doutorado Sandwich na Universidade de Wisconsin-Madison/USA e Bolsa Fulbright; pós-graduada em Política e Estratégia, pela ADESG; e bacharela e licenciada em Química, pela UFSCar.

Formação: Pós-Doutor em Farmacologia, pela Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP/USP); doutor em Química, pela FCFRP/USP; mestre em Química, pela Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP/USP); especialista lato sensu em Tecnologias na Aprendizagem, pelo Centro Universitário Senac; e bacharel em Química, pela Universidade de São Paulo (USP).

RESUMO: O presente artigo trata-se de uma análise da tecnologia protegida por pedido de patente de invenção de um dispositivo apontador, mais conhecido como *mouse*, que se propõe a permitir a distribuição da carga de trabalho na interação com um computador pessoal para as duas mãos. Objetivou-se verificar o estado da arte, o nível de maturidade tecnológica e o potencial mercadológico dessa invenção, a fim de analisar seu desenvolvimento, bem como suas rotas tecnológicas. Para tal, foi realizado um levantamento de dados nas bases internacionais Orbit – da Orbit Intelligence –, United States Patent and Trademark Office (USPTO), Espacenet – do European Patent Office (EPO) –, PATENTSCOPE – da World Intellectual Property Organization (WIPO) –, Web of Science – da Thomson Reuters Scientific – e na base nacional do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

PALAVRAS-CHAVE: *Mouse*. Apontador. Dispositivo.

AUXILIARY MOUSE WORK LOAD DISTRIBUTOR IN INTERACTION WITH A PERSONAL COMPUTER FOR TWO HANDS

ABSTRACT: The present article is an analysis of the technology protected by patent application of a pointer device, better known as mouse, which proposes to allow the distribution of the workload in the interaction with a personal computer for the two hands, verifying in relation to the technology of the device the state of the art, the level of technological maturity and market potential. By searching the Orbit databases (ORBIT INTELLIGENCE, 2018), USPT (USPT, 2018) and Espacenet (ESPACENET, 2018), the research still accessed the international databases Patentscope and Web of Science (Web of Science, 2018), and the national database of the Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI, 2018). The development of the technology was investigated, as well as the technological routes related to the technology under analysis.

KEYWORDS: Mouse. Pointing. Device.

1 | INTRODUÇÃO

Muitas atividades laborais exigem intensa interação com o computador. Grande parte dessa interação ocorre por meio do uso de periféricos (*mouse* e teclado), que realizam comandos de entrada de dados e exigem do homem a utilização de seus membros superiores.

Parte das doenças ocupacionais do trabalho está relacionada ao uso repetitivo das mãos e dos braços durante a operação desses periféricos, ocasionando o desgaste, a inflamação e o enfraquecimento dos músculos e nervos demandados na execução dos movimentos (DOS SANTOS, 2017).

O dispositivo de apontamento para interface gráfica em computador pessoal, popularmente conhecido como *mouse*, é um dispositivo eletromecânico que visa à entrada de dados em computadores pessoais por meio de sensores de deslocamentos.

O primeiro registro desse tipo de dispositivo foi feito com Douglas Engelbart, em 1970, na Universidade de Stanford (ENGELBART, 1970). Originalmente, a invenção recebeu a denominação de Indicador de Posição X-Y para Sistemas com Tela.

Em 1990, Reuben Nippoldt registrou a patente de um dispositivo de entrada de dados que consistia em uma esfera (*trackball*) que, ao ser manipulada, acionava sensores dispostos nos mecanismos rotatórios correspondentes às movimentações dos eixos x e y. Ao contrário do *mouse* de Engelbart, este dispositivo foi construído sobre uma base fixa (NIPPOLDT, 1990).

No pedido da patente USOO5999 169A, de 1999, Bobby C. Lee propôs um método em que um mecanismo de entrada de dois sinais digitais, por meio de dois dispositivos de entrada, multiplexados, com a finalidade de operar comandos em múltiplas direções, para cima e para baixo, para a esquerda e para a direita e movimentos de janelas, possibilitava a operação de múltiplos dispositivos computacionais de entrada de dados, ampliando o número de funcionalidades executadas simultaneamente (LEE, 1999).

O pedido de patente de invenção PI 0904503-1 analisado neste artigo traz uma proposta diferente da do *mouse* tradicional. Trata-se de um periférico computacional secundário, proposto por Rudi H. V. Els, da Fundação Universidade de Brasília (FUB), que permite auxiliar o operador a executar comandos externos ao teclado e ao *mouse* convencional nas ações de entrada de dados do usuário (ELS, 2009).

O dispositivo deve ser inserido no mercado como um complemento às interfaces tradicionais de computadores tradicionais com foco na prevenção das moléstias Lesão por Esforço Repetitivo (LER) e Doenças Osteoarticulares Relacionadas ao Trabalho (DORT). O público almejado são profissionais que trabalham por longo período em tarefas que exigem o uso contínuo do computador e de seus periféricos, especialmente do *mouse* (ELS, 2018).

O pedido de patente de invenção PI 0904503-1 foi depositado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) em 26 de agosto de 2009. Desde então, a FUB despendeu R\$ 1.342,00 a título de anuidade e restauração. Na nova realidade imposta pela Emenda Constitucional n. 95, de 15 de dezembro de 2016, limitando os gastos públicos, uma nova era de eficiência e planejamento de gastos deve ser estabelecida (BRASIL, 2016). Nesse sentido, a qualificação do pedido de proteção industrial se justifica na perspectiva do gerenciamento dos ativos de propriedade industrial de um

Núcleo de Inovação Tecnológica.

Observa-se, nesse contexto, que a lentidão na análise de pedidos de patente gera um aumento de gasto para o depositante e a possibilidade de a tecnologia desenvolvida se tornar obsoleta ao final do processo. Isso levanta uma questão importante: o pedido de proteção da tecnologia desenvolvida por Rudi H. V. Els e depositado pela FUB ainda se justifica, considerando o histórico e o tempo decorrido de sua proposta? Para responder a essa pergunta, utilizou-se o método de prospecção tecnológica, por meio de mapeamento patentário, a fim de verificar a existência de tecnologias iguais ou similares, em quais países a tecnologia está sendo patenteada e quais seus potenciais mercados, buscando-se, assim, um estudo sobre a viabilidade econômica da tecnologia. Ou seja, a prospecção tecnológica possibilita conhecer todas as tecnologias existentes, identificar o estágio de maturidade da tecnologia em questão e saber como ela se insere na sociedade (QUINTELLA et al., 2011).

2 | METODOLOGIA

Este trabalho fundamentou-se na busca de documentos patentários, com foco em *mouse* auxiliar, nas bases de dados internacionais Orbit – da Orbit Intelligence –, United States Patent and Trademark Office (USPTO), Espacenet – do European Patent Office (EPO) –, PATENTSCOPE – da World Intellectual Property Organization (WIPO) –, Web of Science – da Thomson Reuters Scientific – e na base nacional do Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI).

Foram realizadas duas estratégias de busca. Na primeira, para avaliar o desenvolvimento da tecnologia, utilizou-se as seguintes palavras-chaves nas bases de dados internacionais: “*mouse*”, “*computer*”, “*mice*”, “*therapeutic*”, “*ergonomic*”, “*orthopedic*”, “*auxiliary*”, “*repetitive strain injury*” e “*periph*”, bem como seus respectivos termos em português na base de dados do INPI. Foram utilizados os campos de busca “título”, “resumo” e o setor tecnológico *computer technology*. O limite temporal foi delimitado pelo campo “data de prioridade mais antiga” entre 01.01.2008 e 31.12.2017. Para ampliar e qualificar as buscas, optou-se por não limitar a abrangência territorial. A Tabela 1 apresenta a estratégia de busca em título e resumo associada a tecnologias similares. Utilizou-se o caractere de truncamento * (asterisco) e os operadores lógicos *and* e *or*.

Expressão de Busca	Resultados
<i>((mouse) and (computer))</i>	6.344
<i>(mouse or mice) and (computer)</i>	6.364
<i>(mouse or mice or periph*) and (computer)</i>	10.566
<i>(mouse or mice or periph*) and (computer) and (therapeutic)</i>	5
<i>(mouse or mice or periph*) and (computer) and (therapeutic or ergonomic)</i>	59
<i>(mouse or mice or periph*) and (computer) and (therapeutic or ergonomic or orthopedic)</i>	59
<i>(mouse or mice or periph*) and (computer) and (therapeutic or ergonomic or orthopedic or auxiliary)</i>	242
<i>(mouse or mice or periph*) and (computer) and (therapeutic or ergonomic or orthopedic or auxiliary or repetitive strain injury)</i>	243

Tabela 1 – Estratégia de busca em título e resumo associada a tecnologias similares

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

A segunda estratégia de busca foi realizada com foco na avaliação das rotas tecnológicas. Para a recuperação de informações nos bancos de dados, foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: “*mouse*”, “*computer*”, “*touch panel*”, “*haptic*”, “*gaze detection*”, “*voice controller*”, “*hand tracking*”, “*controller*”, “*hand gesture*”, “*human interaction*”, “*natural interface*” e “*brain computer interface*” e seus respectivos termos em português na base de dados do INPI. Foram utilizados os campos de busca “título”, “resumo” e o setor tecnológico *computer technology*. O limite temporal foi delimitado pelo campo “data de prioridade mais antiga” entre 01.01.2008 e 31.12.2017 e não foi adotada alguma limitação no que se refere à abrangência territorial, com vistas a ampliar as buscas. Além disso, utilizou-se o caractere de truncamento “?” (interrogação) e os operadores lógicos *and* e *or*. A Tabela 2 apresenta a estratégia de busca em título e resumo associada a rotas tecnológicas.

EXPRESSÃO DE BUSCA	RESULTADOS
<i>(computer) and (touch panel?)</i>	983
<i>(computer) and (touch panel? or haptic?)</i>	1.195
<i>(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection)</i>	1.215
<i>(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection or voice controller)</i>	1.220
<i>(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection or voice controller or hand tracking)</i>	1.227
<i>(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection or voice controller or hand tracking or controller? or hand gesture?)</i>	1.336
<i>(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection or voice controller or hand tracking or controller? or hand gesture? or human interaction)</i>	1.381

(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection or voice controller or hand tracking or controller? or hand gesture? or human interaction or natural interface)	1.383
(computer) and (touch panel? or haptic? or gaze detection or voice controller or hand tracking or controller? or hand gesture? or human interaction or natural interface or brain computer interface)	1.644

Tabela 2 – Estratégia de busca em título e resumo associada a rotas tecnológicas

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Além das estratégias de busca, este estudo contou com a técnica de entrevista presencial com o inventor da patente, por meio da qual foi possível coletar informações estratégicas como expectativa de lançamento do produto no mercado, tecnologias concorrentes, entre outras.

O *software* Microsoft Office Excel[®] foi utilizado para a análise e a elaboração dos gráficos constantes neste artigo.

3 | RESULTADOS EDISCUSSÃO

A Figura 1 demonstra os principais códigos da International Patent Classification (IPC) em que a tecnologia está depositada. O código mais representativo é o IPC G06F-003/0354. Essa classe abrange dispositivo com detecção de movimentos relativos em 2D entre o dispositivo ou sua parte operativa e um plano ou superfície (WORLD INTELLECTUALPROPERTY ORGA- NIZATION, 2018).

Destaca-se a relevância dos códigos G06F-003/039 e G06F-003/033. A classe G06F-003/039 abrange acessórios; a classe G06F-003/033, dispositivos de indicação deslocados ou posicionados pelo usuário e acessórios (WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2018).

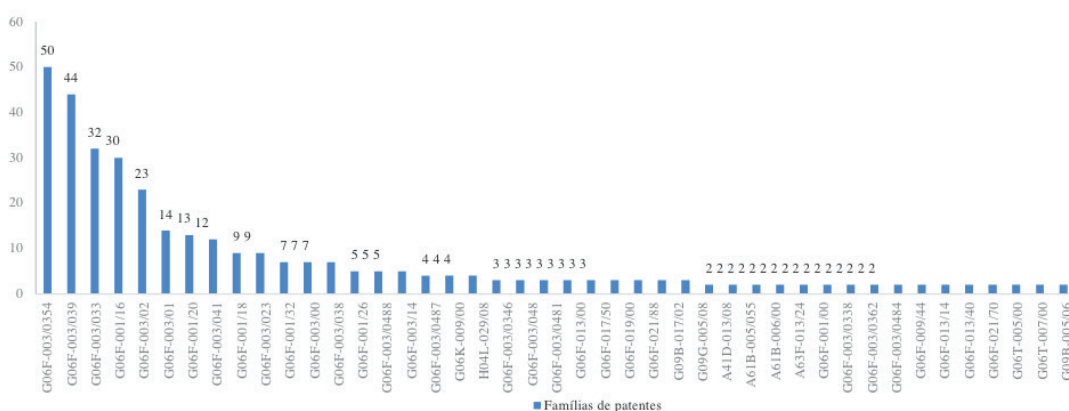


Figura 1 – Códigos de IPC mais frequentes

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Na Figura 2, uma análise sobre o domínio da tecnologia ao redor do mundo

apresenta as patentes depositadas por país de prioridade, mostrando o grau de domínio da tecnologia, e qual país é o detentor de maior relevância na área tecnológica dessa invenção.

Observa-se que a China é o país que mais detém depósitos da tecnologia pesquisada, com 73,09% dos documentos patentários, seguida pelos Estados Unidos da América (EUA), com 6,43%, e pela Coreia do Sul, com 5,22%. O Brasil, segundo os dados obtidos, não tem uma participação relevante nos depósitos dessa tecnologia.

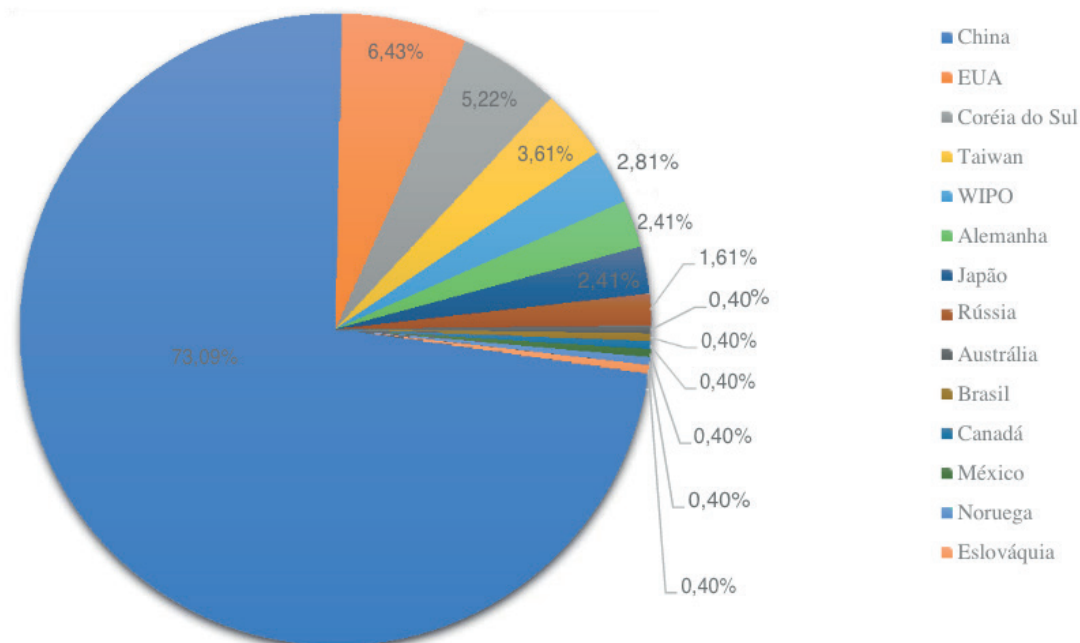


Figura 2 – Principais países de prioridade

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Na Figura 3, verifica-se que os depositantes das patentes estão distribuídos entre universidades, institutos e empresas, ficando evidente a liderança das organizações chinesas no mercado de depósitos desse segmento. Esse dado está em consonância com o da Figura 2, que apresenta a China como maior detentora dos documentos patentários.

As cinco universidades, instituições e empresas que mais depositaram patentes são a Chengdu Shengshi Puyi Technology, a Harbin Normal University, a Hon Hai Precision Industry, a China University of Mining & Technology e a Jiangsu Huangming Energy Technology.

Observa-se que universidades e empresas realizaram o depósito de patentes, o que demonstra uma visão mercadológica por parte das universidades.

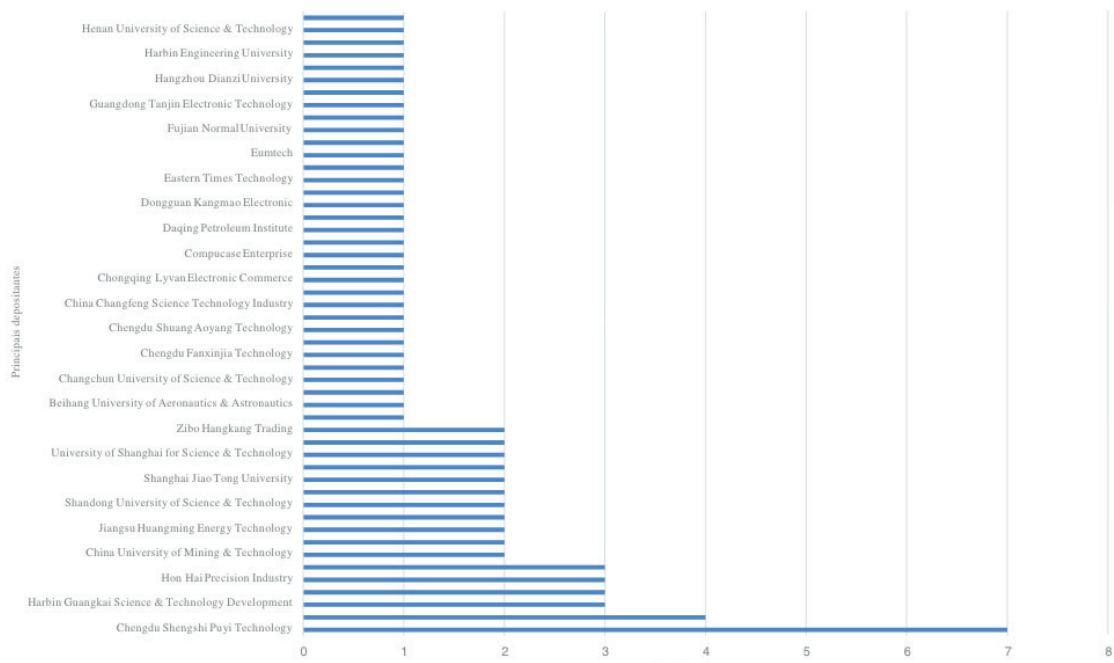


Figura 3 – Principais depositantes

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

No limite temporal delimitado, de 2008 a 2012, conforme ilustra a Figura 4, houve um acréscimo nos depósitos de documentos patentários realizados pelas organizações chinesas e, de 2013 a 2017, houve um pequeno decréscimo nos depósitos de documentos patentários efetuados pelas organizações chinesas. Ainda, nota-se que, em 2010, cresceu o número de patentes depositadas pela Alemanha.

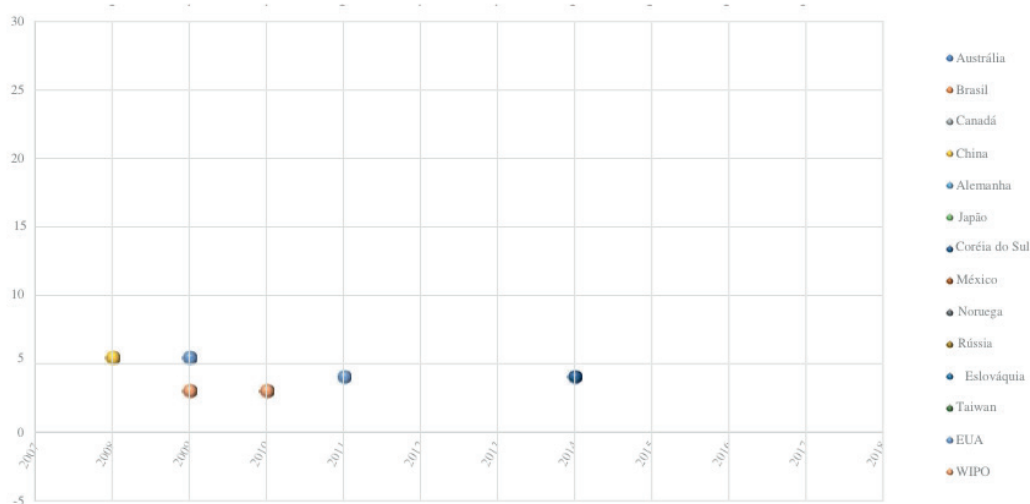


Figura 4 – Dispersão anual dos depósitos de pedidos de patente

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

No que se refere ao *status* legal dos documentos patentários, percebe-se que o maior percentual corresponde ao de patentes concedidas (29,63%), seguido pelas expiradas (26,34%), caducadas (24,28%), pendentes (17,70%) e revogadas (2,06%).

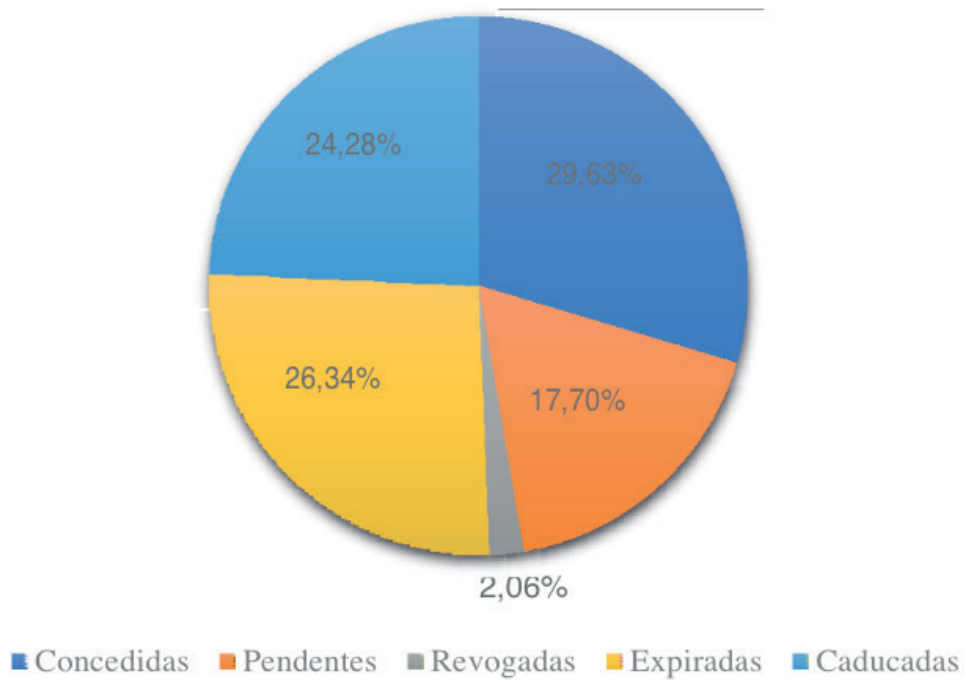


Figura 5 – Status legal dos documentos patentários

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

3.1 Análise da Maturidade Tecnológica

O Nível de Maturidade Tecnológica (NMT) é uma sistemática métrica utilizada para obter o grau de maturidade de uma determinada tecnologia (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, 2012). Em inglês, o NMT é denominado Technology Readiness Level (TRL). Essa sistemática métrica foi desenvolvida pelo pesquisador da National Aeronautics and Space

Administration (NASA) [Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço] Stan Sadin em 1974. A primeira escala foi concebida com sete níveis. Nos anos 1990, a escala passou a contar com nove níveis, que variam de TRL 1 a TRL 9 (BANKE, 2010) e permitem avaliar, em um determinado instante, o nível de maturidade de uma tecnologia em particular e, em uma comparação consistente de maturidade entre diferentes tipos de tecnologia, todo o contexto de um sistema específico, sua aplicação e seu ambiente operacional (MANKINS, 1995)

Uma nova tecnologia não nasce pronta. Para que esteja preparada para uso e comercialização, deve estar sujeita a experimentação, a simulação, a refinamento, a prototipagem e a ensaios de desempenho (VELHO *et al.*, 2017). Até lá, passará pelos níveis TRL 1 a TRL 9. O NMT é uma ferramenta bastante importante para elucidar quão madura está uma tecnologia em particular (BANKE, 2010), pois permite a elaboração de um planejamento adequado, reduzindo riscos inerentes ao processo de desenvolvimento tecnológico, de modo que fique dentro do prazo e orçamento esperados (MORESI *et al.*, 2017).

Em linhas gerais, os TRLs 1 a 3 referem-se à pesquisa básica e parcialmente

aplicada, denominada de bancada. Os TRLs 4 a 6 referem-se ao desenvolvimento tecnológico focado em pesquisa aplicada, denominado de piloto, e os TRLs 7 a 9 referem-se à finalização das tecnologias, denominada de demonstração e, depois, de comercial (QUINTELLA, 2017).

O *mouse* auxiliar, objeto de análise deste artigo, encontra-se no nível 4 de maturidade tecnológica (validação de componentes e/ou sistemas em ambiente laboratorial). Conforme Figuras 6 e 7, um protótipo do *mouse* já foi desenvolvido e validado somente em laboratório (ELS, 2018).

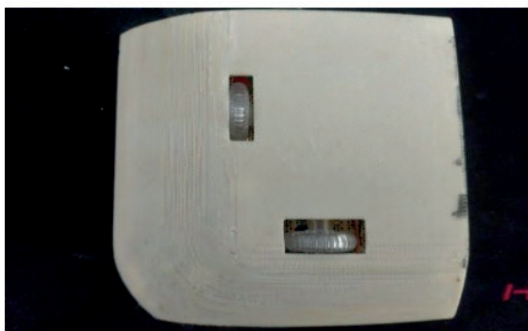


Figura 6 – *Mouse* auxiliar

Fonte: Acervo do inventor (2018)



Figura 7 – *Mouse* auxiliar

Fonte: Acervo do inventor (2018)

3.2 Análise SWOT

A partir do levantamento de dados, foi possível elaborar uma matriz de indicadores organizada em quatro setores – oportunidades, ameaças, fraquezas e forças – atinentes ao pedido de patente PI0904503-1 A2, conforme apresenta o Quadro 1. Os achados da análise SWOT demonstram, de forma lógica, que a tecnologia pesquisada encontra-se em desequilíbrio – desvantagem – se for tomada como referência a relação “Forças x Ameaças”. Por outra via, a relação “Oportunidades x Fraquezas” apresenta-se equilibrada, ainda que também em desvantagem se for considerado que o quesito “Oportunidades” depende de variáveis externas aos atores envolvidos no desenvolvimento da tecnologia.

OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Fabricação em larga escala visando à redução de custos.	Demora na concessão da patente.
Aumento das doenças do trabalho LER/DORT.	Evolução tecnológica e/ou rotas tecnológicas alternativas (tecnologia/produto substituído).
Investimento/financiamento externo.	Entrada de fortes concorrentes.
Parcerias estratégicas.	
Novas formas de <i>marketing</i> mais eficientes e baratas.	

Fraquezas	Forças
<i>Design</i> pouco ergonômico.	Tecnologia.
Facilidade de entrada de concorrentes.	Capacidade técnica.
Mudança de hábito.	
Preço estimado pouco competitivo.	
Recursos limitados.	
Força de vendas limitada.	

Quadro 1 – Análise SWOT sobre a tecnologia do pedido de patente PI0904503-1 A2

Fonte: Elaborado pelos autores deste artigo (2018)

A Figura 8, a seguir, demonstra os principais códigos de IPC das tecnologias similares à invenção analisada. O código mais representativo é o IPC G06F-003. Essa classe abrange disposições de entrada, para transferir dados a serem processados por uma forma capaz de ser manipulada pelo computador; e disposições de saída, para transferir dados da unidade de processamento por uma unidade de saída (WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION, 2018).

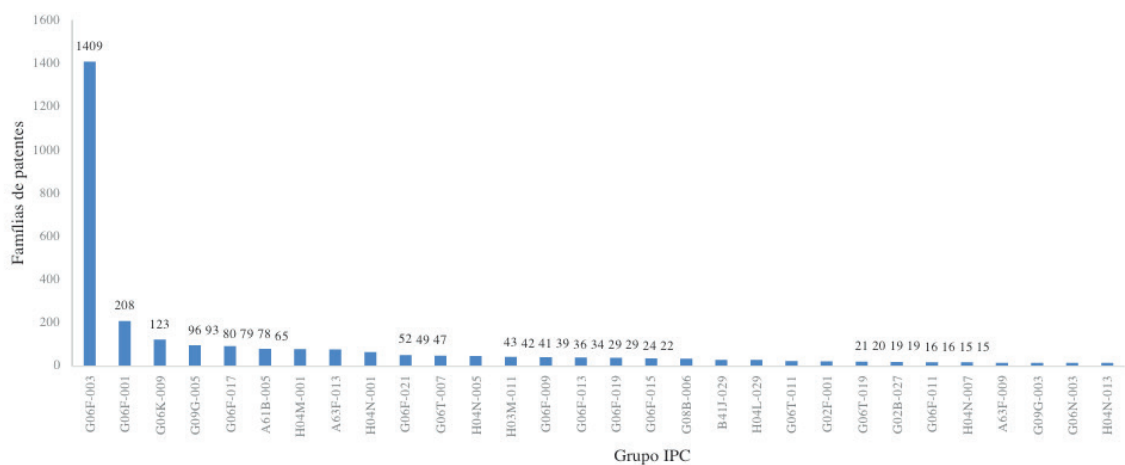


Figura 8 – Códigos de IPC mais frequentes

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

3.3 Análise das Rotas Tecnológicas

Como resultado da análise sobre o domínio da tecnologia ao redor do mundo, a Figura 9 apresenta os documentos patentários depositados com tecnologia similar por país de prioridade, sendo possível analisar qual país é o detentor de maior relevância na área tecnológica.

Observa-se que os três países que mais detêm tecnologias similares à tecnologia analisada são China, com 30,97%; seguida pelo Japão, com 26,55%; e pelos EUA, com

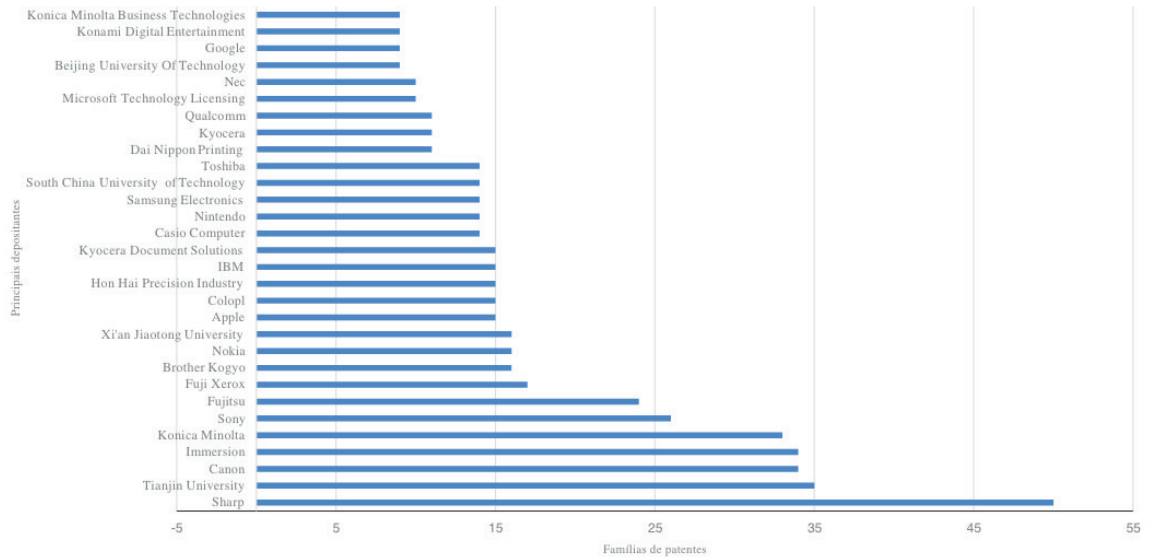


Figura 10 – Principais depositantes

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

A Figura 11 demonstra a dispersão cronológica dos depósitos de pedidos de patentes, indicando que há um crescimento linear de documentos patentários ao longo dos anos. Demonstra também uma superação da China em relação ao Japão a partir de 2015, mas ainda inferior aos EUA. Contudo, a partir de 2016, o Japão e os EUA decaem nos depósitos de patentes e a China não apenas continua crescendo, mas também os supera.

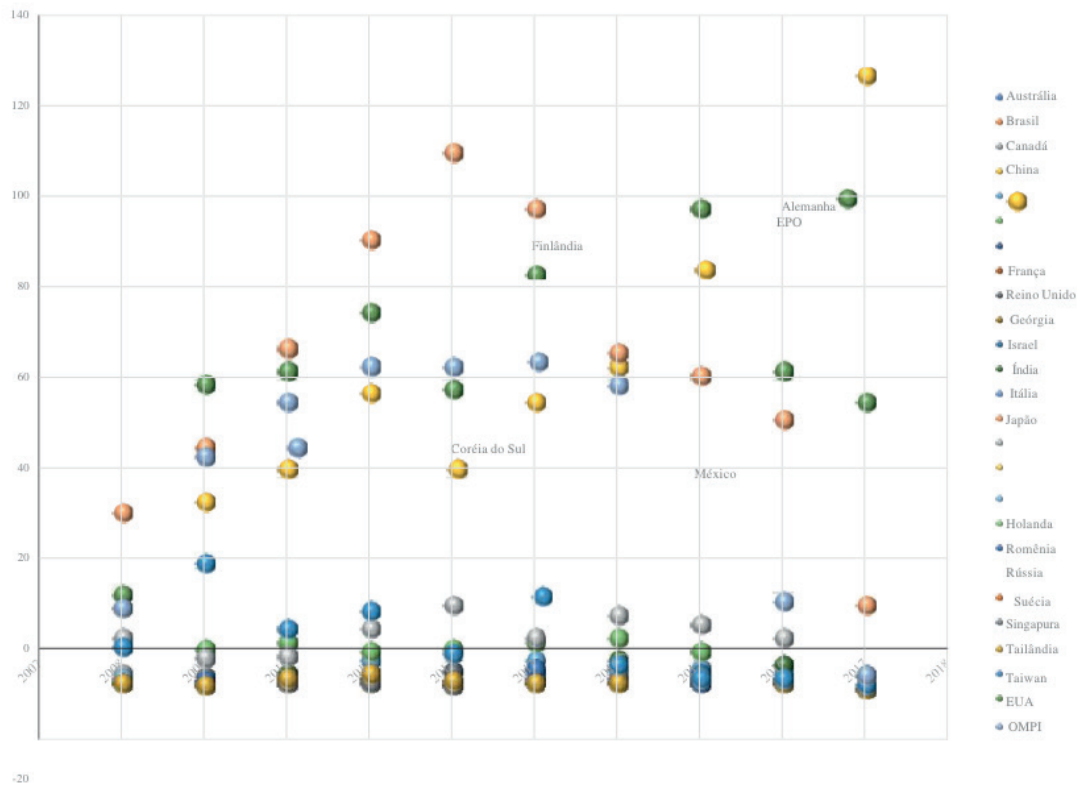


Figura 11 – Dispersão anual dos depósitos de pedidos de patente

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

No que se refere ao *status* legal dos documentos patentários, percebe-se que o maior percentual corresponde ao de patentes concedidas (49,39%), seguido pelas pendentes (29,38%), caducas (13,50%), revogadas (4,81%) e expiradas (2,98%).

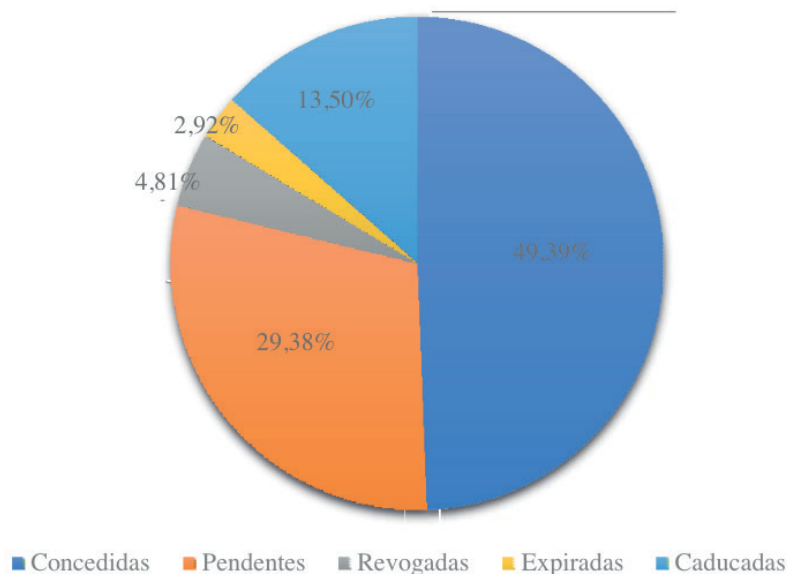


Figura 12 – *Status* legal dos documentos patentários

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Também foi realizada uma busca da produção de artigos científicos, com o objetivo de demonstrar o nível de publicações relacionadas à tecnologia do pedido de patente, de acordo com os temas ciência da computação e tecnologias.

Diante da coleta de dados dos artigos publicados sobre *mouse* de computador e áreas tecnológicas relacionadas, verifica-se, na Figura 13, a evolução anual dessas publicações, de 2008 a 2017, com destaque para uma queda dos registros no ano de 2013.

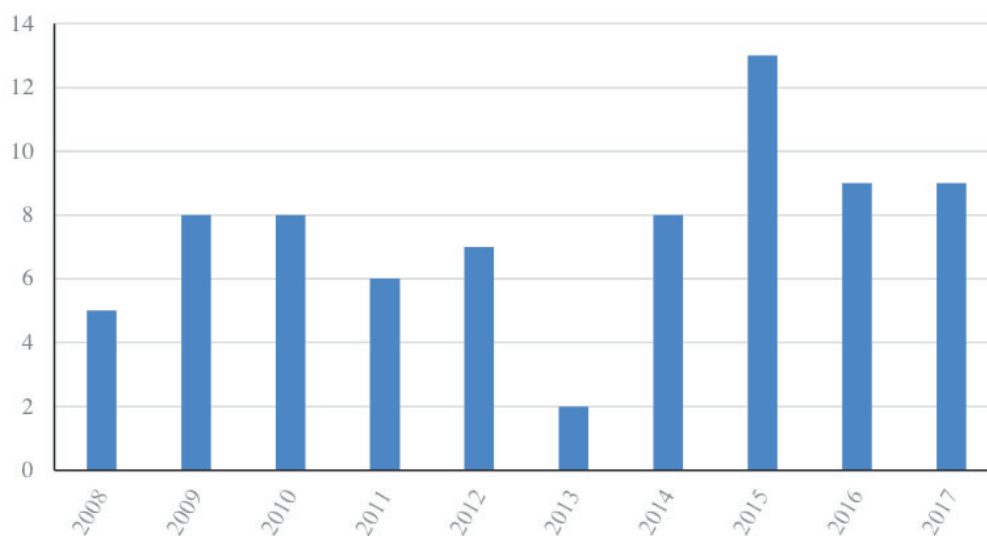


Figura 13 – Evolução anual de artigos publicados sobre *mouse* auxiliar, de 2008 a 2017

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Em que pese a China ser a maior detentora dos documentos patentários de tecnologias similares à invenção analisada, os EUA são protagonistas na publicação de artigos sobre *mouse* de computador (Figura 14).

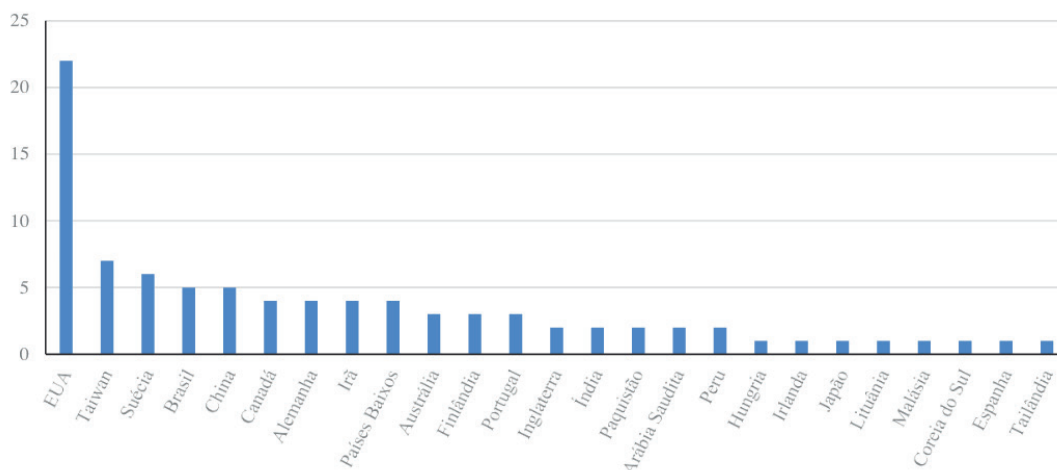


Figura 14 – Distribuição de artigos publicados por país

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

Em uma análise do grau de domínio da tecnologia (patentes depositadas) em razão do conhecimento científico (artigos publicados) por país a respeito do *mouse* de computador, verifica-se o domínio da tecnologia pela China e o domínio do conhecimento científico pelos EUA.

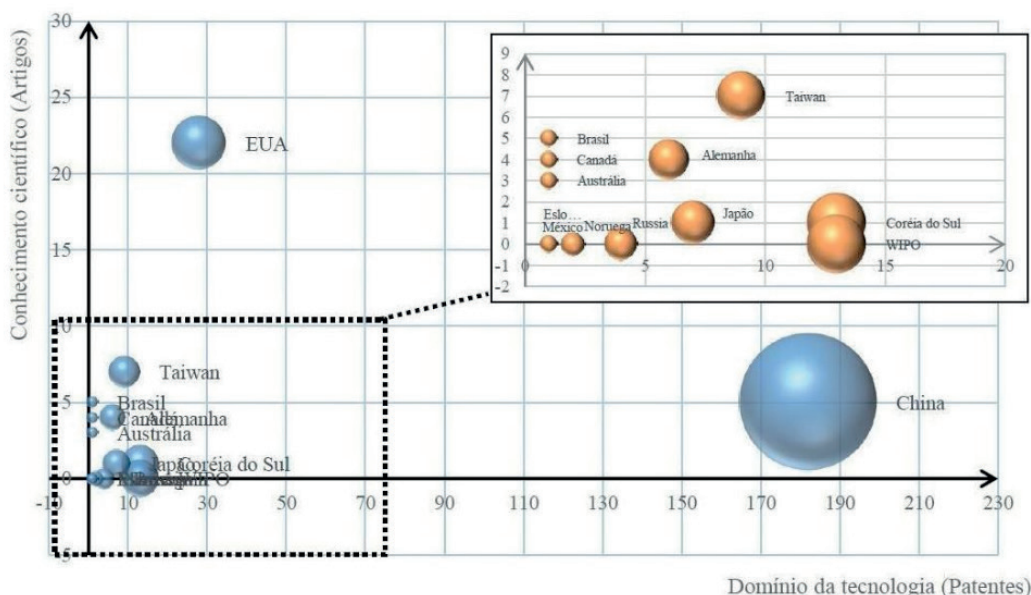


Figura 15 – Dispersão da produção de artigos e patentes por país

Fonte: Elaborada pelos autores deste artigo (2018)

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Depois de estudar a patente e escolher os indicadores a serem utilizados nas

bases de dados internacionais e nacional, foram obtidas as informações necessárias para as análises.

Identificou-se o setor empresarial como líder de depósito das patentes dessa linha tecnológica, uma vez que o setor acadêmico possui um baixo percentual de títulos e não foi encontrado algum depósito de pessoa física.

Apesar de a China deter 73,09% dos documentos patentários, nota-se que as universidades, instituições e empresas chinesas deixam de ser protagonistas e passam a dividir a liderança com empresas japonesas.

Constatou-se, ainda, que a tecnologia em estudo caracteriza-se por um nível de maturidade tecnológica inicial, enquadrado no TRL 4.

Entende-se, pelo exposto neste artigo, que a patente em questão propõe-se a minimizar, de forma eficiente, os problemas com saúde relacionados a LER e a DOR, na medida em que distribui a carga de trabalho na interação do usuário com o computador por meio de um dispositivo auxiliar, sendo importante sua introdução no mercado quanto antes. Nesse sentido, apesar de existir uma evolução tecnológica do pedido patentário como *touch panel*, *haptic* e *voice controller*, o inventor acredita que o produto tenha um ciclo de vida potencial para os próximos 10 anos.

Dito isso, recomenda-se que o inventor e a FUB desenvolvam ações que envolvam potenciais parcerias, editais de subvenção ou licenciamento, para elevar a maturidade tecnológica do *mouse* auxiliar e agilizar sua introdução no mercado, evitando-se, assim, que a patente se torne obsoleta.

REFERÊNCIAS

BANKE, J. **Technology readiness levels demystified**. 2010. Disponível em: <https://www.nasa.gov/topics/aeronautics/features/trl_demystified.html>. Acesso em: 29 dez. 2018.

BRASIL. **Emenda Constitucional n. 95, de 15 de dezembro de 2016**. [2016]. Altera o Ato das Disposições Constitucionais Transitórias, para instituir o Novo Regime Fiscal, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/emendas/emc/emc95.htm>. Acesso em: 19 jun. 2018.

DOS SANTOS, F.R. *et al.* Ergonomia de escritório: fatores corretivos relacionados à prevenção de LER/DORT. **Revista Científica Faculdades do Saber**, Mogi Guaçu, v.2, n. 3, p. 156–167, 2017.

ELS, Rudi H. Van. **Entrevista concedida a Marina Couto Giordano de Oliveira e a Marcelo Borges de Andrade**. Brasília, DF, 15 maio 2018.

_____. **Mouse auxiliar para permitir a distribuição da carga de trabalho na interação com um computador pessoal para as duas mãos**. BR Pat. PI0904503-1 A2, 26 ago. 2009. 16 p.

ENGELBART, D. C. **X-Y position indicator for a display system**. US Pat. 3541541A, 17 nov. 1970. 7 p.

EUROPEAN PATENT OFFICE (EPO). **Espacenet**: base de dados *on-line*. [2018]. Disponível em: <<https://worldwide.espacenet.com/>>. Acesso em: 30 maio 2018.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Base de dados on-line**. [2018]. Disponível em: <<http://www.inpi.gov.br/>>. Acesso em: 30 maio 2018.

LEE, B. C. **Computer graphical user interface method and system for supporting multiple two-dimensional movement inputs**. US Pat.4952919. 7 dez. 1999. 12 p.

MANKINS, J. C. **Technology readiness levels**. A white paper. 1995. Disponível em: <http://www.artemisinnovation.com/images/TRL_White_Paper_2004-Edited.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2018.

MORESI, E. *et al.* Análise de níveis de prontidão: uma proposta para empresas nascentes. *In: CONGRESO IBERO-AMERICANO EM INVESTIGACIÓN CUALITATIVA*, 6., Salamanca, 2017. **Atas...** Salamanca: CiaiQ, 2017. 4v. Disponível em: <<https://proceedings.ciaiQ.org/index.php/ciaiQ2017/article/view/1127>>. Acesso em: 29 dez. 2018.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). **Technology readiness levels**: introduction. 2012. Disponível em: <https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html>. Acesso em: 30 maio 2018.

NIPPOLDT, R. E. **Trackball mechanism**. US Pat.4952919, 28 ago. 1990. 8 p.

ORBIT INTELLIGENCE. **Base de dados on-line**. [2018]. Disponível em: <<https://www.orbit.com>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

QUINTELLA, C. M. A Revista Cadernos de Prospecção e os Níveis de Maturidade de Tecnologias (TRL). **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 10, n. 1–2, p.1, jan./mar. 2017.

QUINTELLA, C. M. *et al.* Prospecção tecnológica como uma ferramenta aplicada em ciência e tecnologia para se chegar à inovação. **Revista Virtual de Química**, Salvador, v.3, n.5, p.406– 415, nov. 2011.

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE (USPTO). **Base de dados on-line**. [2018]. Disponível em: <<https://www.uspto.gov/patents-application-process/search-patents/>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

VELHO, S. R. K. *et al.* Nível de Maturidade Tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, DF, v. 22, n. 45, p. 119–140, jul./dez. 2017.

THOMSON REUTERS SCIENTIFIC. **Web of Science**: base de dados *on-line*. [2018]. Disponível em: <<https://www.periodicos.capes.gov.br/>>. Acesso em: 30 maio 2018.

WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION (WIPO). **PATENTSCOPE**: base de dados *on-line*. [2018]. Disponível em: <<https://patentscope.wipo.int/>> Acesso em: 30 maio 2018.

ÓXIDOS MISTOS A BASE DE TiO_2/ZnO APLICADOS NA DEGRADAÇÃO FOTOCATÁLÍTICA DA ATRAZINA

Data de aceite: 26/11/2019

Gabriel Maschio de Souza

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Maringá – Paraná

Gabriela Nascimento da Silva

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Maringá – Paraná

Luiz Mário de Matos Jorge

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Maringá – Paraná

Onélia Aparecida Andreo dos Santos

Universidade Estadual de Maringá, Centro de
Tecnologia
Maringá – Paraná

RESUMO: A atrazina (2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-s-triazina), um agroquímico altamente tóxico e de difícil degradação natural, tem sido frequentemente encontrado no monitoramento de solos, alimentos e águas fluviais ou subterrâneas, devido ao uso excessivo no meio ambiente. Neste sentido, o uso de fotocatalisadores para a descontaminação de águas contendo materiais orgânicos se mostra como uma alternativa eficiente devido as suas propriedades oxidativas. O processo envolve a

ativação, por luz solar ou artificial, de um material semicondutor, ocasionando a mineralização total ou parcial desses contaminantes. Neste contexto, o presente trabalho visa à degradação da atrazina, por fotocatalise, utilizando óxidos mistos a base de TiO_2 e ZnO como catalisadores. Os catalisadores foram preparados por impregnação úmida com excesso de solvente e caracterizados por medidas de adsorção/dessorção de N_2 , difração de raios X (DRX) e análises termogravimétricas (ATG). As reações fotocatalíticas foram conduzidas num reator descontínuo tipo batelada, e as amostras da reação foram analisadas por cromatografia líquida de alta resolução e espectrofotometria UV-Vis a um comprimento de onda de 221nm para avaliar o comportamento da atrazina ao longo da reação. O resultado mostrou que o catalisador contendo 10% de ZnO/TiO_2 foi mais eficiente que os catalisadores TiO_2 e ZnO puros comerciais, apresentando uma degradação completa da atrazina e uma mineralização parcial dos produtos após 60 minutos de reação. A degradação da atrazina na presença de 10% ZnO/TiO_2 já nos primeiros 2 minutos de reação foi de 79%, enquanto utilizando os catalisadores de TiO_2 e ZnO foi obtido 47% e 51% de degradação, respectivamente, para o mesmo tempo reacional.

PALAVRAS-CHAVE: fotocatalise, degradação, atrazina, óxidos mistos.

ABSTRACT: Atrazine (2-chloro-4-ethylamino-6-isopropylamino-s-triazine), a highly toxic and difficult to naturally degrade agrochemical, has often been found in monitoring soil, food and river or groundwater due to overuse. In the environment. In this sense, the use of photocatalysts for the decontamination of waters containing organic materials is an efficient alternative due to their oxidative properties. The process involves the activation, by sunlight or artificial light, of a semiconductor material, causing the total or partial mineralization of these contaminants. In this context, the present work aims at the degradation of atrazine by photocatalysis using TiO₂ and ZnO mixed oxides as catalysts. The catalysts were prepared by wet impregnation with excess solvent and characterized by measurements of N₂ adsorption / desorption, X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric analysis (TGA). The photocatalytic reactions were conducted in a batch-type reactor, and the reaction samples were analysed by high performance liquid chromatography and UV-Vis spectrophotometry at a wavelength of 221nm to assess atrazine behaviour throughout the reaction. The result showed that the catalyst containing 10% ZnO/TiO₂ was more efficient than commercial pure TiO₂ and ZnO catalysts, showing complete atrazine degradation and partial product mineralization after 60 minutes of reaction. Atrazine degradation in the presence of 10% ZnO/TiO₂ within the first 2 minutes of reaction was 79%, while using the TiO₂ and ZnO catalysts, 47% and 51% degradation, respectively, were achieved for the same reaction time.

KEYWORDS: photocatalysis, degradation, atrazine, mixed oxides.

1 | INTRODUÇÃO

A crescente demanda por produção de alimentos tem impulsionado o uso de agroquímicos nas plantações, a fim de evitar pragas e possibilitar maior produtividade. Por conseguinte, tem havido um aumento significativo na geração de resíduos perigosos, o que vem causando impactos negativos na saúde e no ambiente, destacando em particular o resíduo de pesticidas (MOREIRA et al., 2012; BRASIL, 2013; MARTINS, 2011). A aplicação de herbicidas em solos agrícolas é uma prática estabelecida para controlar o crescimento de ervas daninhas. Os derivados de triazinas representam um grupo notável, cuja utilização aumentou em muitos países nas últimas décadas.

A atrazina é um herbicida usado para o pré-controle de ervas daninhas e pós-emergência (USEPA 2007; JAVARONI et al., 1999), causando contaminação ambiental devido à capacidade de sorção e dessorção do solo e alta persistência (NAKAGAWA & ANDREA 2000; COELHO et al., 2012), especialmente na água, onde o tempo de persistência pode ser superior a 4 anos (DELLAMATRICE et al., 2012). Os problemas de contaminação pela atrazina têm acarretado em uma preocupação

mundial cada vez maior, pois além de apresentar alta solubilidade em água, este herbicida é altamente resistente aos métodos convencionais de tratamento de água e esgoto, e de difícil biodegradação, exacerbando os problemas de poluição ambiental.

A exposição prolongada de seres humanos ao herbicida atrazina foi investigada por Cragin e colaboradores resultando em dados alarmantes que advertem sobre os riscos deste à saúde. Por essa razão é considerado um desregulador endócrino, apresentando riscos de afetar a qualidade do sêmen e fertilidade nos homens, bem como de aumentar a probabilidade do câncer de mama em mulheres (CRAGIN et al., 2011). Devido ao efeito nocivo da atrazina nos seres humanos e nos ecossistemas, a Organização Mundial da Saúde (OMS) fixou 0,1 mg/L como sendo a concentração máxima desse herbicida admissível na água potável (OMS, 2011).

Neste sentido, a fotocatalise heterogênea, um processo oxidativo avançado (POA), vem atraindo grande interesse da comunidade científica, como uma forma alternativa para degradar compostos orgânicos. Esse processo visa à degradação do poluente por meio da neutralização do contaminante, sem deixar resíduos perigosos ao meio ambiente (PARRA et al., 2004). De acordo com a literatura (RICHARD et al., 1997), os semicondutores TiO_2 e o ZnO vem sendo amplamente utilizados, pois ambos se encontram com grande disponibilidade, baixo custo e não apresentam toxicidade. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho consiste em avaliar o desempenho de catalisadores a base de óxidos mistos TiO_2 - ZnO , contendo 10% em massa de ZnO na composição, e catalisadores TiO_2 e ZnO puros, na degradação fotocatalítica da atrazina.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação e Caracterização dos Fotocatalisadores

Na preparação dos catalisadores a base de titânio contendo diferentes cargas de zinco, pelo método da impregnação com excesso de solvente, foram utilizados TiO_2 e ZnO comerciais puros, das marcas Synth e Dinâmica respectivamente. O método consiste basicamente em misturar o TiO_2 com água desionizada, deixar essa mistura resultante, sob lenta agitação, adicionar óxido de zinco, previamente dissolvido em água desionizada, na quantidade necessária para preparar o material na composição desejada (10% em massa de Zinco).

Em seguida, a solução foi submetida à agitação por 12 horas, tempo necessário para ocorrer à impregnação do TiO_2 com o ZnO , imediatamente depois o excesso de solvente foi eliminado por evaporação a vácuo, em evaporador rotatório, com ligeiro aquecimento de 80°C. Posteriormente, foi mantido na estufa a 100°C por 24 horas para o término da secagem (SANTOS, 1999). Subseqüentemente a este processo, os

catalisadores, suportados e os comerciais, passaram por análise termogravimétrica (ATG) para estabelecer a melhor temperatura de calcinação. Por fim, tanto os catalisadores sintetizados quanto os comerciais foram submetidos à calcinação em mufla, em atmosfera oxidante (ar), por 4 horas na temperatura determinada após a análise termogravimétrica e caracterizados por medidas de adsorção/dessorção de N₂ (área superficial específica, volume específico e diâmetro médio de poros) e difração de raios X (DRX).

2.2 Caracterização dos catalisadores

Para as análises termogravimétricas dos compostos foram utilizados o Analisador Termogravimétrico Shimadzu modelo TGA-50M e uma micro balança Analítica Mettler Toledo modelo MX5. Para tanto foi utilizada cerca de 1g de amostra armazenada em um cadinho de alumínio. As condições de análises foram: vazão 50 mL/min de N₂, desde a temperatura ambiente até 1273 K e velocidade de aquecimento de 10°C/min.

As análises de medidas de adsorção/dessorção de N₂, área superficial específica, volume específico e diâmetro médio de poros foram determinados no equipamento Quanta Chrome modelo Nova 1200, utilizando adsorção de N₂ a 77 K. Antes das análises, as amostras calcinadas foram submetidas a um tratamento térmico a 460 K, sob vácuo por 8 horas, com o propósito de eliminar água e materiais adsorvidos nos poros das amostras durante a manipulação das mesmas.

Por sua vez, os difratogramas foram obtidos em um difratômetro de raios X, D8 Advance da Bruker, utilizando radiação CuK α , (V= 40 KV, I= 35 mA). Os parâmetros utilizados foram: ângulo (2θ) entre 20 e 80°; passo de 0,01°; velocidade de 0,28°/min. Os dados foram analisados com o programa X 'Pert HighScore e com os padrões publicados pela JCPDS (1995).

2.3 Testes Fotocatalíticos

A atividade catalítica dos materiais foi avaliada em reator batelada na presença de 1 mg/L de atrazina previamente dissolvida em 750 mL de água desionizada. Na solução contendo o herbicida foram adicionados 10mg do catalisador e a mistura resultante foi mantida sob agitação constante durante a reação (período de 1 hora). A fonte de luz UV consistiu em uma lâmpada de vapor de mercúrio de 250 W, desprovida do bulbo e protegida por um tubo de quartzo, a qual ficou submersa na solução durante todo o processo.

Para avaliar a degradação da atrazina alíquotas foram retiradas em intervalos regulares (0, 2, 5, 10, 20, 30 e 60min) e filtradas com membrana Millipore de 0,45 μ m para retirada dos catalisadores. As leituras foram realizadas por cromatografia em fase líquida de alta eficiência, com detector UV a 221nm, Coluna C18, 5 μ ,

comprimento 250 mm e diâmetro 4,6 mm, vazão de $1\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e fase móvel composta de uma solução aquosa de acetonitrila com 55% em volume (PARRA et al., 2004; MOURÃO et al., 2010).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Catalisadores

Os resultados obtidos com a análise de difração de raios X mostraram que no catalisador suportado $10\%\text{ZnO}/\text{TiO}_2$ foram encontrados picos referentes ao TiO_2 , na fase anatase em $25,4^\circ$, $38,6^\circ$ e $48,1^\circ$ e, picos referentes ao ZnO em $31,8^\circ$, $36,3^\circ$ e $47,5^\circ$, mesmos picos encontrados para os óxidos puros. Isso indica que a síntese por impregnação com excesso de solvente foi eficiente e manteve as características dos óxidos puros. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Nirmala et. al., 2010, e Souza et. al, 2013.

A análise textural, por sua vez, determinada por medidas de adsorção/dessorção de N_2 mostraram que o óxido misto ($10\%\text{ZnO}/\text{TiO}_2$) apresenta uma estrutura mesoporosa, com área superficial específica de $7,17\text{ m}^2/\text{g}$, volume específico de poros de $7,887 \times 10^{-3}\text{ cm}^3/\text{g}$ e diâmetro médio de poros de aproximadamente 22 \AA . Tanto os valores de área superficial quanto os de volume específico se mostraram superiores aos encontrados para os TiO_2 e ZnO comerciais, os quais apresentaram $16,8$ e $13\text{ m}^2/\text{g}$ como área superficial e $0,02177$ e $0,01053\text{ cm}^3/\text{g}$ de volume específico, respectivamente.

3.2 Testes Fotocatalíticos

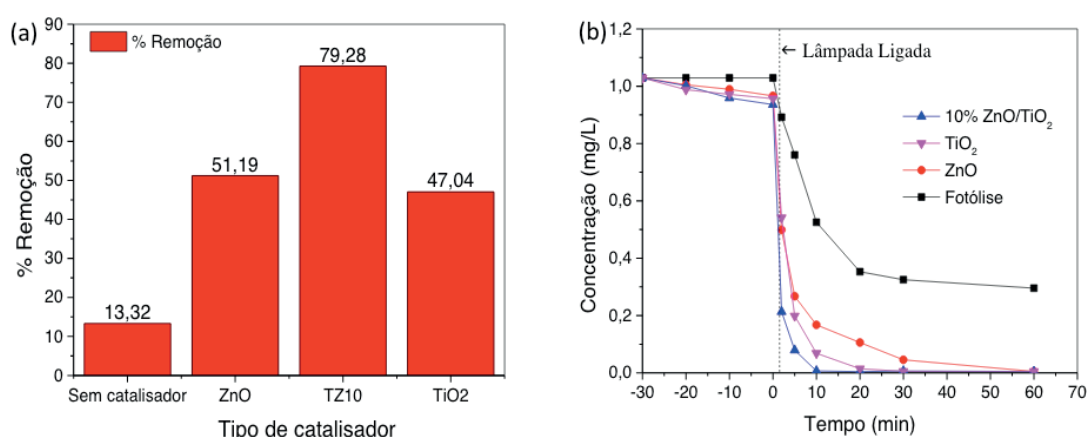


Figura 1 – Degradação da atrazina na presença de $10\%\text{ZnO}/\text{TiO}_2$: a) Em 2 min de reação; e b) Em 60 min de reação

A eficiência do catalisador suportado ($10\%\text{ZnO}/\text{TiO}_2$), bem como dos óxidos comerciais puros (ZnO , TiO_2) foi avaliada na degradação da atrazina, conforme apresentado na figura 1. Por meio da figura 1a, pode ser observado uma degradação

significativa do contaminante na presença tanto dos catalisadores comerciais ZnO e TiO₂ puros quanto do catalisador suportado (preparado pelo método de impregnação contendo 10% de ZnO em TiO₂) já nos primeiros dois minutos de reação, apresentando uma degradação de 51%, 47% e 79% respectivamente, neste tempo reacional. Desta forma, pode-se observar um efeito sinérgico com a impregnação dos dois óxidos.

A fim de verificar se o herbicida alvo foi degradado no processo fotocatalítico heterogêneo, realizaram-se experimentos na ausência de luz e na presença do catalisador (teste de adsorção), mostrado na figura 1b. Os ensaios realizados em condições escuras não evidenciaram qualquer atividade de degradação, sendo observado somente uma diminuição da concentração de atrazina de aproximadamente 9% durante os primeiros 20 minutos do ensaio e permaneceu praticamente inalterada nos 10 minutos restantes, indicando que o equilíbrio de adsorção do herbicida na superfície do catalisador foi atingido após 30 minutos de ensaio. Após este período, a solução foi irradiada com luz UV, dando-se início à reação fotocatalítica propriamente dita.

Além disso, foi realizado teste de controle adicional na presença da atrazina, em que o fotorreator foi irradiando pela lâmpada de vapor de mercúrio na ausência de fotocatalisador (reação de fotólise). Embora o sistema fotolítico tenha atingido cerca de 70 % de degradação da atrazina, o nível residual deste poluente após 60 minutos de tratamento (aproximadamente 0,3 mg/L) estava acima do limiar humano de 0,1 mg/L permitido pela OMS (Oms, 2011), em concordância com o que foi apresentado na figura 1b.

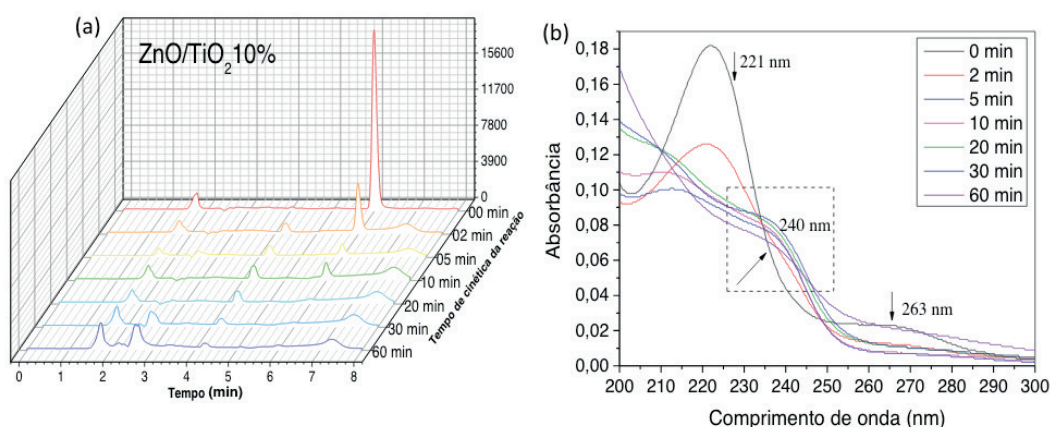


Figura 2 – Degradação da atrazina na presença de 10%ZnO/TiO₂: a) Cromatogramas das amostras após 60 min de reação; e b) Varreduras espectrais ao longo de 60 min.

Por meio da figura 2a observa-se que a atrazina apresenta um tempo de retenção dentro da coluna cromatográfica de aproximadamente 6 minutos. Neste tempo torna-se visível a diminuição da quantidade de herbicida presente no meio com o desenvolvimento da reação. Desta forma, observa-se que a atrazina degradou totalmente após os 30 minutos de reação. Contudo, verifica-se ainda o surgimento

de pequenos picos em outros tempos de retenção, o que pode indicar a possível formação de intermediários como subprodutos da reação.

Com a análise em espectro UV-Vis nota-se uma mudança no formato e na intensidade das curvas obtidas, indicando o desaparecimento total do herbicida e o surgimento de um novo pico em 240 nm, na região delimitada no gráfico. De acordo com Moreira et al. (2016), o composto que aparece no comprimento de onda de 240 nm é a Atrazina-2-hidroxi, um dos subprodutos mais comuns da atrazina e, possivelmente, menos tóxico devido a hidroxilação do anel triazinico junto ao carbono halogenado. Ao que tudo indica e conforme a literatura, o aumento do pico Atrazina-2-hidroxi, também conhecida como Hidroxiatrazina foi procedido da queda do pico da atrazina (SILVA et al., 2017).

4 | CONCLUSÃO

As análises de caracterização evidenciam que a deposição de zinco em superfície da titânia ocasionou um aumento nas áreas superficiais e nos volumes específicos de poros, tornando assim a superfície dos catalisadores mais acessível à luz ultravioleta. Foi também observado um efeito sinérgico na degradação da atrazina com o uso do catalisador de óxidos mistos 10% ZnO/TiO₂, por demonstrar uma porcentagem de remoção superior aos obtidos com os catalisadores comerciais, já nos primeiros 2 minutos de reação. Além da completa remoção do contaminante após 30 minutos reacionais. O monitoramento do comportamento da degradação da atrazina por meio da espectroscopia UV/Vis, permitiu identificar a formação de um pico no comprimento de onda de 240 nm, correspondente a um possível intermediário na reação, confirmando a degradação do herbicida.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa PIBIC/CNPQ-Fundação Araucária-UEM, ao DEQ e ao Complexo de Centrais de Apoio à Pesquisa (COMCAP), pelo suporte oferecido para a realização deste projeto.

REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Monitoramento de agrotóxicos na água para consumo humano no Brasil**, 2011, n. 44, 2013.

COELHO ERC, VAZZOLER H, LEAL W. P., **Using activated carbon for atrazine removal from public water supply**. Revista Engenharia Sanitária, v. 17, n. 4, p.421–428, 2012.

- CRAGIN, L. A.; KESNER, J. S.; BACHAND, A. M.; BARR, D. B.; MEADOWS, J. W.; KRIEG, E. F., 2011, **Menstrual cycle characteristics and reproductive hormone levels in women exposed to atrazine in drinking water**. *Environmental Research*, 111, 1293-1301, DOI: 10.1016/j.envres.2011.09.009.
- DELLAMATRICE, P. M., COSTA, L. S., MARQUES, A. S., VIANA, M. S., ARAÚJO R. S., **Degradação de agrotóxicos por fungos Basidiomicetos em solo agrícola contendo altos níveis de três produtos diferentes**. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 22, p. 7–16, 2012.
- JAVARONI, A. C. R.; LANDGRAF, D. M.; REZENDE, O. O. M. **Comportamento dos Herbicidas Atrazina e Alaclor aplicados em solo preparado para o cultivo de cana-de-açúcar**. *Química Nova*, v. 22, n. 1, 1999.
- MARTINS, L. M., **ESTUDO DA APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS VISANDO O SEU REÚSO**. Dissertação de Mestrado – Desenvolvimento e Meio Ambiente. *Universidade Federal do Piauí, Teresinha*, 2011.
- MOREIRA, A. J., PINHEIRO B. S., ARAÚJO A. F., FRESCHI G. P. G., 2016, **Evaluation of atrazine degradation applied to different energy systems**, *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 18502-18511.
- MOREIRA, J. C., PERES, F., SIMÕES, A.C., PIGNATI, W. A., DORES, E. C., VIEIRA, S. N., STRUSSMAN, C., MOTT, T., **Contaminação de águas superficiais e de chuva por agrotóxicos em uma região do estado do Mato Grosso**, *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, p. 1557– 1568, 2012.
- MOURÃO, H. A. J. L.; MALAGUTTI, A. R.; RIBEIRO, C. **Synthesis of TiO₂-coated CoFe₂O₄ photocatalysts applied to the photodegradation of atrazine and rhodamine B in water**. *Applied Catalysis A: General*, v. 382, n. 2, p. 284 - 292, 2010.
- NAKAGAWA, L. M., DE ANDRÉA, M. M., **Degradação e formação de resíduos não-extraíveis ou ligados do herbicida atrazina em solo**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, n.8, p.1509-1515, ago. 2000.
- NIRMALA, M., NAIR, M. G., REKHA, K., ANUKALIANI, A., SAMDARSHI, S. K., NAIR, R. G., 2010, **Photocatalytic activity of ZnO nanopowders Synthesized by DC Thermal Plasma**, *African Journal of Basic & Applied Sciences*, 2, 161-166.
- OMS (Organização Mundial da Saúde), 2011. **Guidelines for drinking-water quality - 4th ed.** <apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf> accessed 20.12.2016.
- PARRA, S.; STANCA, S. E.; GUASAQUILL, I.; THAMPI, K. R. **Photocatalytic degradation of atrazine using suspended and supported TiO₂**. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 51, n. 2, p.107 - 116, 2004.
- RICHARD, C.; BOSQUET, F.; PILICHOWSKI, J. **Photocatalytic transformation of aromatic compounds in aqueous zinc oxide suspensions: effect of substrate concentration on the distribution of products**. *Journal Of Photochemistry And Photobiology A: Chemistry*, v. 108, n. 1, p.45-49, 1997.
- SANTOS, O. A. A. **Hidrogenação seletiva do ácido oléico em catalisadores de rutênio**. 1999. 229f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- SILVA G. N., SOUZA G. M., NETO A. F. A., JORGE L. M. M., SANTOS O. A. A., 2017, **Influence of ZnO Content in Mixed Oxides Catalysts Applied in the Photocatalytic Degradation of Atrazine**.
- SOUZA, D. A. R., GUSATTI M., SANCHES C., MOSER, V., M., KUHNEN N. C., RIELLA H. G., 2013,

Initial studies of photocatalytic discolouration of methyl orange by using zno nanostructures, Chemical Engineering Transactions, 32, 2275-2280. DOI: 10.3303/CET1332348.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Chemical Summary, Atrazine, U.S. EPA, **Toxicity and Exposure Assessment for Children's Health**, 2007.

PARADIGMAS TECNOLÓGICOS E REGIMES DE APROPRIABILIDADE: O CASO DA INDÚSTRIA FONOGRÁFICA NA ERA DIGITAL

Data de aceite: 26/11/2019

Sheila de Souza Corrêa de Melo
Edoardo Sigaud Gonzales
Natália Bonela de Oliveira

RESUMO: O receio do impacto das inovações tecnológicas – e consequentemente sua rejeição – não são comportamentos novos na sociedade; talvez o movimento Ludita seja seu exemplo mais citado. O presente trabalho busca tecer um liame silogístico entre os conceitos de paradigma e trajetória tecnológicos de DOSI, e dos regimes de apropriabilidade de TEECE e PISANO, com base no caso recente da indústria fonográfica. Busca-se demonstrar que as trajetórias tecnológicas são elementos precípuos de abalo aos regimes de apropriabilidade existentes nos ramos de atividade econômica. Dentro desta ótica, argumenta-se que a habilidade em explorar as ferramentas providas pelos novos paradigmas tecnológicos é um dos fatores que determinam o sucesso ou fracasso das firmas.

PALAVRAS-CHAVE: Paradigmas tecnológicos. Regimes de apropriabilidade. Indústria fonográfica.

ABSTRACT: The fear of the impact of technological innovations – and consequently,

their rejection – are hardly new behaviour in our society; perhaps the Liddite movement being its most cited example. The present work aims to establish a syllogistic bond between the concepts of technological paradigm and trajectory from DOSI, and appropriability regimes from TEECE and PISANO, with the recent case study of the phonographic industry. It seeks to demonstrate the technological trajectories are main elements of turmoil to the established appropriability regimes in any field of economic activity. From that viewpoint, it is argued that the inability to explore the tools provided by the new technological paradigms is one of the factors that determine success or failure of firms.

KEYWORDS: Technological paradigms. Appropriability regimes. Phonographic industry.

1 | INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos representam uma grande – senão a principal – força disruptiva na indústria, em todos os segmentos econômicos. Pode-se afirmar que esta força vem alcançando proporções cataclísmicas nos últimos 50 anos, com a revolução digital trazida pela introdução dos circuitos integrados. Porém, a última década trouxe o ápice deste processo, com a popularização e penetração pervasiva da internet. Neste contexto, a

indústria da fonográfica, especificamente, vem sendo massivamente desafiada pelas inovações tecnológicas recentes, sobretudo as relativas aos novos métodos de distribuição e consumo de música em formato digital, desmantelando a antiga supremacia das grandes gravadoras e distribuidoras fonográficas. Este novo cenário adquiriu tamanha dimensão que levou estudiosos e militantes a considerarem que uma nova sociedade e cultura estão, de fato, em formação (DIAS, 2010)¹.

Desde o surgimento do compartilhamento on-line de arquivos digitais, a indústria fonográfica entrou em um declínio constante, até que novas tecnologias começaram a impulsionar o faturamento novamente, como as plataformas de download pagas ou patrocinadas e, principalmente, o consumo via *streaming*², que no ano de 2015 foi responsável por um crescimento de 3,2% no faturamento da indústria fonográfica - a expansão mais robusta desde 1998, segundo a Federação Internacional da Indústria Fonográfica (THE ECONOMIST, 2016)³. Estas modalidades inovadoras de fato garantiram 70% de toda a renda da indústria fonográfica nos EUA⁴, tendência esta que se repete em similares proporções no mundo todo.

O presente trabalho pretende, em um primeiro momento, analisar a evolução teórica, acerca do consumo, a produção e a compreensão da Inovação como fator de impacto econômico, assim como a formação e ruptura de paradigmas tecnológicos, e sua relação com os 'regimes de apropriabilidade' tratados por David Teece (TEECE, 1986)⁵ e Gary Pisano (PISANO, 2006)⁶. Posteriormente, busca traçar um resumo histórico das trajetórias tecnológicas dos mecanismos de oferta de música, delineando breves apontamentos sobre as transformações socioeconômicas (e jurídicas) advindas da tecnologia Streaming, que provocou uma verdadeira reorganização de poderes na cadeia produtiva da indústria fonográfica tradicional.

1 DIAS, Marcia Tosta. Indústria fonográfica: a reinvenção de um negócio. Economia da arte e da cultura. Bolaño, Golin e Brittos (orgs.). SP: Itaú Cultural, 2010. P. 165-183. Disponível em < http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31486144/Industria_fonografica_a_reinvencao_de_um_negocio.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1472239416&Signature=OKdNMINC%2FaaIWpQqK4U1OOX4nrE%-3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DIndustria_fonografica_a_reinvencao_de_um.pdf> Acesso em 22 ago. 2016.

2 Streaming compreendido aqui como uma tecnologia que proporciona ao usuário o consumo sem o download, de forma on-line

3 THE ECONOMIST. DO CÉU DOS CDS AO INFERNO DIGITAL – Via ESTADÃO, caderno Economia & Negócios. Disponível em <<http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,do-ceu-dos-cds-ao-inferno-digital,10000026896>> Acesso em 26. Ago. 2016.

4 G1- Música. MÚSICA DIGITAL GARANTE 70% DA RENDA DA INDÚSTRIA FONOGRÁFICA NOS EUA – Disponível em <<http://g1.globo.com/musica/noticia/2016/03/musica-digital-garante-70-da-renda-da-industria-fonografica-nos-eua.html>> Acesso em 22 ago. 2016.

5 TEECE, David. Profiting from technological innovation: implications for integration, collaboration, licensing and public policy. Research Policy 15, p. 285-305, 1986.

6 PISANO, Gary, 2006. Profiting from innovation and the intellectual property revolution. Research Policy 35, p. 1122-1130, 2006.

2 | EVOLUÇÃO TEÓRICA: PARADÍGMAS TECNOLÓGICOS E REGIMES DE APROPRIABILIDADE

Permeada pelo modelo capitalista, predominante no final do século XIX, a teoria neoclássica centralizava-se nas flutuações de oferta e demanda dos mercados, na busca de um modelo de equilíbrio, com foco na formação dos preços e na produção (e distribuição da renda). Nenhuma empresa poderia, portanto, afetar o mercado significativamente (TIGRE 2006)⁷. O modelo, apesar de naquele momento amplamente aceito, era limitado, por não considerar mudanças tecnológicas e comportamentais como fatores determinantes.

Embora tenha sido um tema abordado (em segundo plano) por Smith, Ricardo e Marx, somente Schumpeter aprofundou o estudo do progresso tecnológico como um elemento fundamental para o desenvolvimento das economias capitalistas. O termo '*Inovação*' foi usado por Schumpeter para descrever “uma série de novidades que podem ser introduzidas no sistema econômico e que alteram substancialmente as relações entre produtores e consumidores, sendo o elemento fundamental para o desenvolvimento econômico” (TORRES, 2012)⁸.

Schumpeter, em sua obra “Teoria do Desenvolvimento Econômico”, de 1982, advertiu que o surgimento de uma inovação que modificasse veementemente as condições pré-existentes poderia desequilibrar o mercado (TORRES 2012). Para SZMRECSÁNYI (2006)⁹, a questão conceitual ou teórica de Schumpeter é perceber movimentos com antecedência, a partir da caracterização da natureza dessas mudanças, identificando o embrião da inovação, o que seria a força intitulada “destruição criadora”: destruidora do equilíbrio pré-estabelecido e criadora de mudanças no âmbito interno da economia (via de regra, não é um processo radical, pois a tecnologia antiga pode coexistir com a nova, que gradualmente se impõe).

Constituem, segundo Schumpeter, modalidades de inovação: novos produtos ou novas aplicabilidades de mercadorias existentes; novos mercados; novas formas de produzir ou comercializar; novos bens intermediários ou matérias-primas ou novas formas de organização econômica que levem ao estabelecimento ou destruição de posição de “monopólio” (SZMRECSÁNYI 2006).

Para AREND (2012)¹⁰ uma “teoria econômica assentada em modelos de equilíbrio é relevante para análises de curto prazo, mas, como Schumpeter corretamente definiu-os, são incapazes de lidar com a inovação e com a mudança

7 TIGRE, Paulo Bastos. Gestão da inovação: a economia da tecnologia do Brasil. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

8 TORRES, Ricardo Lobato. A inovação na teoria econômica: uma revisão. VI Encontro de Economia Catarinense. Joinville, 2012.

9 SZMRECSÁNYI, T. A HERANÇA SCHUMPETERIANA. In: Pelaez, V. & Szmrecsányi, T. (orgs.). Economia da Inovação Tecnológica. São Paulo: HUCITEC, 2006.

10 AREND, M. Revoluções tecnológicas, finanças internacionais e estratégias de desenvolvimento: um approach neo-schumpeteriano. Ensaio FEE, Porto Alegre, v. 33, n. 2, p. 363-396, 2012.

econômica causada por rápidas e contínuas inovações”.

As alterações tecnológicas eram determinadas a partir de duas teorias, denominadas “demand pull”, ou “puxadas pela demanda” (necessidades do mercado estimulando inovações), e “technology push” ou “empurradas pela tecnologia” (pesquisa e desenvolvimento científico/tecnológico estimulando a inovação). DOSI (2006)¹¹, porém, criticava estas construções teóricas, por entender, dentre outras coisas, que algumas necessidades sequer são conhecidas pelo mercado, e pelo fato de que não é simples interpretar o processo de inovação e determinar uma demanda potencial dentre inúmeras alternativas tecnológicas. Para DOSI (2006), a evolução tecnológica também sofre influência de fatores econômicos, não podendo ser considerada linear por ser marcada por intermitências recorrentes. Para este autor, é relevante também o papel da ciência e tecnologia na promoção da inovação ao longo da trajetória, direcionando avanços científicos de modo a que se convertam em produtos ou processos inovativos.

Faz-se, então, uma separação conceitual entre a “trajetória tecnológica” e o “paradigma tecnológico”, que para DOSI se definem, respectivamente, como “o padrão de atividade ‘normal’ de resolução de problema (isto é, do ‘progresso’), com base num paradigma tecnológico” e “um ‘modelo’ e um ‘padrão’ de solução de problemas tecnológicos selecionados, baseados em princípios selecionados, derivados das ciências naturais, e em tecnologias materiais selecionadas” (DOSI, 2006, p. 42 e 43). Em outras palavras, o paradigma define uma direção de progresso tecnológico, e ao assim fazê-lo, exclui as outras, ensejando a cristalização de uma trajetória tecnológica.

David Teece primeiro tratou dos ‘regimes de apropriabilidade’ (appropriability regimes) em seu artigo enormemente influente denominado “*Profiting from Innovation*” (“Lucrando com a Inovação”, em tradução livre). Trata-se de um dos artigos de maior influência na literatura recente sobre a economia da inovação, e foi o mais citado artigo no periódico “Research Policy” desde sua publicação até 2006.

Para este autor, o regime de apropriabilidade seria assim definido: “*A regime of appropriability refers to the environmental factors, excluding firm and market structure, that govern an innovator’s ability to capture the profits generated by an innovation*” (TEECE, 1986, p. 287).

Para TEECE (1986), a discussão vinha centrada no caráter imperfeito da proteção dos ativos intelectuais, ou das formas de apropriação da inovação, que impulsionavam ou supeditavam a inovação. As patentes eram entendidas como formas imperfeitas, que não conferiam na prática a possibilidade de apropriação sugerida pela sua teoria. Isso se devia a diversos fatores: muitas vezes é possível

¹¹ DOSI, G. Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. In: Research Policy, vol. 11, p. 147162, 1982. Tradução: Carlos D. Szlak. Campinas, SP: Editora da Unicamp (Clássicos da Inovação), 2006.

contornar a proteção patentária com outras inovações similares, mas não idênticas, em especial quando relacionadas a processos; ou ainda, os complexos requisitos jurídicos para provar sua validade e eficácia dificultavam ou impediam sua aplicação (*enforcement*).

Em algumas indústrias, o segredo de negócio representaria uma alternativa viável às patentes. A ótica principal se referia ao contexto ambiental em que a inovação estava inserida, e a facilidade, ou possibilidade, de proteção da propriedade intelectual subjacente. Dentro desta dinâmica, seria possível delinear uma dicotomia entre regimes *'tight'* (*'sólidos'*, numa tradução livre) e *'weak'* (fracos) – aqueles se referindo a regimes onde a tecnologia é de fácil proteção; e estes, *contrario sensu*, aos regimes em que a tecnologia é quase impossível de proteger. Esta teoria se valia, ainda, do conceito de *'complementary assets'* (*'ativos complementares'*, em tradução livre), definido como aqueles ativos ou capacidades requeridos para efetivar ou permitir a exploração econômica otimizada da inovação. Serviços como marketing, manufatura competitiva e suporte pós-vendas ao consumidor seriam exemplos de tais ativos. Trata-se de capacidades ou conhecimentos adicionais ou complementares à inovação, que ajudam a assegurar sua exploração comercial.

Todo este construto de TEECE (1986) vinha na busca da solução ao problema que desafiava ainda uma explicação satisfatória na literatura, qual seja, o motivo pelo qual as firmas inovadoras falham em assegurar os ganhos econômicos resultantes da inovação. Gary Pisano aponta as raízes destes questionamentos, notadamente na razão do insucesso das firmas, já nos trabalhos seminais de Schumpeter, prosseguindo com Anderson e Tushman (1990)¹², Clark (1985)¹³, Henderson and Clark (1990)¹⁴, Christensen (1997)¹⁵.

3 | A RELAÇÃO ENTRE OS PARADIGMAS TECNOLÓGICOS E OS REGIMES DE APROPRIABILIDADE: O CASO DO STREAMING E A INDÚSTRIA FONOGRAFICA

Sempre houve certo grau de resistência à inovação tecnológica em todos os ramos de atividade. O movimento Luddita da Inglaterra de 1811 talvez seja seu exemplo mais citado, a ponto de levar Eric Hobsbawm a afirmar que *“to most non-specialists, the terms 'machine-wrecker' and Luddite are interchangeable”* (HOBBSAWM, 1952)¹⁶.

A trajetória tecnológica da Indústria Fonográfica teve como antecedentes

12 ANDERSON, P., TUSHMAN, M.L.. Technological discontinuities and dominant designs: A cyclical model of technological change. *Administrative Science Quarterly* 35, p. 604–633, 1990.

13 CLARK, K.B.. The interaction of design hierarchies and market concepts in technological innovation. *Research Policy* 14, p. 235–252, 1985.

14 HENDERSON, R.M., CLARK, K.B. Architectural innovation: the reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly* 35, p. 9–30, 1990.

15 CHRISTENSEN, C. *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fall*. Harvard Business School Press, Boston, MA, 1997.

16 HOBBSAWM, Eric, *The Machine Breakers', Past and Present* 1 (1952), pg. 57. Libcom.org. Acessado em

os suportes sonoros desenvolvidos Thomas Young (no início do século XVIII), instrumentos usados para traduzir graficamente as vibrações diretamente do corpo vibrante. Entretanto, pode-se dizer que se iniciou, de fato, no século XIX, com a invenção do primeiro dispositivo para gravação e reprodução de sons, o Fonógrafo, patenteado pelo francês Charles Cross em 1877 e difundido pela empresa Edison Speaking Phonograph Company (PICCINO, 2003, p. 2)¹⁷.

Alexander Bell e Chichester Bell obtiveram a patente estadunidense de um método para reprodução dos sons usando jato de ar, o “graphophone”, em 1886, simultaneamente lançaram o primeiro suporte sonoro comercializado: o cilindro removível, produzido em papelão revestido de cera, até então feitos de forma artesanal, em parceria com Thomas Edison (PICCINO, 2003, p. 3). Posteriormente, em 1902, Edison desenvolve uma técnica de moldagem a ouro, o que permitiu uma maior uniformidade dos cilindros e sua produção em maior escala.

Em seguida, foi lançado o fonógrafo de disco, mais conhecido como ‘gramofone’. No ano de 1894, o disco plano foi oficialmente lançado no mercado (patenteado por Berliner e United States Gramophone Company, nos Estados Unidos) como suporte sonoro inovador (PICCINO 2003, p. 3).-

O engenheiro húngaro Peter Carl Goldmark protegeu por patente um sistema de gravação a 33 rpm 03/01, que oferecia um desempenho aprimorado, tanto na impressão como na reprodução, com utilização de um estilete de diamante polido para a sua reprodução, por meio da patente US 2610258 A, datada de 03/03/1949. (PICCINO 2003, p. 20 a 23)¹⁸:

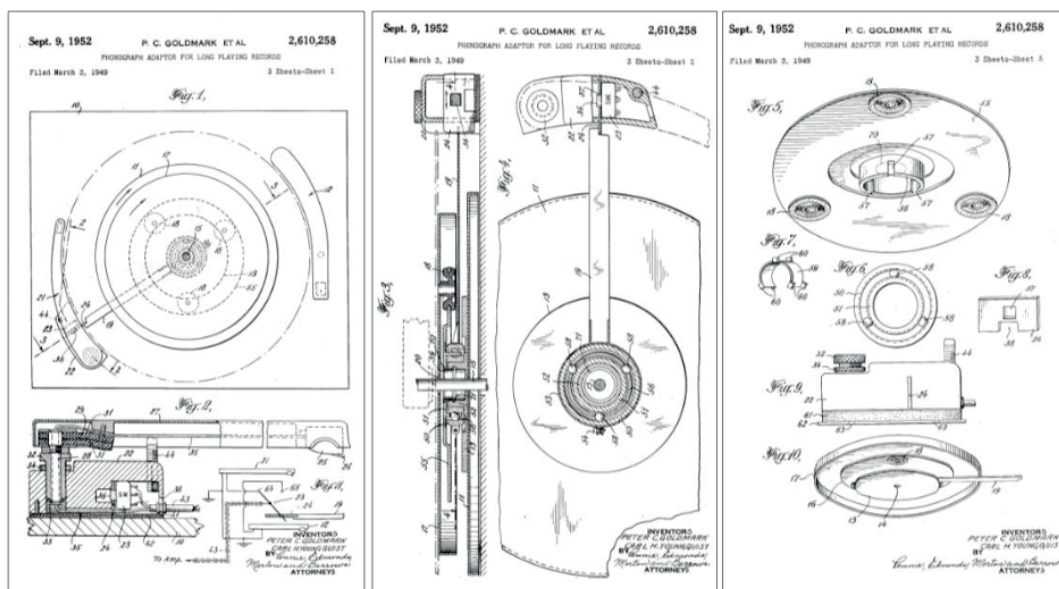


Fig. 1. Desenhos da patente nº US 2610258.

09/09/2016.

17 PICCINO, Evaldo. UM BREVE HISTÓRICO DOS SUPORTES SONOROS ANALÓGICOS. Sonora. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas / Instituto de Artes, vol. 1, n. 2, 2003.

18 Patente intitulada “Phonograph adaptor for long playing records” nº US 2610258 A. Disponível em <<https://www.google.com/patents/US2610258?dq=ininventor:%22Peter+C+Goldmark%22&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjxp6eluloLOAhXSI5AKHbe9AbEQ6AEIVDAI>> Acesso em 28 ago. 2016.

Antes do surgimento de tais tecnologias, a exibição de música era limitada às performances “*in situ*”, ou “ao vivo”. Em 1930 a 1031 a *American Federation of Musicians* (Federação Americana de Músicos) formou uma nova organização chamada *Music Defense League* (Liga de Defesa da Música) e lançou uma campanha publicitária através de publicações em jornais, para combater o avanço da então terrível ameaça do som gravado (NOVAK, 2012)¹⁹.

Fig. 2. Imagens da campanha publicitária contra o som gravado.

Nota-se que a trajetória tecnológica detinha estabilidade, sendo sempre calcada no suporte físico da música, e em um regime de proteção sólido, mormente pautado no sistema de patentes e no direito autoral (*copyright*). Cabe ressaltar que o regime jurídico do *copyright* apresenta um grau de proteção extremamente elevado. De um lado, dispensa o registro ou depósito para sua proteção – o registro é meramente declaratório; por outro lado, apresenta amplo período legal de proteção, variando entre 50 a 70 anos contados da morte do autor (período infinitamente superior, por exemplo, ao das patentes, que se limita a 20 anos na maioria dos países); e por fim, consagra alguns elementos peculiares de proteção, como os direitos morais de autor, que ampliam e fortalecem sobremaneira seu escopo. Adicionalmente, a relação entre as gravadoras e editoras com os criadores (os artistas e intérpretes) era muito comumente calcada em contratos extremamente leoninos, mas juridicamente válidos, o que lhes garantia uma proteção contratual fortíssima, e um grande período de exploração exclusiva das respectivas obras autorais.

Com esta configuração, pode-se afirmar que tal paradigma onde a proteção resta firmada nos direitos de autor (e direitos conexos), e a violação é tecnicamente muito difícil (como era o caso da indústria fonográfica antes da era digital) se apresenta como um regime de altíssimo grau de apropriabilidade (*tight appropriability regime*). Neste regime, e com base neste paradigma tecnológico, são muito pouco relevantes os *complementary assets* (lojas, mídias de suporte, atendimento pós-vendas) conforme definidos por David Teece (TEECE, 1986).

A evolução das mídias de distribuição começou a impactar o regime de apropriabilidade, pois permitia a cópia, ainda que com perda de qualidade, dos conteúdos fonográficos. A Fita Cassete (ou ‘K7’), tecnologia patenteada pela Philips e lançada em 1963, foi a grande responsável inicial por tal impacto. De acordo com RITH (1992)²⁰, “Em 1970 os cassetes respondiam por um terço das vendas da

19 NOVAK, Matt. MUSICIANS WAGE WAR AGAINST EVIL ROBOTS. Disponível em <<http://www.smithsonianmag.com/history/musicians-wage-war-against-evil-robots-92702721/?no-ist>> Acesso em 08 set. 2016.

20 FRITH, Simon. THE INDUSTRIALIZATION OF POPULAR MUSIC. Em James Lull Org. Popular Music And Communication. Londres, Sage Public Inc., 1992.

indústria fonográfica e, em 1971, o valor dos gravadores vendidos superava o de toca-discos”.

A tecnologia da fita cassete, porém, era analógica e, portanto, representava perda de qualidade na reprodução. Tecnicamente, não era possível efetuar cópias infinitas sem que o resultado final fosse deteriorado. Além disso, a cópia apresentava outros entraves, notadamente a baixa velocidade. Estes fatores estavam prestes a entrar em cheque.

Com o surgimento das tecnologias de Discos Óticos Compactos (CDs), a exemplo da patente de 1985 da Sony Corporation, nos Estados Unidos, intitulada “*Optical disk record player with fast access time*”²¹, as gravações analógicas em vinil ou em fita magnética foram sendo substituídas. Os CDs permaneceram liderando o mercado de mídias para reprodução musical até o início dos anos 2000. Desde então entraram em um declínio permanente, sendo cada substituídos progressivamente pela música digital e o consumo streaming.

Os tocadores de arquivos digitais (*MP3 players*) contribuíram para que o consumo de música em formato digital se estabelecesse, o que foi maximizado pelo lançamento dos Ipods pela Apple, em 2001. Conforme CUNHA (2004, P. 19)²² “A compressão MP3 dos dados permitiu a um leitor como o iPod, reproduzir milhares de músicas em contraponto com um CD áudio que dificilmente ultrapassa os 80 minutos de reprodução”.

Há quase nenhuma dissensão entre os autores sobre o abalo sísmico provocado pela tecnologia digital em todos os ramos de atividade econômica. PISANO reconhece tal impacto e faz referência expressa ao fenômeno da “*digitization*”, ao afirmar que “[...]Perhaps one of the most important factors reshaping the terms of innovation based competition is the impact of digitization” (PISANO, 2006, pag. 1127).

Com *digitalização* crescente, alicerçada na popularização do computador pessoal e no acesso crescente às redes de alta velocidade, subitamente a cópia era não apenas fácil e infinita, sem perda de qualidade, como também praticamente instantânea, e passível ainda de total automação. A entrada da internet neste cenário representou o elemento final para sua derrocada; agora os consumidores eram os distribuidores, compartilhando entre si livremente as obras que antes eram de difícil acesso.

No interregno de poucos meses, com a explosão de popularidade dos protocolos de file sharing, como Napster, todo o arcabouço jurídico de proteção embasada no copyright ruiu estrondosamente; as violações eram simplesmente muito numerosas

21 Optical disk record player with fast access time. US 4646280 A. Disponível em <<https://www.google.com.br/patents/US4646280?dq=compact+disk&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwi62ov8neLOAhXLGZAKHVlyCew-Q6AEIOjAD>> Acesso em 27 ago. 2016.

22 CUNHA, Pedro Filipe. TECNOLOGIAS DA MÚSICA EM EXPRESSÃO E EDUCAÇÃO MUSICAL NO 1º CICLO DO ENSINO Básico. Disponível em <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/6217/1/Tese_Pedro_Cunha_new.pdf>. Acesso em 28 ago. 2016.

para serem perseguidas judicialmente, e em muitos países eram também socialmente aceitáveis. O programa Napster foi pioneiro em operar um software web de compartilhamento de arquivos, através do qual o usuário desempenhava a função de servidor e também de consumidor²³, e é considerado o mote do declínio do mercado fonográfico. “*Seja visto como herói ou como vilão, o Napster, de fato, mudou a história da indústria da música*” (SILVA, 2012, P.17)²⁴.

O termo ‘pirataria’ foi cunhado para descrever este fenômeno digital, e ganhou enorme popularidade. Websites²⁵ orgulhosamente dedicados à ‘causa’ da pirataria buscavam disfarçar sua atividade ilícita sob o manto questionável da ideologia *anti-establishment* e da desobediência civil. Talvez poucas indústrias tenham sofrido tão acentuado desafio aos seus modelos de negócio quanto a fonográfica, pela introdução deste novo paradigma tecnológico. Em curto espaço temporal, o regime de apropriabilidade deslocou-se de sólido (*tight*) para fraco (*weak*) – ou pode-se dizer até mesmo ultra-fraco (*ultra-weak*), parafraseando a dicotomia de David Teece (TEECE, 1986).

A indústria estava diante de uma nova trajetória tecnológica, a da distribuição instantânea sem mídia física, e a maior parte dos atores demorou um longo tempo para se ajustar a esse novo ambiente. O recurso à via judicial era, e continua sendo, uma constante para os casos de grandes violações, mas a indústria passou a buscar cada vez mais educar os consumidores, e oferecer alternativas razoáveis, em termos de preço e disponibilidade, à *pirataria*.

Esta alternativa razoável de acesso ao conteúdo fonográfico tornou-se possível com a tecnologia de *streaming*, consistente na disponibilização do conteúdo online, com seu envio efetuado a cada vez que é exibido, ou seja, sem retenção no dispositivo de exibição. Nota-se que não mais existe a necessidade de um dispositivo exclusivo para acessar os conteúdos. Segundo a Insider Pro²⁶ “A ascensão do streaming de música tornou ainda menos necessário ter um dispositivo dedicado somente à música, uma vez que o armazenamento deixou de ser um problema”.

Neste condão, o streaming pode ser visto como um *complementary asset*, na terminologia de TEECE, que ganhou suprema e súbita importância devido à competição por formas de distribuição eficientes, rápidas e seguras. A distribuição era assim otimizada, substituindo completamente as já obsoletas lojas físicas, e

23 POZZEBON, Rafaela. HISTÓRIA DO NAPSTER - O precursor do compartilhamento de dados. Disponível em <<https://www.oficinadanet.com.br/post/13870-historia-do-napster>> Acesso em 31 ago. 2016.

24 SILVA, Fernanda Braga de Azevedo. O MERCADO FONOGRÁFICO NA ERA PÓS-NAPSTER. Disponível em <<http://pt.slideshare.net/fernandabas/o-mercado-fonografico-na-era-ps-napster>> Acesso em: 30 de ago. 2016.

25 A exemplo do FNCP - FÓRUM NACIONAL CONTRA A PIRATARIA E ILEGALIDADE, associação civil sem fins lucrativos, com foco exclusivo no combate à ilegalidade. Disponível em <<http://www.fnep.org.br/>> Acesso em 09 set. 2016.

26 INSIDERPRO. Tecnologias. Disponível em <<https://pt-br.insider.pro/technologies/2015-07-20/quem-ainda-quer-saber-do-ipod/>> Acesso em 28 ago. 2016.

eliminando até mesmo a necessidade de mídias de armazenamento local, como os *hard disk drives (HDD)*. As firmas que souberam se apropriar desta nova tecnologia tornaram-se novos gigantes da indústria, a exemplo da Spotify (e da Netflix, na indústria audiovisual).

Pioneira em apostar no consumo de música on-line, a Spotify, sozinha, já vale mais que toda indústria de música dos EUA, segundo o Wall St Journal: “o valor líquido do Spotify alcançou US\$ 8,4 bilhões, mais que o dobro do Pandora, seu rival mais próximo, com cerca de US\$ 3,5 bilhões”²⁷. O crescimento da companhia foi tamanho que, somente no ano de 2014 teve um faturamento de anúncios crescente em mais de 380%, segundo a Forbes²⁸. Conforme a *Recording Industry Association of America* (Associação Americana das Gravadoras), a renda derivada de streaming representa 27% do total de lucro da indústria da música, sendo a Spotify responsável por grande parte do faturamento.

O regime de apropriabilidade da tecnologia de streaming, em si, é complexo. Por um lado será sólido (*tight*), uma vez que se ampara na proteção ao software (*copyright*), fortes amarras contratuais, reconhecimento das marcas pelo público, e em tecnologias proprietárias de compactação e criptografia, protegidas por patentes. Eventuais violações são facilmente detectáveis e puníveis, com as ferramentas judiciais hoje existentes.

Por outro lado, porém, as inovações técnicas na tecnologia são constantes, e novos atores estão constantemente trazendo aprimoramentos e otimizações na sua implementação, o que poderia levar à consideração de seu estágio pré-paradigmático, na terminologia de TEECE (TEECE, 1986). Ademais, a própria trajetória tecnológica da internet é incerta, com novos desenvolvimentos em tecnologias de realidade virtual, realidade aumentada, e até mesmo de computação quântica, que acenam com rumos absolutamente imprevisíveis no futuro próximo.

4 | CONCLUSÃO

A história da indústria fonográfica teve, em suas diferentes trajetórias tecnológicas, mudanças de padrões de solução, baseados, por vezes, em inovações que conduziram o progresso tecnológico à formação de diferentes paradigmas. A apropriação dos ganhos advindos da inovação ora se deu em regimes sólidos, ora em regimes mais fracos, o que refletiu, significativamente, em mudanças (algumas radicais) dos mecanismos de exploração comercial da música, ao longo dos anos.

27 UOL. Spotify vale mais que toda indústria de música dos EUA, diz Wall St Journal – Disponível em <<http://musica.uol.com.br/noticias/redacao/2015/04/22/spotify-vale-mais-que-toda-industria-de-musica-dos-eua-diz-wall-st-journal.htm>> Acesso em 23 ago. 2016.

28 FORBES. Faturamento de anúncios no Spotify cresce 380% no último ano – Disponível em <<http://www.forbes.com.br/negocios/2015/05/faturamento-de-anuncios-no-spotify-cresce-380-no-ultimo-ano/>> Acesso em 23 ago. 2016.

O surgimento da música digital pode ser identificado como a mais recente ruptura de paradigma, uma vez que desvinculou a distribuição e o consumo de música da necessidade de um suporte físico. O regime de apropriabilidade, antes sólido, passou a ser mais fraco. Não obstante, a tecnologia *streaming* vem trazendo mais segurança para os envolvidos. Empresas como a Spotify demonstraram que é possível se apropriar desta nova tecnologia e obter sucesso.

Considerando a velocidade dos avanços tecnológicos recentes, não se pode prever os rumos da indústria fonográfica, mas espera-se que esteja em constante aprimoramento, na busca de equalizar os benefícios dos consumidores e a proteção aos detentores de direitos.

UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS AND AIRSPACE INTERFACES

Data de aceite: 26/11/2019

Omar Daniel Martins Netto

Universidade da Beira Interior, Aerospace Sciences Department (DCA-UBI), Rua Marquês d'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal

Maria Emília Baltazar

CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal.

Jorge Miguel dos Reis Silva

Universidade da Beira Interior, Aerospace Sciences Department (DCA-UBI), Rua Marquês d'Ávila e Bolama, 6201-001, Covilhã, Portugal e CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa, Portugal.

ABSTRACT: With the increasing global popularity of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for commercial, recreational and industrial purposes, millions of UAV are expected to be buzzing in the skies of the world's largest cities. A lower-cost, coupled with a growing demand for commercial services has led to an exponential growth of these vehicles. With air spaces and large urban centres already very congested, and limited, there is a concern to establish specific procedures, demarcated areas, corridors, and the need for an air traffic management system to allow UAVs to fly safely

becomes more and more urgent. The purpose of this paper is to provide a broad and simplified understanding of the topic for the broader community that makes up the academic sector. It will have even more special meaning for transport researchers. Bringing the conceptual solutions already presented by experts for the future integration of so-called Unmanned Aircraft Systems (UAS) in unregulated airspace, it also offers studies on ways to manage UAS-specific airspace in segregated and their integration with segregated airspace. This work has practical, scientific, methodological, social and personal relevance. In practice, the results of this work could clarify the members of the Sector and even support decision making. Scientifically, it may also provide support for future academic research in the area.

KEYWORDS: Unmanned Aircraft System (UAS), UAS Traffic Management (UTM), Air Traffic Management (ATM), Airspace.

SISTEMAS DE AERONAVES NÃO-CONTROLADAS E INTERFACES DO ESPAÇO AÉREO

1 | INTRODUCTION

Since the completion of the work of the Special Committee on Future Air Navigation

Systems (FANS) in October 1993, the International Civil Aviation Organization (ICAO) has made significant progress in the development of material necessary for the planning, implementation, and operation of the Communications, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management (CNS/ATM). ICAO Document 9750, which has been receiving scheduled and systematic implementation deadlines since then, establishes a Global Air Navigation Plan from 2016 to 2030 (ICAO, 2016).

This document, from the leading world civil aviation body, determines all procedures to be adopted regarding air traffic services by member countries. To meet the requirements of this publication, the ICAO signatories elaborated their respective strategic projects. Just to name a few, the NextGen (USA's Next Generation Air Transportation System), the European Community's Single European Sky Air Traffic Management Program (SESAR), Japan's CARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems) and SIRIUS from Brazil. Regarding air traffic, and following airport operations, aviation's direction has been and will be short, entirely directed by these projects.

However, new challenges have grown, both in importance and quantity, in the ATM environment. One of the most significant challenges facing the airline sector today result from new systems in the airspace and refer to as Unmanned Aircraft Systems (UAS). Many useful civilian applications of UAS have been proposed such as commodity delivery, infrastructure surveillance, search and rescue, agricultural monitoring and various other uses. Currently, there is no established infrastructure to safely enable and manage the widespread use of airspace operations for low altitude UAS. These UAS operations will increasingly interact with some existing users, such as general aviation, helicopters, gliders, balloons, and even paratroopers. However, the safety of these operations should not be undermined by the introduction of new UAS operations (Belcastro et al., 2017).

There is a great deal of concern, especially in the substantial and diversified environment formed by the airline sector, regarding the current recommendations from the International Civil Aviation Organization (ICAO). What interferences can UAS cause in non-segregated airspaces?

This work is based on research nowadays conducted by academics and industry organisations and is advocated by the ICAO documents dealing with Future Air Navigation Systems (FANS). This new type of air traffic, although initially directed to segregated airspace, due to the diversity of uses that it has obtained, begins to have increasing needs to incorporate into non-segregated airspaces.

The Air Sector is made up of professionals from various backgrounds and fields. Many of the topics they deal with do so superficially because they are unaware of the subjects. In the case of UASs, and the airspace where they will evolve, it is essential for these professionals clearly to know the meaning of this type of aircraft and which

airspace they can and should occupy. Of course, all air activities very shortly will have any interface with these unmanned or manned vehicles and the systems in place to ensure their operation. Thus, this scientific article seeks to bring in its content, in a compact form, a summary of what professionals in the sector need to know about this subject.

2 | LITERATURE REVIEW

2.1 UAS, UTM and RPAS

The designation UAS (Unmanned Aircraft System) refers to systems involving the movement of any air vehicle where there is no human operator on board. Such systems are composed of aircraft, ground support, air and communications infrastructure. The Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) is a subcategory of this family. All those are UAS that have a human operator (or Remote Pilot - RP), which operates from a remote position (RPS) and constant control of the vehicle. This aircraft, called a Remotely Piloted Aircraft (RPA), was considered by ICAO as an aircraft, so it must comply with the rules set out in Annex 2 (ICAO, 2005), like any other aircraft. The term "system" refers typically to the complex nature of RPAS, where several components need to be coordinated, such as the command and control link between RP and RPA (Cordón et al., 2014).

Remotely controlled aircraft systems (RPAS) are a new component of the aviation system, which the International Civil Aviation Organization (ICAO), States and industry are working hard to understand, define and ultimately adapt to and integrate. Such systems have been developed by advanced knowledge specialists, especially in the area of aerospace technologies, thus offering many advances that can allow continuous improvement regarding aviation safety and efficiency. Integrating RPAS into non-segregated airspace is a long-term activity that can positively involve many stakeholders, and so add knowledge on a variety of topics such as:

- a) Licensing and medical qualification of remote pilots;
- b) Technologies to detect and avoid systems; frequency spectrum (including protection against unintentional or unlawful interference);
- c) Separation patterns of other aircraft; and
- d) Development of a robust regulatory framework.

As knowledge increases the challenges, the problem-solving become to be more complicated. Removing the pilot from the aircraft raises crucial technical and operational issues, the extent of which is being actively studied by the aviation community. To the extent that States and the aerospace industry are making progress in contributing to ICAO, they expect that information and data on the RPAS will begin

to move forward rapidly.

Sustaining routine worldwide RPAS operations in a secure, harmonised and seamless manner comparable to manned activities is the primary objective and challenge of ICAO in addressing the RPAS issue. The Organization shall provide an international regulatory framework through Standards and Recommended Practices (SARPs), with support procedures for Air Navigation Services (PANS) and guidance materials. Above all, the introduction of RPAS in non-segregated airspace and aerodromes should in no way increase safety risks for manned aircraft (ICAO, 2015).

According to Kopardekar et al. (2016), when addressing the UAS increased demand for low-altitude, we should, through historical aviation experiences, have a systematic and organised concern, to ensure that these operations have both efficiency and safety. It is also necessary that we have systems installed to deal with high densities and a diverse mix of aircraft. Nowadays, gliders, general aviation, and helicopters operate in the uncontrolled low-altitude airspace. Thus, it becomes critical to accommodate new operators, safely, along with pre-existing users and in full operation. Many commercial UAS applications can operate within the visual line of sight (VLOS), such as cell phone tower inspection. However, many business UAS operators would like to fly their missions beyond the visual line of sight (BVLOS). So, they would have more significant economic gains, for example (Figure 1):

- a) Pipeline inspection;
- b) Electrical infrastructure; and
- c) Deliveries.



Fig. 1. Examples of UAV operation in urban and non-urban areas.
Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM). Source: NASA, 2018.

To be able to accommodate all equipped operations (VLOS and BLVOS) safely UAS in low-altitude airspace, systematic and growing studies are needed to contemplate future diversity. NASA, envisioning this potential future, and based on decades of research and experience in air traffic management research and development, has already begun an investigation on UAS Traffic Management (UTM).

According to NASA's website (2018), many civilian and population-facilitating applications have been brought in by UAS. In the future, we should need to deploy UTM for low altitude airspace. There, many variables can be considered; perhaps it is even possible to leverage existing concepts of vehicle separation. Such as the road system, lanes, stop signs, rules, and lights that are now adopted for vehicle traffic on the ground. Thus, NASA is researching prototype technologies for a UTM system to enable safe and efficient low-altitude operations and further develop airspace integration requirements. For this, it has a great legacy of work in air traffic management for manned aircraft.

2.2 Methodologies

To facilitate the understanding, the methodology of Case Study, more precisely a Multiple Case Study, was adopted for the preparation of the article, which will allow us to present some analysis and solutions already performed at the international level.

However, to illustrate the article, it is interesting to highlight one of the most applicable methodologies in studies and implementation of processes such as the one studied. The characteristics of the Aviation Sector and, more particularly, of air traffic control services, always recommend collaborative actions. And the Collaborative Decision-Making (CDM), now widely adopted by ICAO, is a recommended process to be applied by managers and stakeholders in this process.

2.2.1 Multiple Case Study

- **Use of case-study type research:**

For Yin (2010), the use of a case study as a research method in various situations has the purpose of bringing to the knowledge individual, group, organisational, social, political and related phenomena. The differentiated need for case studies arises from the desire to understand complex social aspects as it allows researchers to retain the holistic and meaningful characteristics of real-life events. The case study is preferred when:

- a) The type of research question is of the form "how" and "why";
 - b) When the control that the researcher has about the events is very reduced;
- or

- c) When the temporal focus is on contemporary aspects and within the context of real life.

- **Multiple case study:**

According to Yin (2010), case studies can cover multiple cases and then draw a unique set of cross-case solutions. The same author considers that in some areas, multiple case studies have been considered a different "methodology" than single case studies. It presents the advantages and disadvantages of the single case study:

- a) As a positive fact believes that the evidence of the multiple case study is often found more vigorous, being then the study seen as more robust; and
- b) As for disadvantages observes that the multiple case study cannot use for analyses that deal with critical, unusual, rare and revealing cases, typical of being studied as single cases and the fact that it may require more resources and time that the unique situation.

It also indicates, within the multiple case study, the use of case replication logic, citing that cases should be carefully selected, so that they can: predicting similar results (a literal replication); or produce contradictory results, but for predictable reasons (a theoretical replication).

2.2.2 Collaborative Decision-Making (CDM)

Whenever people involved in any decision-making process need to choose between alternative actions, as Stakeholders involved in collaborative decision-making processes, they should keep in mind that often the alternatives supporting the information presented are inadequate to defend or explain the recommended actions. Thus, the priority in making a decision is to establish the identification of decision-makers and stakeholders in the process; such action may reduce a possible disagreement on definition, requirements, goals, and criteria of the problem (Baker et al., 2001).

According to ICAO documentation (DOC 9971) dealing with the subject (ICAO, 2014), collaborative decision making (CDM) defines a process focused on how to decide on a course of action articulated between two or more community members. Through this process, members of the ATM community share information related to that decision, interact, establish everyday choices and apply the approach and principles of decision making. The overall purpose of the process is to improve the performance of the ATM system while balancing the needs of individual members of the ATM community.

CDM Features:

- a) The CDM is a support process always applied to other activities, such as demand/capacity balancing, and can be used throughout the timeline of

strategic planning activities (for example, infrastructure investments) to operations in real-time;

- b) CDM is not a goal leading but a way to achieve the performance objectives of the processes it supports. These performance objectives are expected to be agreed upon collaboratively;
- c) While sharing information is an essential element for the CDM, such sharing is not sufficient to fully realise the CDM and achieve its objectives;
- d) To ensure that collaborative decisions are made expeditiously and equitably, the CDM also requires pre-defined and agreed on procedures and rules;
- e) The CDM ensures that decisions are made transparently by the best available information, as provided by the participants at the right time and in a precise manner;
- f) The development and operation of a CDM process follow some typical phases:
 - Identification of the need to carry out a CDM;
 - CDM analysis;
 - CDM specification and verification;
 - The case of CDM performance;
 - Implementation and validation of the CDM; and
 - The operation, maintenance and improvement of CDM (continuous).

Thus, CDM is one of the adequate processes for the studies, decision-making processes and implementation of the factors necessary for the operation of these new members of the Air Sector. In fact, such a sector is a systematic use of this process.

3 | UNMANNED OPERATIONS

Several countries have advanced studies regarding the operation of UAV. We will present here: the vision of the international civil aviation regulator (ICAO); from SESAR, which define, develops and deploys solutions to modernising air traffic management in Europe; and from FAA, sharing with NASA an advanced stage of development in UAS / UTM research.

3.1 ICAO Overview

As one of the actions taken by ICAO to discipline unmanned aircraft operations, as well as to concentrate some documents already dispatched, in the year 2015 was published the Document 10019 - AN/507, Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) (ICAO, 2015). Manual highlighted remotely piloted aircraft are

a type of unmanned aircraft. All unmanned, remotely piloted, fully autonomous or combination aircraft are subject to the provisions of Article 8 of the Convention on International Civil Aviation (Doc 7300), signed in Chicago on December 7, 1944, and amended by the ICAO Assembly. Inside we can see the same standards that a lot of years ago:

- The development of the legal framework for international civil aviation began with the Paris Convention of 13 October 1919, and subsequently, the Protocol of 15 June 1929 amending the Paris Convention refers to aircraft without a pilot in a paragraph of "Article 15" as follows:
 - *"No aircraft of a Contracting State capable of being taken without a pilot shall, except by special authorisation, fly without a pilot over the territory of another Contracting State."*
- The Chicago Convention of December 7, 1944, replaced the Paris Convention, "Article 8" of the Chicago Convention entitled "Non-Pilot Aircraft" provides that:
 - *"No aircraft capable of flying without a pilot shall be taken without a pilot over the territory of a Contracting State without the special permission of that State and by the terms of such authorisation. Each Contracting State undertakes to ensure that the flight of such aircraft without a pilot in areas open to civilian aircraft must be controlled in such a way as to avoid danger to civil aircraft".*

Also, according to the Convention (Article 12), the Command Pilot is responsible for the operation of the aircraft by air rules, as well as for the authority over the aircraft while in command. This responsibility is real for a pilot on board or even flying remotely.

Currently, for evolution in non-segregated airspace, ICAO has specific procedures only for remotely piloted aircraft (RPAS). Such methods are very similar to those adopted by conventional aircraft with pilots on board. Some restrictions apply in order always to preserve the safety of other traffic and aviation, where aviation operates in general (ICAO, 2015).

Regarding the evolution of other UAS, mainly in segregated airspace, ICAO has been conducting studies, gathering working groups and organising seminars on the subject, such as the Second Global Remotely Piloted Aircraft Systems Symposium (RPAS 2017) held from September 19 to 21, 2017 at the headquarters in Montréal, Canada.

But ICAO's most significant challenge lies in UAS Traffic Management (UTM) that, undoubtedly, will be one of the most vital subjects for the Air Sector in the coming years. In the last seminars, UTM issue has been treated as a fact and with a demand that grows exponentially. There is a glimpse of a future in which this small

equipment, which, today under 25 kg and flying in air spaces that do not exceed 400 ft, will have increased participation in the regular life of the cities. In this way, we need to have specific rules for pilotage, self-separation and, above all, the creation of particular airspaces, corridors, forms of separation, etc. Many systems are already being developed by software companies, especially those already working with air traffic management systems. The specificity of this airspace needs to have an exact geographic database and lies in the fundamental premise that all the so-called UAVs are equipped with anti-collision systems. Such facts are already present in all the works that are currently being developed.

3.2 SESAR Overview

In Europe, SESAR JU works the UAS / RPAS operation. According to "Demonstrating RPAS integration in the European" (SESAR JU, 2016), SESAR is the technological pillar of the Single European Sky, which defines, develops and deploys solutions to modernising air traffic management in Europe.

The SESAR JU also works closely with staff associations, regulators and airport operators. According to SESAR JU, UAS is an acronym for Unmanned Aerial Systems (SESAR Joint Undertaking, 2016), where the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) is the airborne component. There are two more fundamental airborne components:

- a) Remotely piloted aircraft systems (RPAS), a class of UAS which has a pilot operating the remotely piloted aircraft (RPA) from a ground-control station (GCS); and
- b) UAS with no remote pilot, or autonomous air vehicles. The term 'drone', substantially a nonprofessional's name, refers to all types of UAS.

3.2.1 RPAS

The European ATM Master Plan (SESAR JU, 2015) considers that emerging technology RPAS, formerly operated primarily by military organisations, is increasingly used today by private means in non-commercial, or even commercial operations and, In government (non-military) operations. This technological advance will be a great driver of industrial competitiveness, in addition to promoting entrepreneurship and creating new businesses.

The RPAS, by themselves, are already multiple systems and composed of a great diversity of equipment. To supply the manufacturers of RPAs there is also a wide range of enabling technologies such as telemetry, energy, communication, etc. Research and development of the UAVs industry, aiming to operationalize its operations, will have a significant impact on manned aviation, positively influencing actors such as environmental impacts, safety, and efficiency of air operations. The

Master Plan also reinforces alignment with ICAO principles, whose fundamental belief is that the RPAS should be treated similarly to manned aircraft, with due regard to the operating recommendations for remote crews. They must comply with aviation regulations and recommended levels of safety, and should not affect current airspace user operations when integrating with ATM systems.

Thus, the behaviour of the remote crew must be equivalent to manned aviation, meeting the requirements of the Air Traffic Control Bodies that apply to the class of airspace where they are operating. Accompanying all the evolution of operational concepts, gradually implemented by SESAR, the RPAS shall be designed, constructed, operated and maintained in such a way that the risk to persons in the ground and, as well as to other users of the airspace, remains within regulatory standards. The European Commission is working on this primary objective, as well as on developing a robust regulatory framework to allow UAVs to operate in the European Union scenario.

In the document *Demonstrating RPAS integration in the European aviation system* (SESAR JU, 2016), a promising new chapter in aviation history is being opened, since these types of equipment can fly close to the ground and obstacles. The unmanned systems can work in all kinds of dangerous conditions, which would be hazardous to traditional aviation. It is estimated that by 2050 there will be around 7 million RPAS for the leisure of the population in operation throughout Europe and a fleet of 400,000 RPAS that would offer essential services throughout the agricultural sector, energy, e-commerce and public sectors.

According to the “UAS Roadmap” that is part of the SESAR Master Plan (SESAR JU, 2015), the UAV market will represent EUR 10 billion annually by 2035 and, over EUR 15 billion annually by 2050. This market will have enormous potential for Europe and its global competitiveness.

Aiming to evolve in the concepts and operability of the RPAS, in 2013, SESAR JU launched nine SESAR demonstration projects to see how the RPAS could be operated safely within unsegregated airspace using existing technologies. To explore the integration of RPAS into real operational environments and identify possible operational, technological and regulatory gaps over two years, operators, manufacturers, ANSPs and regulatory authorities worked on this project. Its primary purpose was to analyse the level of RPAS operations possible, using current technology, within the current regulatory and operational environment. These demonstrations were intended to signal areas that needed additional research and development. In general, compared to small general aviation aircraft, operating in an air traffic control (ATC) environment was not perceived significant in RPAS behaviour. However, positively, several technical, operational and safety and security issues were identified. These are subjects that must be intensely worked out before full

integration:

- a) Definition of a harmonised and well-established civil regulatory and certification system by the required certification authorities;
- b) Implementation of policies and procedures on how the ATC should interact with the RPAS to ensure efficient operations and meet security level requirements;
- c) Detection and evasion (D & A) capability by European aircraft qualification requirements;
- d) Reliable command and control links must be developed in conjunction with contingency procedures in case of failure and implemented in a protected spectrum range; and
- e) Specific training and licensing for RPAS pilots.

The RPAS is changing the landscape of aviation, and this change is happening at a speed and scale we have never seen before. This market has the potential to generate significant and far-reaching value for Europe. Thus SESAR is concerned with producing specific solutions for collision avoidance RPAS, surface management and integration with IFR traffic and the safe and secure integration of RPAS alongside existing conventional aircraft.

3.2.2 UAS

As for the use of other UAS in unmanaged or low-altitude airspace and urban areas, through the document Blue Print U-space (SESAR JU, 2017), SESAR presents the vision of the European Union on the subject. This document qualifies this airspace as U-space and considers that:

- a) It allows complex operations of high-level automation UAVs to occur in all types of operating environments, including urban areas;
- b) It must be flexible enough to encourage innovation and support the development of new enterprises;
- c) It will facilitate the overall growth of the European UAVs services market;
- d) It contributes to ensuring that the privacy of citizens is respected;
- e) It will allow a better approach to issues related to safety and security (including cyber-security) and resilience (including failure mode management); and
- f) It facilitates processes to minimise environmental impacts.

They present a holistic view of U-space, as a set of new services and specific procedures, which are designed to support safe, efficient and secure access to airspace for a large number of UAVs. Such services would primarily depend on a high automation level of functions, both in the terrestrial environment and onboard the

UAV itself. Thus, this U-space would have an integrated structure to support routine operations and should have an appropriate interface to interact with the ATM systems when necessary.

It is evident that U-space, although it is a great organiser and facilitator for UAV flights at low altitude and in urban airspaces, which should represent the vast majority of its occupation, is not considered as a fixed volume of space air, exclusive, segregated and destined for the private use of such vehicles.

3.3 FAA Overview

The Association of Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI), has published a report, *The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems* (AUVSI, 2013), which shows the economic benefits attached to UAS integration in the United States. The work shows the expectancy to have enormous economic and job creation impacts. These impacts have been demonstrated to be due to direct, indirect and induced effects of total spending in UAS development. The AUSVI forecast for the period 2015-2025 is as follows:

- a) UAS integration is expected to contribute US\$ 82.1 billion to the nation's economy by agriculture, public safety, and other activities;
- b) 103,776 new jobs will be created, with 844,741 job years worked over the period;
- c) UAS integration is expected to contribute US\$ 75.6 billion to the economy.

Aiming to address the systematic challenges facing the National Airspace System (NAS), the Federal Aviation Administration (FAA) and the National Aeronautics and Space Administration (NASA) share a long history of collaboration. Add to that the knowledge and experience of managing the FAA's air transport network to NASA's advanced research, analysis and development capabilities. Federal Aviation Administration (FAA) and National Aeronautics and Space Administration (NASA), given the complex nature of the challenges, both organisations have developed processes and structured documents to move forward together efficiently. This fact is now being repeated with the creation of Research Transition Teams aiming to deepen in UAS / UTM studies (FAA, 2016).

In presenting the UTM Concept of Operations (CONOPS) from the NASA / FAA workgroup, Kopardekar et al. (2016) report that with the growth of UAS operations, the tendency beginning to access areas that were initially used only by general aviation aircraft, helicopters, gliders, balloons, and paratroopers. The introduction of the new UAS operations cannot reduce the safety of these already existing traditional operations. Moreover, there are some difficulties developing a CONOPS to accommodate a broad mix of UAS. The initial focus of NASA's research was the

development of a concept of operations that defines how these operations could be safely accommodated in the low-altitude airspace. Today, uncontrolled airspace (technically known as Class G airspace) is regulated, but it is not controlled, that is, air traffic services are not provided to anyone flying in that portion of the airspace. Thus, this lack of requirements, procedures, and support functions for evolution in these airspaces is the most significant obstacle for UAS operations to occur on a large scale.

There are some differences between manned aviation and UAS operations (Table 1):

- a) There is no pilot onboard UAS who may detect and avoid other vehicles;
- b) There is a wide range of performance characteristics, which are new and still unknown in UAS;
- c) UAS often do not have a load capacity capable of carrying heavy or energy-intensive equipment;
- d) The requirements for UAS and separation standards are very different from those required for the operation of traditional aircraft. The most significant risk is to the people and assets on the ground and manned aviation, unlike civil manned aviation UAS may fly very close to each other under certain circumstances. Because of their different performance characteristics, like their susceptibility to wind due to low mass, UAS operations have additional information needs to safely operate in environments that are rarely used by traditional aviation; and
- e) The density of activities in the airspace could easily be several orders of magnitude higher than in manned operations.

MANNED	UNMANNED
Pilot on board	No pilot on board
Known performance characteristics	A wide range of performance characteristics of new and yet unknown
Generally, have carrying capacity and energy-intensive equipment	Generally, they have no massive carrying capacity and energy-intensive equipment
Requirements and separation according ICAO standards	Requirements and separation standards are very different from those required for the operation of traditional aircraft
The density of operations according to ICAO standards	The density of operations in the airspace could easily be several orders of magnitude higher than in manned operations

Table 1. Operational differences between manned and UAV. Source: Kopardekar et al., 2016.

4 | CONCLUSION

With the increasing global popularity of UAV for commercial, recreational and industrial purposes, millions of UAV are expected to be buzzing in the skies of the world's largest cities. A lower-cost, coupled with the growing demand for commercial services has led to the exponential growth of these vehicles. With air spaces and large urban centres already very congested, and limited, there is a concern to establish specific procedures, demarcated areas, corridors, and the need for an air traffic management system to allow UAVs to fly safely becomes more and more urgent.

Many UTM projects on the development, of management systems, based on pre-established road-like low-altitude air routes, are including the possible use of stop signs at convergences. The Nanyang Technological University (NTU) of Singapore, are studying ways to allow hundreds of UAV to fly efficiently and safely simultaneously. The aim is to develop a traffic management system for UAV consisting of designated air-lanes and blocks, similar to how cars on the roads have traffic lights and lanes.

Advanced technologies that will be developed include smart and safe routing, detect-and-avoid systems, and traffic management to coordinate air traffic. It is evident what the UAVs' paths in urban centres should be (Fig 2, green line), even with stop signs (Figure 2, interrupted red line mixed with a green line). The airspace marked with lilac (Figure 2) represents the areas where demarcated geographical fences are established and, in an automated way, will prevent the entrance of the UAVs. These cannot be flown unless expressly authorised, such as military installations, prisons, flammable product industries, power distribution lines, etc.

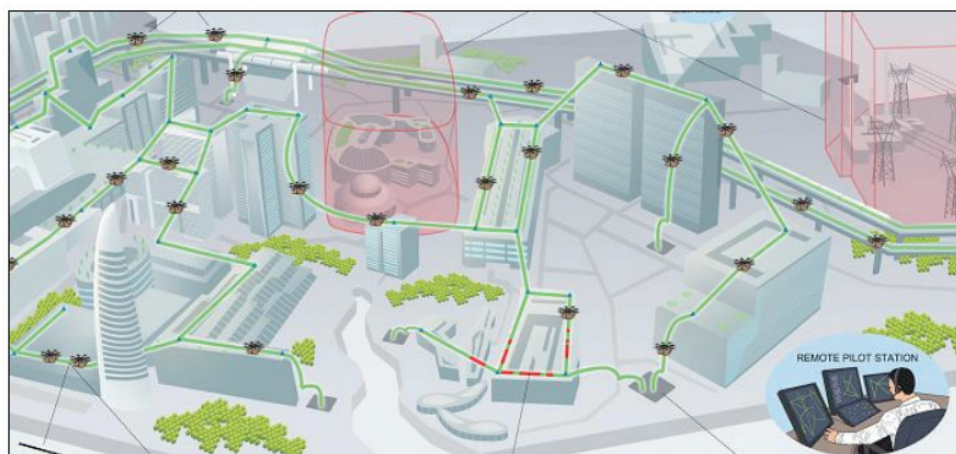


Fig. 2. Nanyang Technological University, Singapore (NTU Singapore).
Traffic Management of Unmanned Aircraft Systems solution. Source: NTU, 2017.

The advanced technologies that will be developed include intelligent and safe routing, detection and evasion systems, and traffic management to coordinate air traffic. Within this technological package, safety systems such as geographic fences

to determine areas where flights are prohibited as well as efficient collision avoidance systems between the UAV are indispensable. All these improvements require a perfect security system to prevent cyber-attacks, which, given the high demand envisaged, would cause urban and air chaos should it occur.

Several other countries, in addition to the USA and those of the European Union, are pursuing studies to establish safe and efficient procedures for the operation of UAS, as well as some associations, have also created, which bring together regulators, industry, academics, and finally several industry stakeholders.

The Global UTM Association through the document UAS Traffic Management Architecture (High-Level Architecture Document) considers that the UTM Concept is a complex system in which several stakeholders contribute to guarantee the level of security required of UAS operations. Therefore, it defines UTM as being a system composed of interested parties which interact collaboratively with technical systems. They must comply with existing regulations to maintain safe separation with other unmanned aircraft and users of ATM systems, when necessary, in addition to providing an efficient and orderly flow of traffic. It is a technical implementation, which includes software, the infrastructure required for the execution of the software and operation of the UAVs themselves. It is possible to provide distinguished services that may be through public or restricted interfaces. The UTM concept is comprehensive as it considers all types of UAS operations in the very low-level airspace, from simple remotely piloted aircraft systems (RPAS) to complex autonomous operations (UTMA, 2017).

The full potential of RPAS is an integral part of the aviation system. It requires the elaboration of adequate regulations, to maintain the highest possible and uniform the level of safety. There is a definite need for close coordination between R & D activities and the regulatory framework, which will allow newly validated technologies to be translated into legal instruments, industry standards, and what is indispensable, the development of transparent and didactic guidance material. Integrating RPAS into all types of airspace will undoubtedly occur gradually (Figure 3).

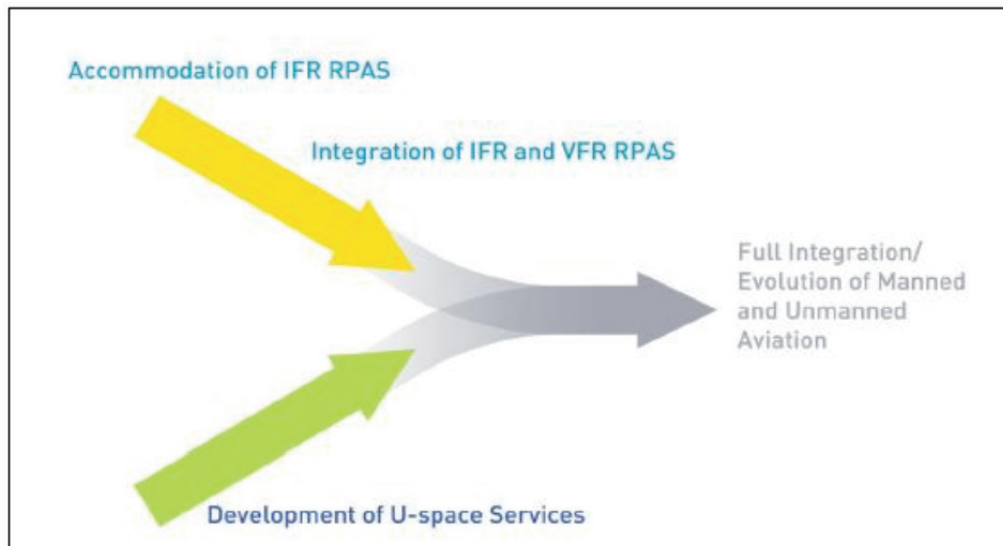


Fig. 3. Full integration between manned and Unmanned Aviation.

Source: SESAR JU, 2016.

This integration will evolve with the support of technology and regulation, more so with the progress of social acceptance. Not yet mature and adequately standardised are all the critical technologies needed to support RPAS flights in non-segregated airspace. We need to focus today on the research regarding aspects of detection and prevention of collisions, as well as on the performance of command and control systems - a priority for achieving integration with the IFR operations of the RPAS in controlled airspace (SESAR JU, 2015).

5 | FINAL REMARKS

There are many different ways to characterise the various operating environments. To discuss the UTM CONOPS scope, we are distinguishing the operational environment, especially about interactions with controlled aircraft. In this respect, we can see that there are at least three different operating environments within the airspace system:

- a) UAS operations **within uncontrolled airspace**: in this environment, no interaction with controlled air traffic shall occur with UAS operations outside controlled airspace operations. However, UAS shares airspace with other users, such as general aviation aircraft, helicopters, gliders, balloons, and parachutists;
- b) UAS operations **within controlled airspace**, but separate from controlled air traffic. As there is a need for UAS to operate close to airports and within controlled airspace, segregated areas may be created within controlled airspace that may be made available for UAS operations. These may be transitional tunnels or airspace blocks made available depending on the

particular current configurations of each airport and airspace, obeying the criteria related to controlled airspace operations;

- c) UAS operations integrated **into controlled air traffic flows**. When UAS is into controlled air traffic flows, they must behave precisely like traditional aviation and meet all currently established requirements for operations in controlled airspace classes. The requirements for this type of UAS integration have been developed over the last few years and are listed in the respective documents.

By the current scenario, it is clear that the advent of the so-called UAVs is something irreversible and that its use will grow exponentially. It is of high public interest, as it is urban equipment that provides social well-being. It is a new means of transporting cargo and also passengers. The diversity of uses that grows over time make it a significant discovery regarding transportation in general in recent decades.

With the growth that has taken place, it is urgent to develop the necessary means to support and protect these air vehicles. Both the RPAS and the aircraft that evolve in all types of airspace and, what is a new fact and much relevant, protection of the population and vehicles in the ground, considering the low altitudes that they evolve.

We have seen that the regulation for the evolution of RPAS in controlled airspace is already at a high level of development under the leadership of ICAO. Nowadays, the most significant challenge is the implementation of a system for the organisation and control of spaces where small and medium-sized UAV are evolving in areas below 400 ft.

It is fundamental for those who are part of the airline sector to have an understanding of what is happening today with this segment and the actions that are beginning to give support for its organisation and control.

REFERENCES

AUVSI. **THE ECONOMIC IMPACT OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS INTEGRATION IN THE UNITED STATES**. Arlington, USA, 2013. <http://www.auvsi.org/our-impact/economic-report>. Last access March 2019.

BAKER, D., BRIDGES, D., HUNTER, R., JOHNSON, G., KRUPA, J., MURPHY, J. AND SORENSON, K. **Guidebook to Decision Making Methods**, WSRC-IM-2002-00002, Department of Energy, USA, 2001. https://www.researchgate.net/publication/255621095_Guidebook_to_Decision-Making_Methods. Last access June 2019.

BELCASTRO, C. M., NEWMAN, R. L., EVANS, J. K., KLYDE, D. H., BARR, L. C., AND ANCEL, E. **Hazards Identification and Analysis for Unmanned Aircraft System Operations**, Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conferences, No. AIAA-2017-3269, American Institute of Aeronautics and Astronautics, June 2017.

CORDÓN, R.R. & NIETO, FRANCISCO & CUERNO, CRISTINA. **RPAS integration in non-**

segregated airspace: The SESAR approach system interfaces needed for integration. Fourth SESAR Innovation Days, 25th – 27th November 2014. Technical University of Madrid (UPM), Madrid, Spain, 2014.

EUROCONTROL. **Airport CDM Implementation.** EUROCONTROL, Brussels, 2012.

FAA. **Summary of Small Unmanned Aircraft Rule (Part 107**". FAA, 2016. <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>. Last access June 2019.

FAA, NASA. **UAS Traffic Management – Research Transition Team (RTT) Plan.** FAA and NASA collaborative efforts planned through September 2020", January 2017, FAA/NASA, USA, 2017. https://www.faa.gov/uas/research/utm/media/FAA_NASA_UAS_Traffic_Management_Research_Plan.pdf. Last access July 2019.

GUTMA. **UAS Traffic Management Architecture - High-Level Architecture Document.** V 1.0. Lausanne, Switzerland, 2017. https://www.gutma.org/docs/Global_UTM_Architecture_V1.pdf. Last access April 2019.

ICAO. **Annex 2 - Rules of the Air**, 10th ed., ICAO, Montreal, 2005.

ICAO. **Aviation System Block Upgrades, Working document**, ICAO, Montreal, 2013.

ICAO. Doc 9971 AN/485, **Manual on Collaborative Air Traffic Flow Management**, 2nd ed., ICAO, Montreal, 2014.

ICAO. Doc 10019 - AN/507, **Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)**, 1st ed., ICAO, Montreal, 2015.

ICAO. Doc 9750 2016-2030, **Global Air Navigation Plan Manual**, 5th ed., ICAO, Montreal, 2016.

ICAO. **Past events**, ICAO, Montreal, 2018. <https://www.icao.int/Meetings/Pages/Home.aspx>. Last access February 2019.

KOPARDEKAR, P., RIOS, J., PREVOT, T., JOHNSON M., JUNG J., ROBINSON J. E. **Unmanned Aircraft System Traffic Management (UTM) - Concept of Operations.** NASA Ames Research Center. 16th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics June 13-17. Washington, DC., 2016. https://utm.arc.nasa.gov/docs/Kopardekar_2016-3292_ATIO. <http://www.aeronautics.nasa.gov/iasp/uas/index.htm>. Last access June 2019.

NTU. **Traffic Management of Unmanned Aircraft Systems solution. NTU to develop traffic management solutions so drones can fly safely in Singapore's airspace.** Singapore, 2017. <http://media.ntu.edu.sg/NewsReleases/Pages/newsdetail.aspx?news=20327ba4-b019-4a38-a86f-47e64d89ba0d>. Last access January 2019.

NASA. **Unmanned Aircraft System (UAS) Traffic Management (UTM)** Enabling Civilian Low-Altitude Airspace and Unmanned Aircraft System Operations, 2018. <https://utm.arc.nasa.gov/index.shtml>. Last access June 2019.

SESAR JU. **European ATM Master Plan**, SESAR Joint Undertaking, Belgium, 2015.

SESAR JU. **Demonstrating RPAS integration in the European aviation system**, SESAR Joint Undertaking, Belgium, 2016.

SESAR JU. **U-space Blueprint**, SESAR Joint Undertaking, Belgium, 2017.

Yin, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos.** 5th ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE INTELIGÊNCIA COMPETITIVA PARA DELINEAR ESTRATÉGIAS DE POSICIONAMENTO DE MERCADO DE EQUIPAMENTOS ELETROMÉDICOS DE MONITORAMENTO

Data de aceite: 26/11/2019

Janaina dos Santos Melo

Universidade de Brasília, Programa de Pós Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
Brasília – Distrito Federal

Maria Fernanda Mascarenhas dos Santos Melis

Universidade de Brasília, Programa de Pós Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
Brasília – Distrito Federal

Levi dos Santos

Universidade de Brasília, Programa de Pós Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
Brasília – Distrito Federal

Sandra Malveira

Universidade de Brasília, Programa de Pós Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
Brasília – Distrito Federal

Grace Ferreira Ghesti

Universidade de Brasília, Instituto de Química
Brasília – Distrito Federal

Paulo Gustavo Barboni Dantas Nascimento

Universidade de Brasília, Programa de Pós Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação
Brasília – Distrito Federal

RESUMO: O avanço tecnológico propiciou o desenvolvimento de equipamentos eletromédicos de monitoramento de altíssima complexidade e sofisticação. Tais equipamentos realizam o monitoramento de outros equipamentos eletromédicos a fim antecipar ou alertar irregularidades, possibilitando a redução de custo com adequada manutenção preventiva e reparo. Nesse sentido, o presente trabalho objetivou traçar estratégias de posicionamento de um equipamento eletromédico no mercado, por meio de prospecções científica, tecnológica e mercadológica, bem como pela utilização de outras ferramentas de inteligência competitiva. As prospecções, realizadas por meio de buscas em bases de patentes e em bases de periódicos embasaram a análise e aplicação das modalidades de contrato e custeio para transferência de tecnologia. De modo geral, os dados obtidos demonstraram um grande potencial mercadológico o qual acarreta uma transação facilitada da transferência de tecnologia.

PALAVRAS-CHAVE: Competição; prospecção; transferência de tecnologia

USE OF COMPETITIVE INTELLIGENCE
TOOLS TO DELINE MARKET POSITIONING
STRATEGIES FOR ELECTRONIC
MONITORING EQUIPMENT

ABSTRACT:The technological advance led to the development of electro medical monitoring equipment of extremely high complexity and sophistication. Such equipment carries out the monitoring of other electro medical equipment in order to anticipate or alert irregularities, enabling cost reduction with adequate preventive maintenance and repair. In this sense, the present work aimed to outline strategies for positioning an electro medical equipment in the market, through scientific, technological and marketing prospecting, as well as the use of other competitive intelligence tools. The surveys carried out through searches in patent bases and in periodical bases, supported the analysis and application of contract modalities and costing for technology transfer. In general, the data obtained showed a great marketing potential which entails a facilitated transaction of technology transfer.

KEYWORDS: Competitive;Prospection;Technology transfer

1 | INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico ocasionou uma disruptura no que concerne a automatização dos equipamentos e procedimentos médicos no setor da saúde propiciando uma maior precisão, rapidez e minimização dos custos.

Segundo definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), equipamentos eletromédicos (EEM) são equipamentos dotados de conexão com rede de alimentação elétrica que têm por finalidade diagnosticar, tratar ou monitorar paciente, sob supervisão médica (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994; 1997).

Esses equipamentos têm um alto custo de investimento e ainda é necessário que haja um programa de manutenção adequado, capaz de ampliar a vida útil dos equipamentos a fim de viabilizar corretamente seu uso. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002 apud NASCIMENTO; TANAKA, 2014).

Esta realidade também é vista no Sistema Único de Saúde (SUS). Em relatório preliminar do TCDF, de auditoria realizada entre outubro de 2015 e março de 2017, em unidades de saúde da rede pública do Distrito Federal, constatou que apenas 20% dos equipamentos médicos utilizados predominantemente em unidades de terapia intensiva da Secretaria de Estado de Saúde do Distrito Federal - SESDF possuem cobertura contratual para manutenção preventiva e corretiva (DISTRITO FEDERAL, 2017).

Tomando por base este cenário de elevado custo com manutenção hospitalar, o Ministério da Saúde financiou projetos de pesquisas com vista ao desenvolvimento de um EEM capaz de monitorar outros equipamentos médicos e reduzir esse tipo de gasto.

Os EEM têm por finalidade monitorar o desempenho e coletar dados de outros equipamentos eletromédicos, a fim de evitar que estes fiquem sem utilização por falta

de manutenção, por problemas simples ou por utilização inadequada. A comunicação dessas tecnologias com outros equipamentos possibilita a coleta imagens, dados, informações, que são armazenados em memória interna. Periodicamente, as informações coletadas são enviadas para um ambiente em nuvem a fim de se evitar a sobrecarga e a queda de desempenho das próprias tecnologias.

Pautando-se na importância dessa tecnologia, que é uma potencial ferramenta de gestão hospitalar, este trabalho teve por objetivo utilizar ferramentas de inteligência competitiva a fim de posicioná-las no mercado de Equipamentos Médicos, Hospitalares e Odontológicos (EMHO).

A inteligência competitiva tem por objetivo “acompanhar as tendências do mercado, verificando se as estratégias estão aproveitando as oportunidades e as fortalezas, sem ignorar as ameaças e os pontos fracos” (SEBRAE, 2017c). Segundo Borschiver e Silva a inteligência competitiva

[...] não visa somente analisar as condições de mercado ou do seu concorrente, mas sim avaliar o desempenho dos seus concorrentes dentro deste[s] ambiente[s] e produzir informações que consigam fazer com que sua empresa supere-os, mesmo que as condições de mercado estejam igualitárias (BORSCHIVER; SILVA, 2016, p.24).

Gomes e Braga (2011) defendem que a inteligência competitiva assume um papel estratégico de obtenção de conhecimento contínuo e preciso do ambiente no qual a empresa encontra-se inserida e que composto de variáveis de natureza política, social, econômica e tecnológica.

2 | METODOLOGIA

Este trabalho caracterizou-se por sua natureza exploratória descritiva com abordagem quali-quantitativa.

A fim de otimizar o processo de inteligência competitiva voltado ao mercado de equipamentos médicos, hospitalares e odontológicos foram utilizadas as seguintes ferramentas e métodos de análise: Prospecções científica, tecnológica e mercadológica; Matriz FOFA; Forças Competitivas de Porter; e *Technology ReadinessLevels* (TRL).

Para subsidiar a utilização das ferramentas matriz FOFA, Forças de Porter e TRL foram recuperados 1.155 artigos, 550 patentes sobre EEM de monitoramento e dados de empresas e fabricantes nacionais e internacionais de EMHO.

Foram utilizadas as bases de dados da Biblioteca Virtual em Saúde (BVS) e da *Web of Science*, para a prospecção científica e as bases de bancos de patentes *Espacenet* e *Patentscope* para a prospecção tecnológica. Para a prospecção mercadológica foi utilizada a base *Market Line* em conjunto com estudo prospectivo

da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Para a escolha dos termos foi utilizado o vocabulário estruturado e trilingue chamado Descritores em Ciências da Saúde (DeCS), criado pela Biblioteca Regional de Medicina (BIREME) e disponível naBVS.

A pesquisa, realizada entre os meses de abril e junho de 2017, utilizou as seguintes estruturas de busca:

Prospecção científica	<i>("equipment and supplies" OR "equipment maintenance") AND monitoring</i>
	<i>"medical device" AND "preventive maintenance" AND monitoring</i>
Prospecção tecnológica	<i>("medical device" AND "preventive maintenance" AND monitoring)</i>
	<i>"medical equipment monitoring device"</i>
	<i>"medical equipment monitor" OR "medical equipment monitoring"</i>
	<i>"medical equipment monitor" AND "operating conditions"</i>
Prospecção mercadológica	<i>"monitoring system" AND "medical devices"</i>
	<i>Monitoring equipment</i>
	<i>Electromedical equipment</i>

Quadro 1 - Estruturas de busca utilizadas nas prospecções

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em seguida foi realizada triagem dos dados, tendo como critérios de exclusão: a) resultados duplicados; b) patentes e/ou artigos que fugissem à temática de EEM de monitoramento.

Após as prospecções foi possível aplicar a Matriz FOFA, quanto a EEM nacionais, que subsidiou a tomada de decisões acerca do posicionamento de mercado dessas tecnologias. Os fatores internos são denominados forças e fraquezas, e os fatores externos são definidos como oportunidades e ameaças.

3 | RESULTADOS EDISCUSSÃO

A fim de avaliar os EEM e sua inclusão no mercado e rotina médica odontológica, o presente trabalho realizou três tipos de prospecção para embasar a utilização das demais ferramentas de inteligência competitiva, as quais foram: a tecnológica, por meio da pesquisa de patentes; a científica, com a pesquisa de artigos correlatos à temática “equipamentos eletromédicos de monitoramento”; e a mercadológica, na qual buscou-se empresas fabricantes e comerciantes que compõem o mercado de EMHO.

De acordo com Borschiver e Silva os resultados das prospecções devem ser

analisados com cautela, uma vez que envolvem variáveis socioeconômicas, políticas, culturais e tecnológicas num período de tempo longo. Por isso, as decisões tomadas com base nas prospecções devem ser flexíveis para mudanças pelo fato de que “devem levar em conta a dinâmica dos fatores externos e o grau de influência que estes possam ter em relação à organização ou sistema estudado” (BORSCHIVER; SILVA, 2016, p. 29).

As prospecções científica e tecnológica mostraram que artigos sobre EEM começaram a ser publicados a partir do ano de 1960, enquanto as primeiras patentes apareceram somente em 1980. Observou-se, por meio do Gráfico 1, que, a partir do ano de 2011, houve um movimento de ziguezague na publicação de artigos, no qual os anos pares foram de crescimento e os anos ímpares de queda na quantidade de publicações. O pico de publicações ocorreu nos anos de 2014 e 2016.

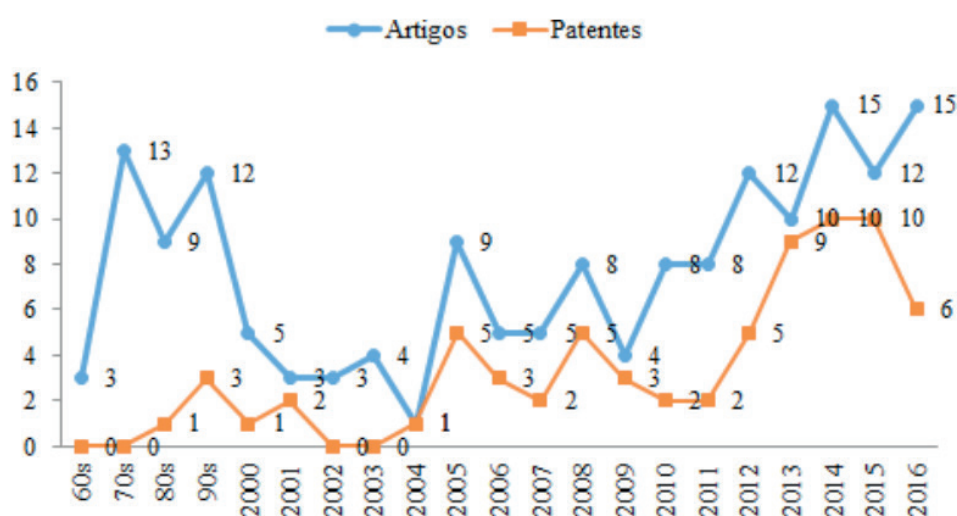


Gráfico 1 - Evolução anual dos artigos e patentes

Fonte: Elaborado pelos autores.

Também foi possível analisar, por meio da prospecção científica e tecnológica que as pesquisas na área de EEM cresceram nos últimos anos, mesmo com oscilações nas quantidades de artigos publicados e patentes depositadas. Ou seja, a tecnologia de equipamentos de monitoramento já se consolidou tanto na fase científica quanto na tecnológica, havendo equilíbrio entre a quantidade de patentes depositadas e artigos publicados.

As prospecções também evidenciaram que os Estados Unidos são a nação que mais publica sobre EEM. Notou-se que, dentre os artigos selecionados, quase metade foi publicado em revista científica norte-americana. A mesma tendência com relação a patentes foi observada onde os Estados Unidos da América são os que mais depositam (22), seguido pelo Canadá (16) e Japão (11).

Visando a análise da quantidade de patentes depositadas na área foi feito

um levantamento nos bancos de patentes do *Espacenet* e *Patentscope* utilizando somente os números da Classificação Internacional de Patentes - CIP dos grupos ou subgrupos com maior ocorrência na busca de patentes por descritores: A61B5/00 and G06F19/00 and H04L29/08. Na base *Espacenet* foram recuperadas 111 patentes e na *Patentscope* 192. Após as devidas exclusões restaram 177 patentes para análise.

No gráfico 2 é possível observar que 134 das patentes recuperadas pela pesquisa por CIP mais recorrentes são da área de saúde, ressaltando que mesmo com a utilização de várias classificações para designar a função ou aplicabilidade de uma patente as CIP mais recuperadas na prospecção, de fato, abrangem a área da pesquisa.

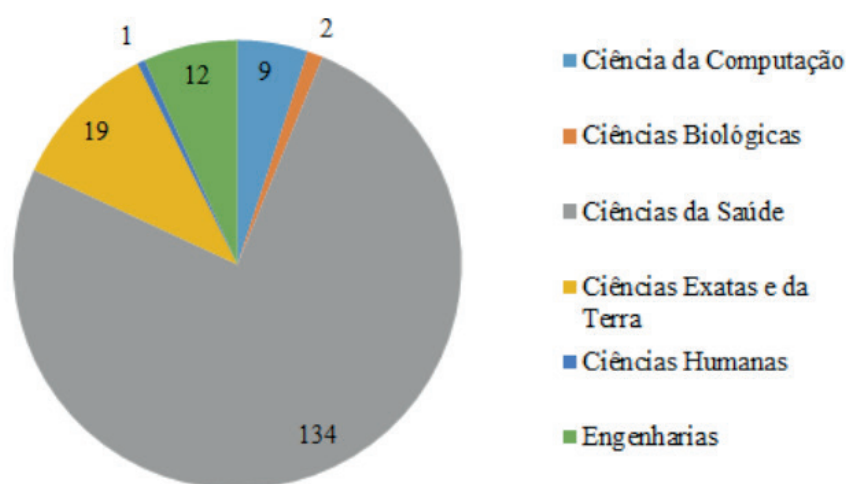


Gráfico 2– Distribuição do CIP por área do conhecimento

Fonte: Elaborado pelos autores.

No que tange à prospecção mercadológica, foi realizada por meio da base *Market Line*, na qual detectou-se quatro empresas que comercializam EEM, sendo que três delas estão localizadas nos Estados Unidos. De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), os Estados Unidos apresenta constante superávit no setor de equipamentos médico-hospitalares e odontológicos, mesmo com redução das exportações entre os anos de 1999 a 2006 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2008a, p. 56).

O governo brasileiro, juntamente com o setor industrial tem incentivado o mercado EMHO por meio de ações políticas.

De acordo com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

[...] é raro encontrar empresas que fabricam exclusivamente equipamentos de monitoração. Normalmente, o foco da empresa é outro, e a linha de produção de monitores complementa o produto principal. Por esse motivo, é difícil obter informações de importação e exportação de Equipamentos de Monitoração a partir das informações oficiais do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL,

Segundo os maiores fabricantes de EMHO outro motivo que dificulta o acesso às informações de importação e exportações de equipamentos de monitoramento está na classificação destes equipamentos. A maioria é enquadrada na classificação “outros aparelhos de eletrodiagnóstico”, mas parte significativa também é classificada no grupo “outros instrumentos e aparelhos para medicina cirúrgica”, no qual, por razões tributárias ou inexistência de classificações específicas, são alocados diversos tipos de equipamentos (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2008a).

No Brasil ocorreu aumento na produção de EMHO e o desenvolvimento de novas tecnologias a partir do final dos anos 90, com a abertura econômica. Há prevalência de pequenas e médias empresas, mas as grandes empresas são responsáveis por quase 70% do faturamento (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2008b).

Diante deste cenário, é possível concluir que há mercado nacional e internacional para EEM a serem desenvolvidos em âmbito nacional. Atualmente, o Brasil exportou US\$ 142,6 milhões para os Estados Unidos e importou o equivalente a US\$ 925,7 milhões também do país norte-americano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ARTIGOS E EQUIPAMENTOS MÉDICOS, ODONTOLÓGICOS, HOSPITALARES E DE LABORATÓRIOS, 2019b).

Os resultados da aplicação da matriz FOFA se encontram no quadro 2.

FORÇAS	FRAQUEZAS
<ul style="list-style-type: none"> ● Tecnologias nacionais; ● Custo menor que o de equipamentos semelhantes importados; ● Possibilita a gestão dos equipamentos eletromédicos; ● Diminuição no tempo gasto para manutenção dos equipamentos monitorados; ● Eficiência nos processos de compras de um ambiente hospitalar; ● Redução dos custos de manutenção; ● Tecnologias desenvolvidas em diálogo com a Universidade e Ministério da Saúde; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Tecnologias envolvidas com os trâmites burocráticos da Administração Pública; ● Amplitude na proposta de comunicação com diversos equipamentos; Tecnologias dependente de manutenção por empresas de assistência técnica e armazenamento dos dados em nuvem;
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
<ul style="list-style-type: none"> ● Ausência de uma solução brasileira que monitore aparelhos médicos possibilitando a manutenção preventiva; ● Empresas interessadas em Licenciamentos da Tecnologia; Apoio do Ministério da Saúde para testes e consolidação de tecnologias desenvolvidas em âmbito nacional; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pendência da realização de Testes em seres humanos; ● Possibilidade de tecnologias serem melhoradas e aplicadas no exterior; ● Fluxo contínuo de modificações nas portas de equipamentos médicos; ● Dependência de financiamento da iniciativa pública e ausência de recursos de outras fontes; ● Inflação médica.

Quadro 2 - Matriz FOFA.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nos dados das prospecções foi possível também realizar a análise das forças competitivas de Porter, que é uma ferramenta de análise ambiental a qual auxilia o posicionamento de mercado de tecnologias, desenvolvida por Michael Porter. Para as tecnologias envolvendo EEM pode-se elencar as seguintes forças: a) Entrantes Potenciais: o investimento inicial para o desenvolvimento de um equipamento eletromédico é alto. Existem custos derivados de inovações tecnológicas, demanda por pesquisa contínua e por conhecimento especializado. Além disto, há legislações e diretrizes de órgãos competentes, tais como ANVISA, Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e comissões de ética, que regulam o mercado de EEM. Tais fatos podem ser considerados fatores limitantes à entrada de novos concorrentes. O fato da barreira de entrada no mercado de EMHO ser mais alto diminui a competição feita pelos potenciais entrantes. b) Poder de Barganha dos Compradores: em outras situações o poder de barganha dos compradores pode ser alto, tendo em vista que estes fazem pesquisas de preço e compram de fornecedores que mais dão benefícios. Mas, no caso dessas tecnologias, por não possuir concorrente nacional direto, o poder de barganha dos compradores é diminuído. Contudo, não há como menosprezar este fator, uma vez que muitos estabelecimentos de saúde ainda relutam quanto à implantação de gestão interna de manutenção, o que pode impactar na aquisição de equipamentos. c) Produtos Substitutos: a ameaça de novos produtos substitutos é baixa, tendo em vista o alto investimento para o desenvolvimento de equipamentos. Além disso, o tempo gasto desde a construção até a inclusão do produto no mercado também diminui a possibilidade de surgimento de equipamentos semelhantes. Também há o fato de que poucos estabelecimentos se preocupam em adotar programas de manutenção preventiva. d) Concorrentes: em qualquer segmento a competição existe e a disputa entre concorrentes pode ser uma das forças mais significativas. Isto ocorre devido ao fato desta força não poder ser controlada. O número de empresas do ramo de EMHO é alto, principalmente internamente e as barreiras de saída são altas, como, por exemplo, os ativos especializados.

Por meio dessa ferramenta, verificou-se também que as forças que determinam o potencial lucrativo de uma empresa, com relação às tecnologias estudadas são: a ameaça de novos entrantes; a ameaça de produtos substitutos; o poder de negociação dos compradores; o poder de negociação dos fornecedores e a rivalidade entre os concorrentes existentes.

No que se refere a maturidade de tecnologias EEM, pode ser aferida por meio de ferramenta *Technology Readiness Levels* (TRL) e, tomando por base os dados das prospecções, a maturação da tecnologia, encontra-se no nível misto como descrito no quadro 3. Ou seja, as tecnologias de equipamentos de monitoramento já se consolidaram tanto na fase científica quanto na tecnológica, havendo equilíbrio

entre a quantidade de patentes depositadas e artigos publicados, tendo a tecnologia, agora, sendo desenvolvida em todas as dimensões.

Para Fernandes (1998) a posição competitiva e da maturidade tecnológica são interligadas e constituem um cenário para que se decida onde a empresa deve investir. Ele também afirma que à medida que se caminha da posição obsoleta para embrionária, os riscos aumentam, dada a incerteza da obtenção de sucesso técnico. Por sua vez, também as inovações revelam maior probabilidade de se realizarem.

No que diz respeito ao grau de maturidade tecnológica foi possível analisar que, tomando por base os dados das prospecções, os equipamentos de monitoramento, com relação ao grau de maturação, se encontram no nível misto. Ou seja, a tecnologia de equipamentos de monitoramento já se consolidou tanto na fase científica quanto na tecnológica, havendo equilíbrio entre a quantidade de patentes depositadas e artigos publicados, tendo a tecnologia, agora, sendo desenvolvida em todas as dimensões.

Após análise de tecnologias equipamentos de monitoramento, quanto a sua maturidade, é importante pensar em uma estratégia para inseri-las no mercado e uma forma seria por meio da transferência de tecnologia.

Closs e Ferreira (2012) afirmam que

[...] universidade e empresa estão em um ambiente de dependência mútua, visto que as empresas são detentoras da lógica para criar produtos inovadores com vocação comercial e buscam na pesquisa das universidades os fundamentos do conhecimento para tal. Completando o modelo da tripla hélice, o governo deve articular, estimular e dar suporte às relações acima descritas, cumprindo um papel importante de catalisador.

No cenário nacional, o modelo da tripla hélice funciona como estimulador da inovação e do desenvolvimento econômico do país, por meio da relação de três esferas: universidade, empresa e governo. Para Mello et al. (2016), estas interações entre Universidade, Empresa e Governo, funcionam como base para as políticas de incentivo à inovação tecnológica de uma localidade, que segundo Kato (2008 apud MELLO et al., 2016), são responsáveis por estabelecer o pilar da sociedade contemporânea.

A transferência de tecnologia é importante no sentido de materializar a continuidade do processo de implementação de inovações, levando para o mercado um conhecimento novo, com relativa vantagem competitiva para o investidor e benefício para o usuário final (FERNANDES, 2003).

No que tange a tecnologia estudada, o contrato de know-how é aconselhável como um instrumento complementar ao contrato de licenciamento da tecnologia, tendo em vista que a petição depositada do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) não é suficientemente descritiva de forma a possibilitar que o licenciado consiga construir o dispositivo apenas por meio de sua leitura.

Um termo de cooperação técnica pode ser celebrado também com ambientes que possuam elevada estrutura de equipamentos médicos para a realização de testes de validação e melhoramento dessas tecnologias. Nesse arranjo, não há ganhos econômicos, mas a vantagem de testes de validação mais robustos que aqueles realizados em bancada. Por consequência dessa ação, as tecnologias passam a adquirir a facilidade nos quesitos de certificação, além da sua maior valoração antes mesmo da negociação de transferência para a empresa, ou seja, a figura dos ganhos econômicos existe de forma mediata.

No que tange o pagamento pelo licenciamento das tecnologias, sugere-se um percentual de 5% de *royalties* mínimos, de forma bruta, dispensando assim os cálculos de desconto que deveriam ser feitos no valor líquido, nos primeiros 2 anos, e de forma escalonada para os anos posteriores, com uma taxa inicial (Lump Sump). Essa sugestão teve como embasamento os estudos apresentados pelo professor e consultor Russell L. Parr, que pelo estudo comprovou que a taxa de 5% é a mais utilizada para os pagamentos de *royalties* em equipamentos médicos (PARR, 2016).

Já a definição de *royalty* de forma escalonada, para os anos posteriores, foi estabelecida devido a essa modalidade estimular o aumento da comercialização da tecnologia pelo licenciado, sem prejudicar o valor absoluto que o licenciado recebe (QUINTELLA; TEODORO, 2013). Ela permite que o percentual de *royalties* varie de acordo com a demanda de ganhos, aumentando seu percentual quando os ganhos estiverem baixos e diminuindo quando estiverem altos, proporcionando ao fornecedor da tecnologia sempre um ganho médio independentemente da situação das vendas do produto. A utilização dessa modalidade a partir do terceiro ano possibilita uma renegociação da contrapartida econômica de maneira mais justa, pois nesse momento se terá indicadores reais do desempenho das tecnologias no mercado ao longo dos dois primeiros anos de comercialização.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da utilização das ferramentas de inteligência competitiva pôde-se analisar o posicionamento da tecnologia estudada no mercado e assim sugerir a modalidade para realização da transferência de tecnologia.

As prospecções também mostraram que existem artigos publicados sobre a temática, patentes depositadas e empresas que fabricam e comercializam equipamentos eletromédicos, porém com foco internacional, propiciando um mercado nacional menos competitivo para tecnologias nessa área e corroborando para uma maior valoração dos equipamentos.

No contexto atual, a ausência de depósitos de patentes brasileiras nesta área poderia ser relacionada ao fato da falta de incentivo e investimento à pesquisa e

ao desenvolvimento de novas tecnologias. Ademais, observou-se também um baixo número de publicações científicas relacionadas ao tema, quando comparada com os Estados Unidos e outros países, mostrando a necessidade de mais estudos por parte dos pesquisadores brasileiros nesta área, ao passo que se torna um campo promissor para pesquisa, desenvolvimento de novas tecnologias e consequente modernização e otimização dos serviços de saúde. Outro motivo que pode impactar nos baixos índices patentários brasileiros está relacionado à dificuldade de classificar os equipamentos eletromédicos, como apontado pela ABDI.

Com a matriz FOFA foi possível constatar que apesar de tecnologias de equipamentos serem nacionais, esse fato pode propiciar uma redução no custo das manutenções dos equipamentos hospitalares e podendo ir ao mercado com custo menor em relação a equipamentos semelhantes. De toda forma, as tecnologias ainda dependerão de alguns testes e deverão estar em constante atualização para que não se torne obsoleta.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Panorama setorial:** equipamentos médicos, hospitalares e odontológicos. Brasília: ABDI, 2008b. (Série Cadernos da Indústria ABDI, v.7). Disponível em: <<http://www.abdi.com.br/Estudo/volume%207.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ARTIGOS E EQUIPAMENTOS MÉDICOS, ODONTOLÓGICOS, HOSPITALARES E DE LABORATÓRIOS. **Dados econômicos.** São Paulo, 2017a. Disponível em: <<https://abimo.org.br/dados-do-setor/dados-economicos/>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ARTIGOS E EQUIPAMENTOS MÉDICOS, ODONTOLÓGICOS, HOSPITALARES E DE LABORATÓRIOS. **Dados de comércio exterior.** São Paulo, 2017b. Disponível em: <<https://abimo.org.br/dados-do-setor/dados-de-comercio-exterior/>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60601-1:** equipamento eletromédico: parte 1: prescrições gerais para segurança. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 60601-1:** equipamento eletromédico: parte 1: prescrições gerais para segurança: emenda 1. Rio de Janeiro, 1997.

BORSCHIVER, Suzana (Org.); SILVA, Andreza Lemos Rangel da (Org.). **Technology roadmap:** planejamento estratégico para alinhar mercado-produto-tecnologia. Rio de Janeiro: Interciência, 2016.

CLOSS, Lisiane Quadrado; FERREIRA, Gabriela Cardozo Ferreira. A transferência de tecnologia universidade-empresa no contexto brasileiro: uma revisão de estudos científicos publicados entre os anos 2005 e 2009. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 419-432, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v19n2/v19n2a14.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

DIAS; Alexandre Aparecido; PORTO, Geciane Silveira. Gestão de Transferência de Tecnologia na Inova Unicap. **Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 3, p. 263-284, maio/jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552013000300002>. Acesso em 17 jun. 2017.

DISTRITO FEDERAL. Tribunal de contas do Distrito Federal. **Nos hospitais do DF, 80% dos equipamentos de UTI não têm manutenção adequada.** Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.tc.df.gov.br/web/tcdf1/noticias/-/asset_publisher/E2Ot/content/nos-hospitais-do-df-80-dos-equipamentos-de-uti-nao-tem-manutencao-adequada?redirect=%2Fweb%2Ftdcf1%2Fnoticias>. Acesso em: 04 jun. 2017.

FERNANDES, J. **Gestão da tecnologia como parte da estratégia competitiva das empresas.** Brasília: IPDE, 2003.

FERNANDES, R. **Tecnologia:** aquisição, desenvolvimento, proteção, transferência e comercialização. Rio de Janeiro: Quadratim, 1998.

GOMES, Elisabeth; BRAGA, Fabiane. Construção de um sistema de inteligência competitiva. In: STAREC, Cláudio; GOMES, Elisabeth; BEZERRA, Jorge. **Gestão estratégica da informação e inteligência competitiva.** 1. ed., 5. tir. São Paulo: Saraiva, 2011. p. 111-123.

MELLO, J. A. V. B. et al. Percepções e avaliação do setor empresarial a respeito de possibilidades de tríplex hélice com uma IFES interiorizada. **HOLOS**, ano 32, v. 1, p. 215-230, fev. 2016. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2483/1385>>. Acesso em: 26 jun. 2017.

NASCIMENTO, M. A.; TANAKA, H. Mapeamento do custo de manutenção de equipamentos médicos no estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA, 24., 2014, Uberlândia-MG. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2014. p. 701-704. Disponível em: <http://www.canal6.com.br/cbeb/2014/artigos/cbeb2014_submission_213.pdf>. Acesso em: 18 maio 2017.

PARR, Russel L. **Royalty rates for medical devices&diagnostics.** Pennsylvania: IPAR, 2016. Disponível em: <<http://techtransfercentral.com/wp-content/uploads/2010/01/Royalty-Rates-for-Medical-Devices-and-Diagnostics-2016-Edition-TOC.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2017.

QUINTELLA, Cristina M.; TEODORO, Auristela Felix de Oliveira. Os ganhos econômicos diante da propriedade intelectual: retorno do investimento à sociedade. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 10., 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: AEDB, 2013. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos13/35018338.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2017.

ANALISE COMPUTACIONAL DE VIGAS RETANGULARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADA AO CISALHAMENTO COM PRFC

Data de aceite: 26/11/2019

Maicon de Freitas Arcine

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil
Maringá, PR.

Nara Villanova Menon

Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Civil
Maringá, PR.

RESUMO: A necessidade de aumento de capacidade resistente de uma estrutura é cada vez mais recorrente e negligenciada, o que pode comprometer a segurança da mesma. Desta forma o desenvolvimento de novas técnicas de reforço e reabilitação destes sistemas tornam-se essenciais. Diversas metodologias de reabilitação estrutural vêm sendo desenvolvidas e aplicadas, tornando-se cada vez mais sofisticadas. Pode-se citar como uma destas novas técnicas um reforço que utiliza Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC) ou *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). Este estudo tem por objetivo, portanto, explorar o reforço ao cisalhamento em vigas reforçadas com compósitos de fibra de carbono, comparando resultados experimentais obtidos por Menon (2008) com simulações numéricas por meio do *software* ABAQUS 6.12

e SAP2000 V15. Com relação à modelagem, encontrou-se o esperado, pois com o reforço as tensões na biela de compressão diminuíram satisfatoriamente. O programa ABAQUS se mostrou ser bastante complexo quando se trata de modelagem em concreto, pois este material está interagindo com o aço e com o PRFC de várias formas, sendo necessário adotar várias situações mais simples que não condizem exatamente com a realidade.

PALAVRAS-CHAVE: Simulação numérica. ABAQUS. SAP2000 V15. Reforço ao cisalhamento. Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC).

COMPUTATIONAL ANALYSIS OF RECTANGULAR REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH CFRP

ABSTRACT: The need to increase the resilient capacity of a structure is increasingly recurrent and neglected, which may compromise its safety. New techniques developed for strengthening and rehabilitating these systems becomes essential. Several structural rehabilitation methodologies have been applied and applied and they become increasingly sophisticated. One can cite as one of these new techniques and reinforce that it uses Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). This study aims, therefore, to explore or reinforce and shear in beams reinforced with

carbon fiber composites, comparing experimental results obtained by Menon (2008) with numerical simulations using ABAQUS 6.12 and SAP2000 V15 software. Regarding the modeling, found or expected, with the reinforcement as stresses in the compression rod decreased satisfactorily. The ABAQUS program proved to be quite complex when it comes to concrete modeling, as this material is being interoperable with steel and PRFC in many ways, and it is necessary to adopt several simpler variables that are not the same as reality.

KEYWORDS: Numerical simulation. ABAQUS. SAP2000 V15. Shear reinforcement. Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP).

1 | INTRODUÇÃO

Uma estrutura de concreto armado, durante sua vida útil, deve satisfazer diversos requisitos os quais podem não ser totalmente conhecidos na fase de execução do projeto. Com isto, durante a sua vida útil, pode requerer reforço estrutural por algumas das seguintes razões: incremento de carga, danos de partes estruturais (envelhecimento da construção, danos causados por incêndios, corrosão da armadura, impacto de veículos, etc.), aumento da capacidade de serviço (limitação das deformações, redução do esforço no aço, redução da abertura das fissuras), modificação do sistema estrutural e erros de projeto, cálculo e construção.

Dentre os materiais utilizados para reforçar uma estrutura, destacam-se os materiais compósitos (matriz e reforço). Os FRPs (*Fiber Reinforced Polymer*), ou seja, polímeros reforçados com fibras, são materiais compósitos constituídos por fibras embebidas em uma matriz polimérica (Figura 1). Pode-se ressaltar as fibras de vidro (PRFV), fibras de aramida (PRFA) e as fibras de carbono (PRFC).

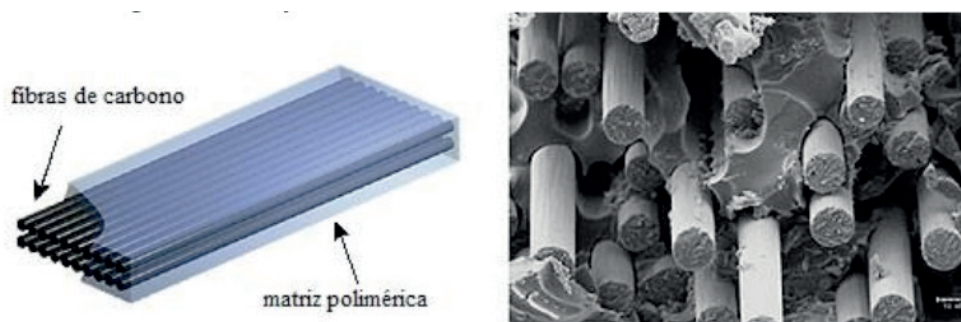


Figura 1 - Esquema de um laminado de FRP unidirecional

Fonte: Machado e Machado (2015)

Uma das formas de aplicação do reforço com este material é externamente sobre a superfície do elemento estrutural. Os estudos referentes a este tema têm focado em fortalecimento externo ao cisalhamento principalmente em base experimental e numericamente em quantidades limitadas. Segundo Machado e

Machado (2015), sistemas compostos estruturados com fibras de carbono oferecem várias possibilidades para permitir o reforço ao cisalhamento dos elementos de concreto armado. Ainda segundo Arcine (2016), esses sistemas são utilizados para o envolvimento das seções de concreto com as fibras dispostas transversalmente com o objetivo de reforçar as diagonais tracionadas da treliça de Morsch de maneira similar aos estribos de aço. Existem três formas de reforço à cortante, são elas: envolvimento total da seção transversal (Figura 2(a)), envolvimento em forma de “U” (Figura 2 (b)), e apenas nas laterais da viga (Figura 2 (c)).

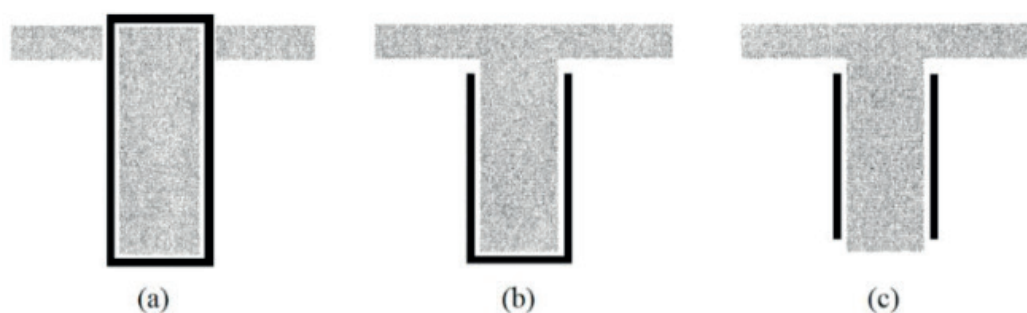


Figura 2 - Configurações possíveis do reforço ao cisalhamento

Fonte: ACI 440.2R-08 (2008)

A situação de um reforço estrutural pode ser abordada de formas diferentes, as quais, dividem-se em estudos experimentais e numéricos. Ainda que análises experimentais apresentem bons resultados sobre o comportamento do reforço ao cisalhamento, estes são complexos, trabalhosos e de elevado custo. Alguns exemplos de programas computacionais capazes de solucionar problemas referente a este assunto são os *Softwares* ABAQUS 6.12 e SAP2000 V15, ambos baseados no Método dos Elementos Finitos (MEF). Por meio de simulações numéricas com estes *Softwares* é possível observar as tensões e deformações geradas em vigas retangulares de concreto armado, além do reforço nestas estruturas e sua funcionalidade quanto a esforços de cisalhamento.

Segundo Lyra (2011), a dificuldade para uma análise não linear utilizando estes softwares está na caracterização do material sobre o qual se está estudando. Muitas pesquisas já foram realizadas com a finalidade de encontrar modelos que se aproximem ao máximo do concreto armado, o qual visam prever o comportamento da estrutura perante o carregamento imposto.

Por isto, neste trabalho serão analisados modelos tridimensionais de concreto armado com o objetivo de analisar o reforço e as situações possíveis de ruptura.

Dentro da engenharia estrutural o MEF proporcionou grande revolução, permitiu a resolução de problemas complexos cuja solução analítica se mostra inviável. Na análise de estruturas de concreto, esta técnica tem permitido a avaliação detalhada

do seu comportamento. Apresenta modelagem bastante abrangente e específica dos componentes envolvidos no sistema estrutural.

Além disso, se comparado com as análises experimentais, as análises numéricas são consideradas mais baratas e rápidas. É capaz de auxiliar o profissional em controlar as condições de contorno e de carregamentos dos elementos analisados de forma rápida e simples. Isto possibilita compreender melhor os sistemas estruturais e prever novos métodos de falha que comprometam a estrutura. No entanto, grande parte das simulações encontradas na literatura são referentes a problemas de flexão e os existentes sobre cisalhamento, na maioria das vezes, não representam a estrutura com grandes variações de parâmetros e análises, possíveis com simulações numéricas.

Portanto, complementar um estudo experimental de reforço ao cisalhamento em vigas de concreto armado por meio de análises numéricas, auxiliará pesquisadores futuros a melhorar técnicas de reforço. Contribuirá também, com que haja economia de tempo e dinheiro com as modelagens.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliação dos modelos, foi tomada como base um estudo realizado por Menon (2008) a qual foi ensaiado experimentalmente uma viga em concreto armado e posteriormente reforçada com compósitos de fibra de carbono dispostas em U. A viga estudada possui seção transversal de 12x25cm com comprimento total de 250cm e distância entre vãos de 222cm. O f_{ck} obtido experimentalmente foi de 31,20 MPa aos 28 dias. As armaduras longitudinais e transversais foram igualmente dimensionadas ao longo de toda a viga. Para as barras longitudinais, tanto de compressão quanto de tração, foram compostas por quatro barras de aço CA-50 de 16mm cada, dispostas como na figura a seguir. Para os estribos foram compostas pelo aço CA-60 de 4,2mm espaçados de 18cm. A Figura 3 mostra a armação da viga ensaiada em laboratório.

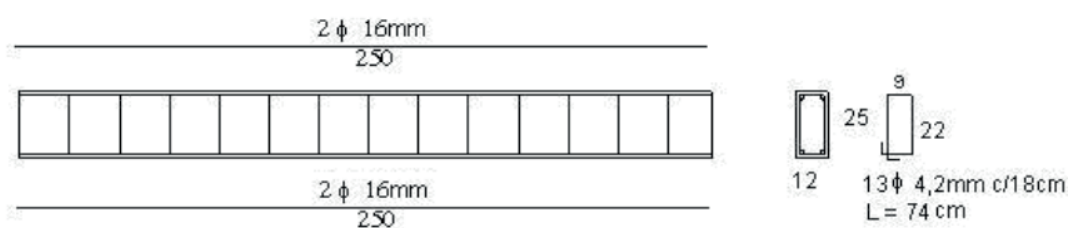


Figura 3 – Dimensões das vigas (Dimensões em cm)

Fonte: Menon (2008)

O aço CA-50 usado no ensaio experimental apresentou um valor médio de

tensão de escoamento de 599,20 MPa com tensão de ruptura média de 735,96 MPa. Não foi fornecido a tensão de escoamento para o aço CA-60, mas o mesmo obteve uma tensão de ruptura média de 798,29 MPa.

As lâminas de fibra de carbono foram espaçadas de 18cm e a primeira distante de 14cm do apoio de segundo gênero. O reforço usado no estudo foi o Sika®CarboShear L 4/20/50, possui um Módulo de Elasticidade de 120 GPa, espessura de 1,4 mm e deformação de ruptura de 1,7 %. A Figura 4 apresenta o sistema de reforço realizado no estudo com as dimensões em centímetros.

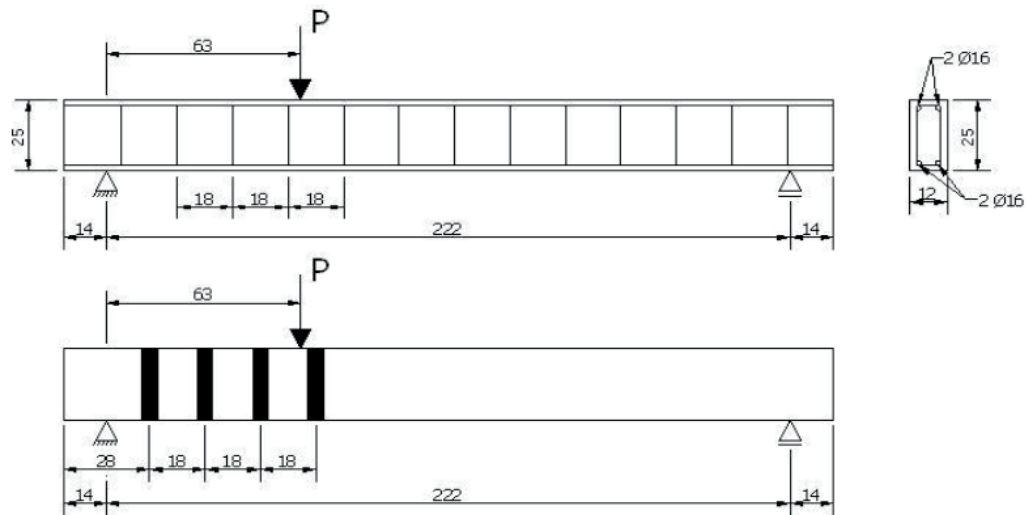


Figura 4 – Condições de contorno da viga experimental

Fonte: Menon (2008)

A viga ensaiada experimentalmente atingiu o colapso aos 77,71 kN e o deslocamento encontrado sob a carga aplicada foi de 1,11cm. A seguir tem-se o diagrama carga x deslocamento encontrado para este estudo.

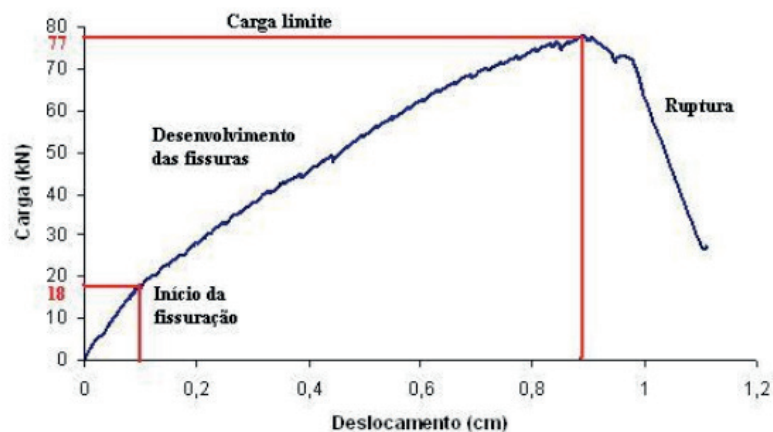


Figura 5 - Diagrama carga x deslocamento da viga referência.

Fonte: Menon (2008).

Devido às dificuldades de se modelar a viga em regime plástico, a mesma foi

estudada ainda em regime elástico, pois se trata apenas de um estudo preliminar de uma viga reforçada. A carga a ser utilizada na análise será de 18kN com um respectivo deslocamento no ponto de aplicação da carga de aproximadamente 0,1cm (1mm).

A modelagem foi realizada utilizando o *Software* ABAQUS 6.12. Os passos para a modelagem foram seguidos com o auxílio do material de conceitos básicos do ABAQUS proposto por Verissimo (2006). Os dados e considerações obtidos para a modelagem dos materiais foram encontrados em ACI 440.2R-02 e Manual de Reforço proposto por Machado (2006).

Foi adotado para o concreto o elemento *SOLID 3D* de formulação isoparamétrica, integração reduzida com 8 nós tipo “brick” (C3D8R). As armaduras longitudinais e transversais foram por meio do elemento *WIRE 3D* com elemento do tipo *TRUSS* com 2 nós (T3D2). Para a interação do concreto com o aço, foi usada a função “*Constraint*” como região embutida (*Embedded region*). A unidade adotada para comprimento foi o “metro (m)” e para carga foi o “KiloNewtons (KN)”. A Figura 6 mostra a imagem da modelagem realizada com base nos dados experimentais.

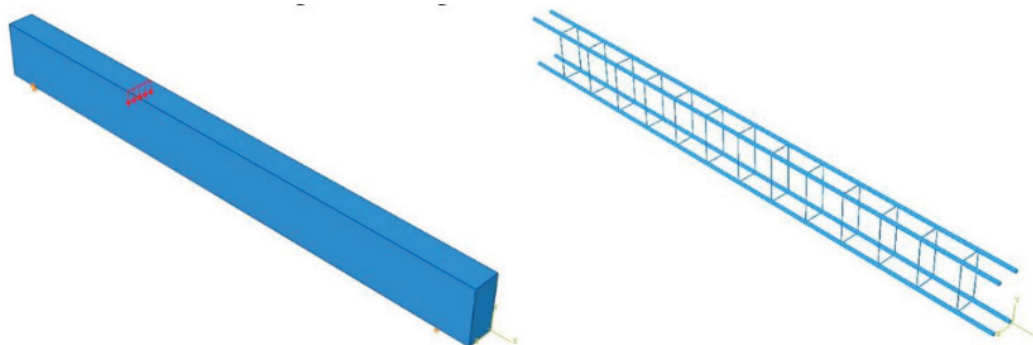


Figura 6 – Viga modelada no ABAQUS

Fonte: Arcine (2016)

Na modelagem da fibra de carbono, adotou-se elemento *SOLID 3D* de formulação isoparamétrica, integração reduzida com 8 nós tipo “brick” (C3D8R). Para a colagem da lâmina de PRFC, dispostas na Figura 7, adotou-se perfeita adesão (*Tie*) entre o concreto e a fibra de carbono conforme a imagem a seguir.

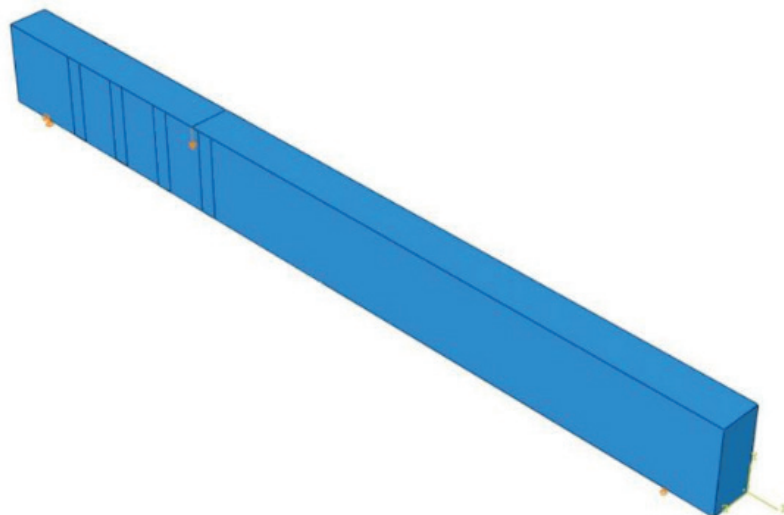


Figura 7 - Esquema numérico da viga reforçada no ABAQUS

Fonte: Arcine (2016)

O sistema de coordenadas que ambos os softwares adotam para os seus cálculos pode ser observado na Figura 8.

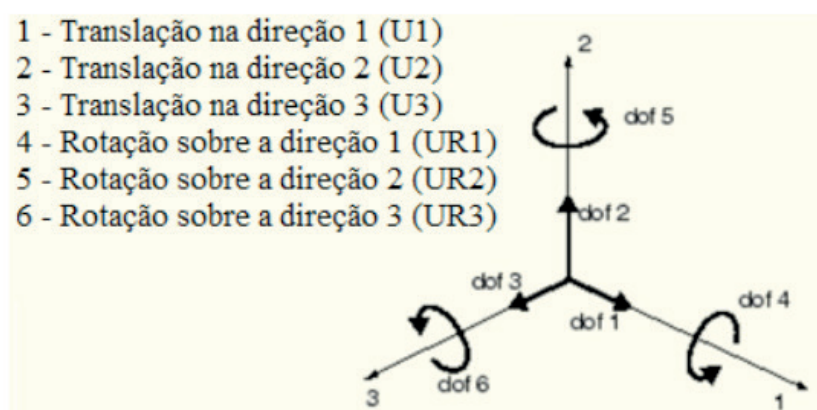


Figura 8 - Notação para os graus de liberdade no ABAQUS e SAP2000

Fonte: Adaptado de Verissimo (2006)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da viga com SAP2000.

Para esta análise, foi modelada a viga de estudo no SAP2000 V15.2.1 apenas em concreto e armação e sem reforço, com a finalidade de se realizar um breve estudo das bielas de compressão no concreto e seu rompimento.

Para a modelagem no SAP2000, supôs que o material usado seja homogêneo e isotrópico, solicitado somente em regime elástico e com pequenas deformações. Utilizou o elemento SOLID 3D de formulação isoparamétrica com 8 nós tipo “brick” para modelar o concreto. A armadura foi analisada por meio do elemento FRAME. O

fck usado foi 31,20 Mpa e as demais condições de contorno foram usadas conforme o estudo realizado por Menon (2008). A Figura 9 apresenta a viga referência modelada no *software* SAP2000.

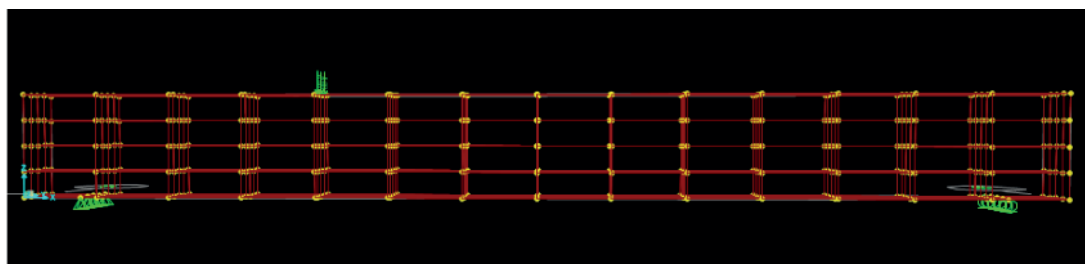


Figura 9 – Viga modelada no SAP2000

Fonte: Arcine (2016)

Ao simular o sistema estrutural em questão, obteve-se os resultados ilustrados na Figura 10 e Figura 11.

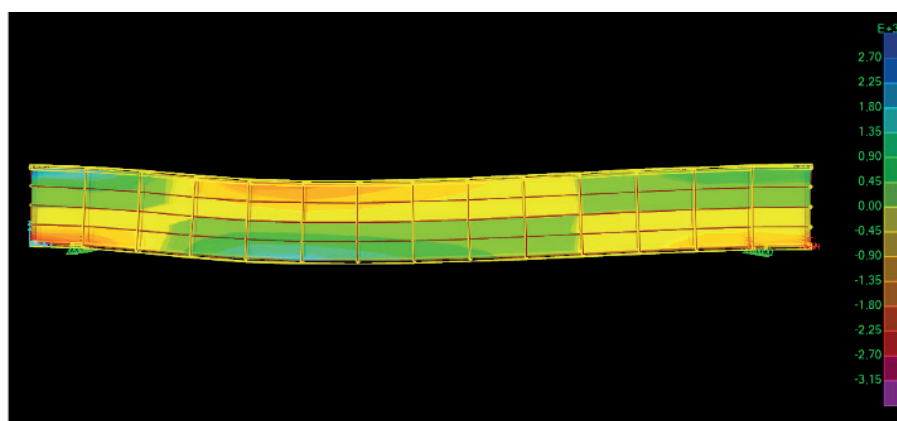


Figura 10 – Diagrama de tensões S11 (Compressão)

Fonte: Arcine (2016)

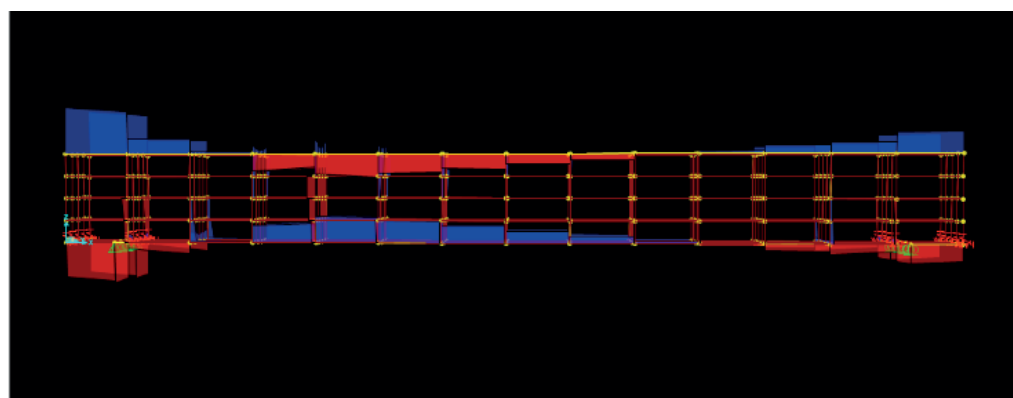


Figura 11 – Diagrama de tensões nas armaduras

Fonte: Arcine (2016)

Com este estudo, percebe-se na Figura 10, que entre a aplicação da carga e o apoio de segundo gênero há uma grande concentração de tensões de compressão,

onde haverá a necessidade de realizar um futuro reforço. Logo, observa-se a presença das bielas de compressão entre os apoios e a aplicação da carga, observando um sistema de treliça.

2.2 Viga simulada no abaquus sem reforço

A seguir são apresentados os resultados obtidos de acordo com a modelagem realizada no *software* ABAQUS. A princípio avaliou-se o deslocamento no ponto de aplicação da carga e ao redor do mesmo, com a finalidade de se observar a proximidade dos resultados com a realidade. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 12.

```

ODB: C:/Temp/Job-1.odb
Step: Carga
Frame: Increment      1: Step Time = 1.000

Loc 1 : Nodal values from source 1
Output sorted by column "Node Label".
Field Output reported at nodes for part: CONCRETO-1

```

Node Label	U.Magnitude @Loc 1	U.U1 @Loc 1	U.U2 @Loc 1	U.U3 @Loc 1
753	662.574E-06	-915.144E-09	-629.538E-06	-206.602E-06
761	675.648E-06	-989.547E-09	-647.350E-06	-193.485E-06
1329	662.574E-06	915.263E-09	-629.538E-06	-206.602E-06
1337	675.648E-06	989.665E-09	-647.350E-06	-193.485E-06
Minimum	662.574E-06	-989.547E-09	-647.350E-06	-206.602E-06
At Node	1329	761	1337	1329
Maximum	675.648E-06	989.665E-09	-629.538E-06	-193.485E-06
At Node	1337	1337	1329	1337

Figura 12 - Deslocamentos no ponto de aplicação da carga

Fonte: Arcine (2016)

Assim, observou-se que de acordo com a Figura 12 o deslocamento vertical está relacionado com U2. A viga modelada sofreu um deslocamento de aproximadamente 0,65mm o que demonstra coerência com o 1mm ocorrido na viga real. Este resultado foi considerado aceitável, visto a dificuldade da modelagem de uma viga real em um modelo computacional. Além disso, várias outras características foram adotadas, não correspondendo exatamente a situação real.

A Figura 13 apresenta o diagrama referente ao deslocamento U2. Nota-se que a região em azul representa a área com maior deslocamento.

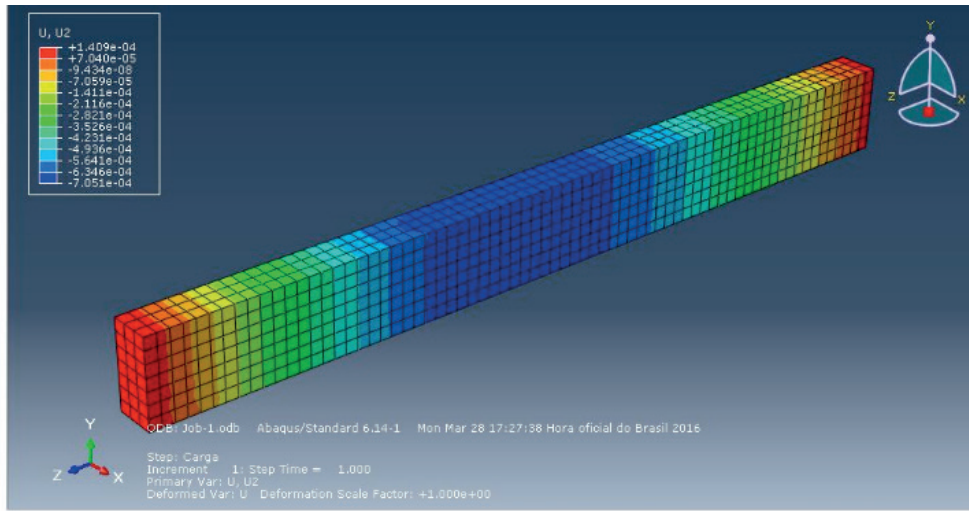


Figura 13 – Diagrama U2 (ABAQUS)

Fonte: Arcine (2016)

A Figura 14 mostra as tensões na direção 3 da estrutura (eixo Z), neste caso, representa o diagrama de flexão da viga. Logo, pode-se observar uma tração na parte de baixo da mesma e uma compressão na parte superior.

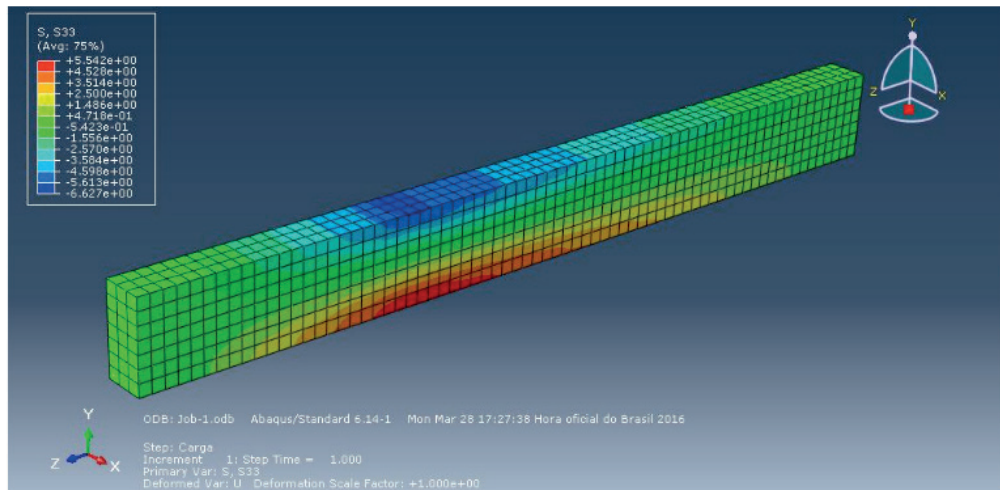


Figura 14 - Diagrama S33 (ABAQUS)

Fonte: Arcine (2016)

Como este trabalho tem por finalidade o estudo do cisalhamento na viga, a Figura 15 apresenta as tensões encontradas ao longo de toda a viga modelada, referente ao cisalhamento.

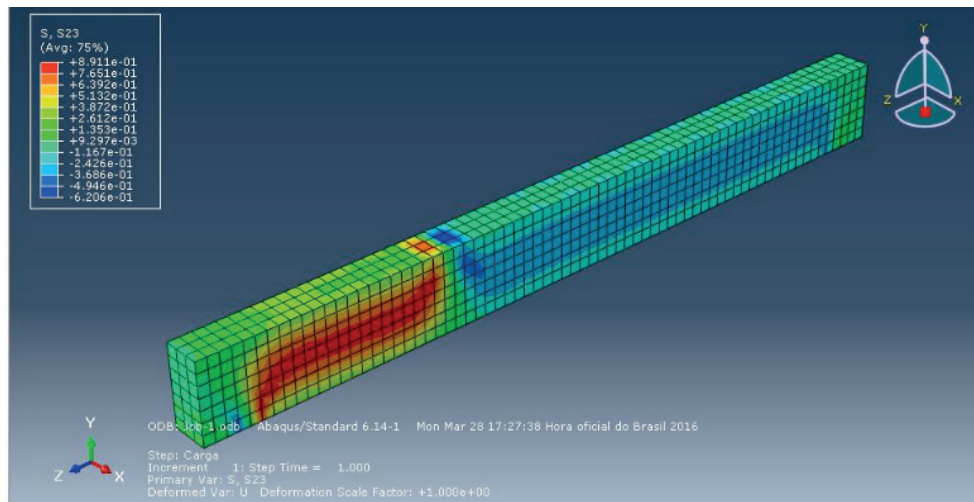


Figura 15 – Diagrama S23 - Cisalhamento (ABAQUS)

Fonte: Arcine (2016)

Percebe-se na Figura 15 o cisalhamento no plano YZ (23), ou seja, nota-se a região de compressão do lado esquerdo da viga, mais próximo do apoio de segundo gênero, o que impede um deslocamento no eixo Z. Logo, na região direita da viga há tração devido ao apoio de primeiro gênero, possibilitando uma translação ao longo do eixo Z. Observa-se grandes concentrações de tensões na região do vão de cisalhamento, tanto na simulação do ABAQUS quanto na do SAP2000, semelhante a região de colapso experimental, retratada na Figura 16. Esta região será o local onde serão coladas as lâminas de PRFC com a finalidade de se absorver as tensões de cisalhamento.



Figura 16 – Ruptura da Viga referencia

Fonte: Menon (2008)

As tensões geradas nas armaduras transversais e longitudinais, de compressão e tração, podem ser analisadas na Figura 17.

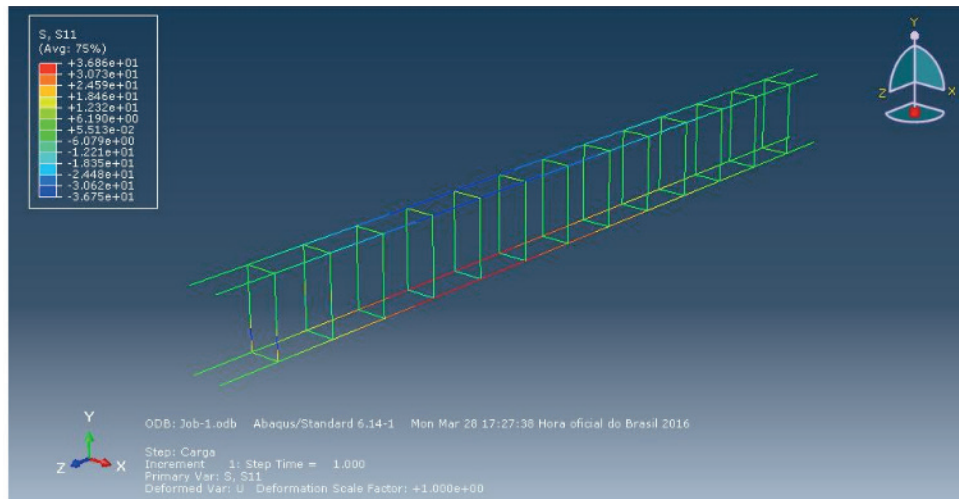


Figura 17 – Diagrama de tensões na armadura S11

Fonte: Arcine (2016)

Observa-se que próximo à aplicação da carga, as barras inferiores sofrem elevada tração e menor mais próximo dos apoios e as superiores compressão. Para os estribos, praticamente todas sofrem baixa tração, a não ser as próximas ao apoio de segundo gênero.

2.3 Viga reforçada

como proposto experimentalmente, a viga ensaiada foi reforçada e novamente ensaiada, assim os resultados nas Figuras 18 e 19 mostram os diagramas de tensões no concreto, na fibra e no aço.

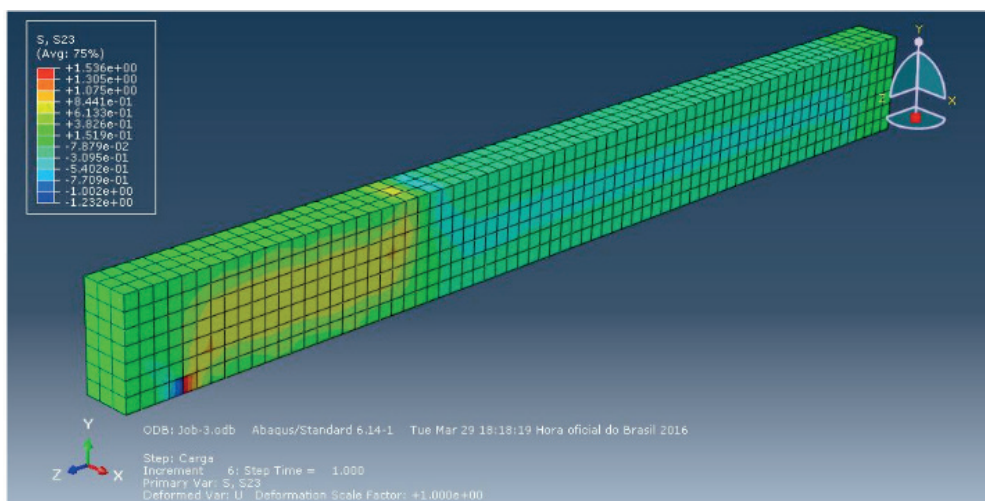


Figura 18 – Diagrama de tensões S23 com reforço.

Fonte: Arcine (2016)

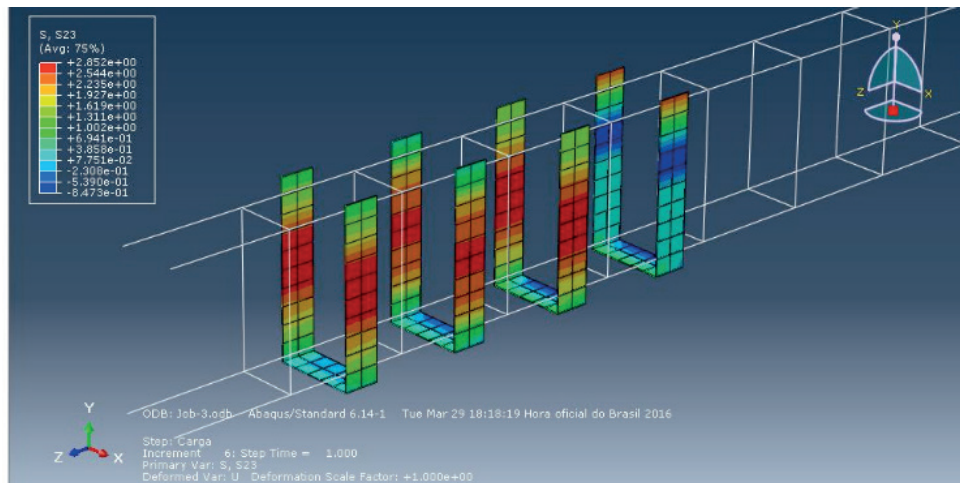


Figura 19 - Diagrama de tensões S23 no laminado

Fonte: Arcine (2016)

Como podemos observar, as lâminas de PRFC absorvem boa parte das tensões na biela de compressão entre o apoio de segundo gênero e a aplicação da carga, gerando em boa parte do material de reforço tensões de compressão. Já a parte da viga sujeita a tração ocorre um pequeno alívio nas tensões de tração.

Por fim, o diagrama S33 da Figura 20 com reforço referente à flexão da viga, pode-se observar que as lâminas também estão absorvendo tensões geradas por flexão.

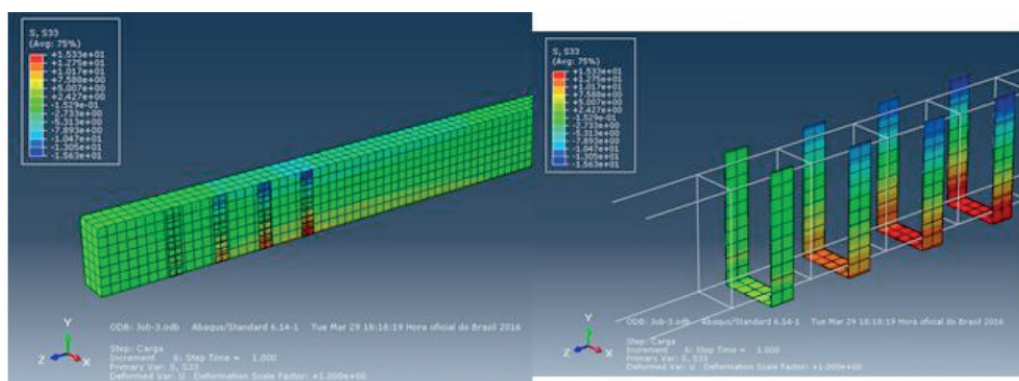


Figura 20 – Diagrama de tensões S33 com reforço

Fonte: Arcine (2016)

Nota-se que o PRFC sofreu tensões principalmente em sua parte inferior devido a flexão da viga.

4 | CONCLUSÃO

Neste trabalho, objetivou-se analisar a contribuição de lâminas de PRFC ao cisalhamento em vigas de concreto armado. Utilizou-se os dados experimentais

obtidos por Menon (2008) e sua simulação foi executada com o auxílio do *software* ABAQUS 6.12 e SAP2000 V15. Com os deslocamentos e diagramas de tensões obtidos foi possível comparar com os dados encontrados experimentalmente e assim tirar conclusões que possam ser de grande utilidade para futuras pesquisas.

Conclui-se que os estudos sobre reforço de vigas de concreto ao cisalhamento com lâminas de PRFC têm grande importância e são necessários para se estabelecer a melhor localização deste material no concreto. Logo, pode evitar possíveis descolamentos e por consequência uma diminuição das tensões de cisalhamento requerida.

Com relação à modelagem, encontrou-se o esperado, pois com o reforço as tensões na biela de compressão diminuíram satisfatoriamente. O programa ABAQUS se mostrou ser bastante complexo quando se trata de modelagem em concreto. A interação entre o concreto, aço e PRFC é a relação mais complexa e pode ser expressa de várias formas, sendo necessário adotar várias situações mais simples que não condizem exatamente com a realidade.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 440.2R-08. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. Farmington Hills, MI, USA, 2008.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI 318-14. **Building Code Requirements for Structural Concrete**. Farmington Hills, MI, USA, 2014.

ARCINE, M. F. **Análise Computacional De Vigas Retangulares De Concreto Armado Reforçadas ao Cisalhamento Com PRFC**. Anais do XXV EAIC e V EAIC Jr, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR-6118. **Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro; 2003.

BEBER, A.J. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono**. Tese de Doutorado em Estruturas 317f. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 2008.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON. **Design and use of externally bonded fibre reinforced polymer reinforcement (FRP EBR) for reinforced concrete structures**. Fédération Internationale du Béton (fib) Bulletin 14, 138p. Patras, Grécia. Julho, 2001.

FERREIRA, A. C. R. P.; CUNHA, J. Análise da distribuição do reforço com fibras de carbono em vigas de concreto armado. **Ciência y Engenharia/ Science and Engineering Journal**, v. 22, n. 2, p. 47–56, 2013.

GAMINO, A.L. **Modelagem Física e computacional de estruturas de Concreto Reforçadas com CFRP**. Tese Doutorado em Estruturas. Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo. p. 285, 2007.

GRIMBERG, R. et al. Determination of Elastic Properties of CFRP Using Lamb Waves Resonant Spectroscopy. **2nd International Symposium on NDT in Aerospace**, p. 5–12, 2010.

FUSCO, P.B. **Técnicas de Armar as Estruturas de Concreto**. São Paulo, 1995.

LYRA, P.H.C. **Modelagem Numérica de Estruturas de Concreto Armado Utilizando o Programa Atena**. São Paulo, p 13-42; 2011.

MACHADO, A.P. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono**. Minas Gerais, p 42-59; 2006.

MENON, V.A. **Estudo experimental de sistemas de reforço ao cisalhamento em vigas de concreto armado utilizando-se polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC)**. Tese de Doutorado em Estruturas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. p. 327, 2008.

SOUZA, R.A. **Concreto estrutural: Análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades**. Tese de Doutorado em Estruturas. Departamento de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade Estadual de São Paulo, São Paulo. p. 442, 2004.

VERÍSSIMO, G.S. **ABAQUS: Conceitos Básicos**. Minas Gerais; 2006.

ANÁLISE COMPARATIVA DE TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO APLICADAS À ANÁLISE DE POLUIÇÃO ELETROMAGNÉTICA

Data de aceite: 26/11/2019

Talles Amony Alves de Santana

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará
Itapipoca - CE

Humberto Dionísio de Andrade

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – RN

Herick Talles Queiroz Lemos

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – RN

Matheus Emanuel Tavares Sousa

Universidade Federal Rural do Semiárido
Mossoró – RN

Adriano Aron Freitas de Moura

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

Ednardo Pereira da Rocha

Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Mossoró – RN

RESUMO: Este trabalho propõe uma análise comparativa de desempenho de três técnicas de interpolação por meio das diferenças entre os valores medidos e estimados de dados baseados em valores de campo elétrico, magnético e densidade de potência medidos em 200 pontos, considerando-se a faixa de 10 MHz até 8 GHz, adotando-se a metodologia proposta

pela Resolução 303 da ANATEL, com objetivo de investigar a poluição eletromagnética na zona urbana da cidade de Mossoró – RN, Brasil, sendo utilizado o método da validação cruzada para determinação da técnica de interpolação mais adequada. O método da validação cruzada mostrou que as técnicas de interpolação diferem com relação ao erro médio absoluto e ao erro quadrático médio para o caso estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição eletromagnética; Método da validação cruzada; Interpolação.

COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERPOLATION TECHNIQUES APPLIED TO ELECTROMAGNETIC POLLUTION ANALYSIS

ABSTRACT: This work proposes a comparative performance analysis of three interpolation techniques by means of differences between the measured and estimated values of data based on electric field, magnetic field and power density measured at 200 points, considering the 10 MHz band. up to 8 GHz, adopting the methodology proposed by ANATEL Resolution 303, with the objective of investigating electromagnetic pollution in the urban area of the city of Mossoró - RN, Brazil, using the cross-validation method to determine the most appropriate interpolation technique. The cross-validation method showed that the interpolation techniques differ in relation to the absolute mean error and the mean square

error for the case studied.

KEYWORDS: Electromagnetic Pollution; Cross-validation Method; Interpolation.

1 | INTRODUÇÃO

O avanço da indústria de telecomunicações com relação à tecnologia de comunicações móveis favoreceu o aumento do número de estações rádio base (ERB) nos ambientes urbanos e altamente povoados. Dessa forma, de acordo com Linhares *et al.* (2013), os órgãos regulatórios preocupam-se com possíveis efeitos à saúde das pessoas que residem nas proximidades das ERBs e conseqüentemente estão expostas à radiação eletromagnética provenientes das ERBs. A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca que o cansaço, fadiga e dor de cabeça são alguns dos efeitos negativos que a exposição à radiação eletromagnética pode causar.

A preocupação em diminuir os impactos desse tipo de exposição fez com que órgãos nacionais e internacionais estabelecessem limites máximos de exposição a campos eletromagnéticos aos quais as pessoas podem estar submetidas, recomendando avaliações de efeitos biológicos e também métodos para determinar se os valores de intensidade dos campos eletromagnéticos estão dentro do limite aceitável para a região em estudo. Lewick (2009) destaca duas formas de realizar a avaliação do nível de intensidade dos campos eletromagnéticos: utilização de medições de campo e utilização de modelos teóricos. Cada uma das formas possui especificidades tornando-se adequadas de acordo com o modelo de análise.

Para as medições de campo, podem ser utilizados medidores que trabalhem em uma frequência selecionada específica ou em uma faixa que considere a soma das contribuições individuais em todas as direções e polarizações (LINHARES *et al.* 2014). A escolha dos pontos onde as medições serão realizadas é de suma importância para uma avaliação correta da exposição aos campos eletromagnéticos, porém para uma avaliação mais completa da influência que os campos exercem em uma determinada área é necessário que se conheça de que forma esses campos estão distribuídos espacialmente nessa área (SANTANA *et al.* 2017).

Essa distribuição é feita com o auxílio de técnicas de interpolação espacial capazes de estimar valores em locais não amostrados através de equações específicas, onde a correta escolha do método de interpolação faz com que a superfície gerada represente de forma mais real os dados amostrados (AZPURUA e DOS RAMOS, 2010).

Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar o desempenho das técnicas de interpolação Inverso Ponderado da Distância, Krigagem e Função de Base Radial com utilização de dados provenientes de medições da radiação eletromagnética, por meio das curvas de distribuição espacial dos campos elétrico, magnético e densidade

de radiação obtidas por meio do *software Golden Surfer*[®], na região urbana da cidade de Mossoró - RN, Brasil, considerando-se a faixa de 10 MHz até 8 GHz.

2 | TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO

A estimativa de valores de uma variável em locais em que os pontos de amostragem não estão disponíveis é possível, de acordo com Andriotti (2005), por meio de um método ou função matemática denominada interpolação, logo, é possível representar esses dados pontuais de modo contínuo por meio de um mapa. Através dessas técnicas, também é possível avaliar a variabilidade espacial de uma grandeza, utilizando um conjunto de dados disponíveis em uma região (KAMINSKA E GRZYWNA, 2014). São exemplos de métodos de interpolação: inverso ponderado da distância (IDP – *inverse distance to a power*), krigagem (KG – *kriging*) E função da base radial (RBF – *radial basis function*).

Cada um desses métodos possui aplicações adequadas a determinadas características de um conjunto de dados, desse modo não há um que possa ser considerado melhor do que o outro (LENNON e TUNNER, 1995). A determinação da técnica mais adequada para um dado conjunto de dados pode ser verificada por meio da aplicação do Método da Validação Cruzada, que é, de acordo com Luo *et al.* (2008) um procedimento que consiste em retirar do conjunto de dados cada valor e então, por meio de interpolação, estimar seu valor a partir de dados remanescentes, repetindo-se o processo para cada uma das amostras do conjunto de dados.

O erro absoluto médio (MAE – *mean absolut error*) e o erro quadrático médio (RMSE – *root mean square error*) são dois importantes parâmetros utilizados para avaliar o desempenho das técnicas de interpolação e são resultantes da aplicação do Método de Validação Cruzada, que relaciona valores medidos com valores estimados. As técnicas de interpolação IDP, Kringagem e RBF, de acordo com Santana *et al.* (2017), apresentam desempenho mais satisfatório e menores erros para o conjunto de dados analisados. As Equações 1 e 2 apresentam, respectivamente, o cálculo dos parâmetros MAE e RMSE.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{z}(s_i) - z(s_i)] \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{z}(s_i) - z(s_i)]^2} \quad (2)$$

Nas Equações 1 e 2, $\hat{z}(s_i)$ são os valores estimados, enquanto $z(s_i)$ são os

valores medidos e N é o número de amostras.

2.1 Krigagem

A Krigagem utiliza os dados amostrais e a relação espacial que os dados têm entre si, que é a variação quadrática esperada dada uma distância. Essa relação é chamada de semivariograma. Além disso, a Krigagem leva em consideração o valor médio dos dados, chamado de tendência. Utilizando essas duas informações, tendência e semivariograma, a Krigagem realiza a interpolação através de uma média ponderada dos dados amostrais de forma que o erro esperado seja minimizado (FAZIO, 2013).

Trata-se de um modelo estotástico e, assim como o método do inverso da distância ponderada, associa a variabilidade de um dado com base na distância existente entre um par de pontos através da utilização de uma combinação linear de pesos nos pontos conhecidos para estimar os valores nos locais desconhecidos (GALLARDO, 2006).

A Equação 3 apresenta a expressão matemática para o valor estimado considerando-se o método Krigagem.

$$\hat{z}(x) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

Na Equação 3, $\hat{z}(x)$ é o valor estimado, $z(x_i)$ é o valor medido e λ_i são as soluções de um sistema de equações lineares associadas a cada um dos valores medidos.

2.2 Inverso Ponderado da Distância

Método de interpolação multivariada que estima o valor da variável ao longo de uma área atribuindo um peso maior a pontos mais próximos, diminuindo esse peso à medida que a distância aumenta, ou seja, quanto mais próximo o ponto a qual se quer estimar o valor maior será o peso atribuído ao ponto de amostra (JIMENEZ e DOMECCQ, 2008). O peso atribuído a cada um dos pontos é função do coeficiente de potência, onde quanto maior o valor desse coeficiente, maior será a influência dos pontos próximos aos valores estimados, o valor mais comum para o parâmetro é 2 (ZONETE, 2009). As Equações 4 e 5 apresentam o cálculo dos valores estimados por meio do método Inverso Ponderado da Distância.

$$\hat{z}(x) = \frac{\sum_{k=0}^N W_k(x) z_k}{\sum_{k=0}^N W_k(x)} \quad (4)$$

$$W_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p} \quad (5)$$

Em que $\hat{z}(x)$ representa o valor estimado, z_k é um valor conhecido, $d(x, x_k)$ é a distância entre o valor conhecido e o estimado, N é o número de amostras e p é o peso do parâmetro.

2.3 Função de Base Radial

De acordo com Fasshauer (2007), uma função é radial caso exista uma função, de um único argumento, $\varphi: [0, \infty) \rightarrow R$ tal que:

$$\phi(x) = \varphi(r) \quad (6)$$

Onde $r = \|x\|$ e $r = \|\cdot\|$ refere-se à Norma Euclidiana.

Segundo Wong *et al.* (2002), o processo de interpolação de funções de múltiplos argumentos pode ser generalizado através da utilização de funções de base radial. Matematicamente, o valor estimado $\hat{z}(x)$ pode ser calculado por meio das Equações 7 e 8.

$$\hat{z}(x) = \sum_{j=1}^N \alpha_j \phi(x - x_j) \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (f(x_1) : f(x_n)) \\ = (\phi(x_1 - x_1) \cdots \phi(x_1 - x_n) : \vdots \\ : \phi(x_n - x_1) \cdots \phi(x_n - x_n)) (\alpha_1 : \alpha_n) \end{aligned} \quad (8)$$

Onde $\phi(x - x_j)$ é uma função de base radial positiva e α_j são coeficientes desconhecidos que são determinados por meio da Equação 8.

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, utilizando dados da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) que indicam a existência de ERBs em uma região, foi determinada a localização das principais fontes de radiação não ionizantes presentes na região de análise, estações de radiodifusão e estações de rádio base. Após essa etapa, a zona de interesse foi dividida em quatro regiões de acordo com a quantidade de torres espalhadas por esses locais, onde foram escolhidos 50 pontos por cada região contemplando um total de 200 pontos espalhados pelo município. Após a realização das medições nos 200 pontos escolhidos, fez-se um tratamento computacional nos dados obtidos de modo a determinar qual método de interpolação, dentre os métodos analisados, apresentou resultados mais satisfatórios para a criação de uma

superfície que represente a distribuição espacial desses campos em função de suas coordenadas.

A área de estudo foi definida na região urbana da cidade de Mossoró, município situado na região Oeste do estado do Rio Grande do Norte, que possui uma população estimada de 297.378 habitantes (IBGE 2019). O município de Mossoró está subdividido em 27 bairros, sendo o bairro do Abolição com uma população de 24.741, o que representa 9,5% da população total da cidade, o bairro mais populoso seguido pelos bairros de Barrocas, Santo Antônio, Alto de São Manoel e Aeroporto. A Figura 1 mostra a distribuição populacional nos maiores bairros de Mossoró.

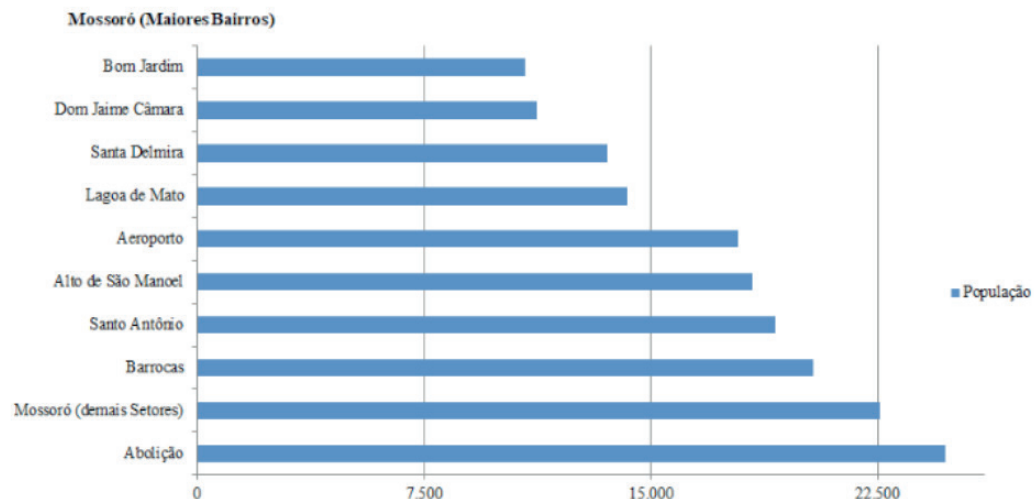


Figura 1. Distribuição populacional nos maiores bairros de Mossoró

Fonte: Adaptado de IBGE, 2010

Para a determinação dos pontos onde foram realizadas as medições, fez-se necessário primeiramente identificar a localização das principais fontes de emissão de radiação eletromagnética não ionizante na cidade, as estações de rádio base e de radiodifusão. Segundo dados da ANATEL, existem, na zona urbana de Mossoró, 95 estações de rádio base e 11 estações de TV (incluindo repetidoras) espalhadas por 20 bairros. Com esses dados foi possível determinar a distribuição espacial dessas estações em base cartográfica através da utilização de imagens obtidas pelo Google Earth, sendo necessário ressaltar que o número de torres é menor do que a quantidade de estações, pois em muitos casos a estrutura de diferentes tecnologias é compartilhada entre várias operadoras. Na Figura 2 é ilustrada essa distribuição.

A região em estudo foi dividida em quatro zonas, de acordo com a localização geográfica e a quantidade torres presentes em cada uma dessas áreas, sendo os limites de cada uma dessas zonas delimitados pelas torres ali presentes. A divisão das zonas está ilustrada na Figura 3, com cada cor representando uma área de análise.

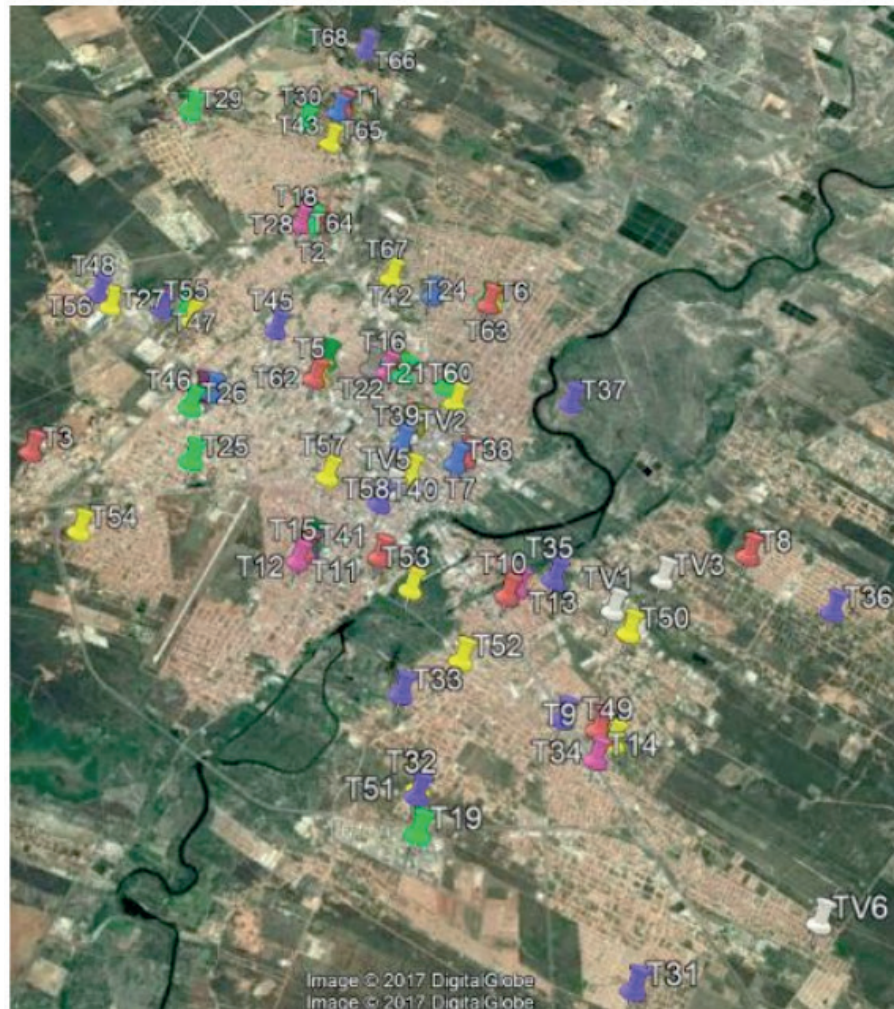


Figura 2. Distribuição espacial por bairros das torres de estação de rádio base e radiodifusão (cada cor uma operadora)

Fonte: Adaptado de *Google Earth*®, 2017

Na Figura 3 é possível visualizar a separação entre cada uma das zonas, a Zona 01, representada pela cor verde, engloba a região central da cidade, a Zona 02, representada na Figura 21 pela cor azul, engloba a região sul da cidade, a Zona 03, representada pela cor vermelha, abrange a região oeste, enquanto que a Zona 04 que está caracterizada pela cor amarela engloba a região norte da cidade. Em cada uma dessas zonas foram determinados 50 pontos de medição resultando num total de 200 pontos. As principais informações referentes às quatro zonas analisadas estão mostradas na Tabela 1.

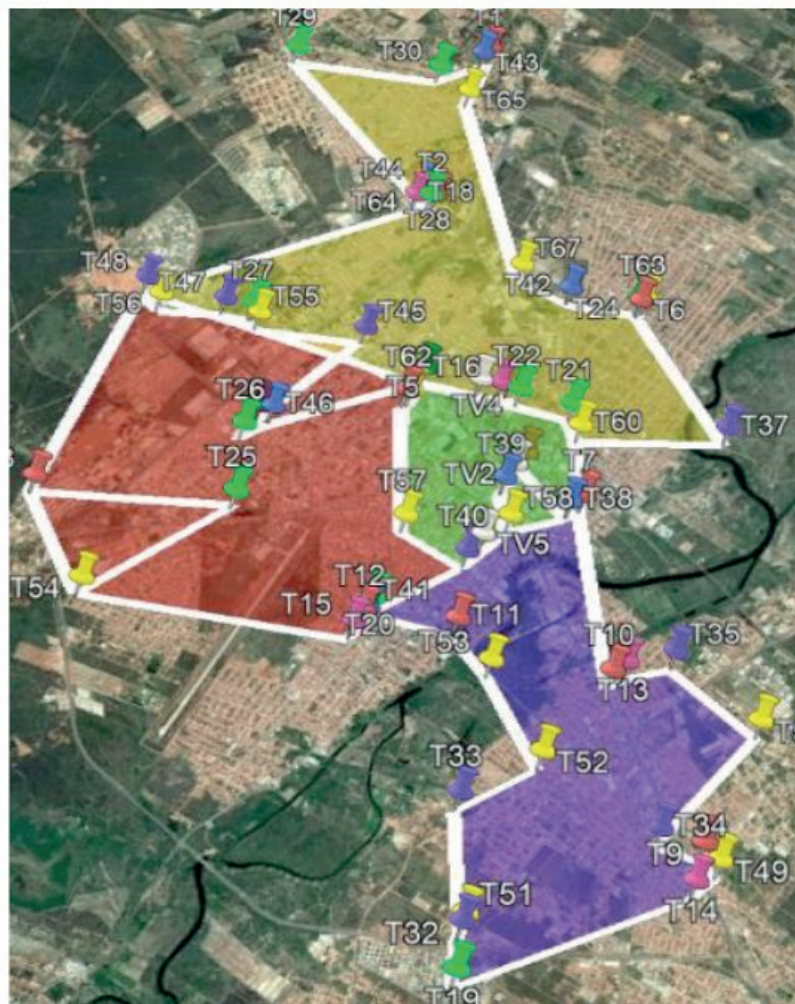


Figura 3. Representação das quatro zonas de análise

Fonte: Adaptado de *Google Earth*®, 2017

Zona	Área (km ²)	Quantidade de torres	Distância média entre os pontos de medição e o centroide (m)	Intervalo de distância entre os pontos de medição
01	2,0	18	615	187 a 1000 m
02	5,7	21	1067	116 a 2060 m
03	8,4	21	1080	185 a 2056 m
04	7,7	25	1200	305 a 2600 m

Tabela 1. Principais características referentes às quatro zonas de análise

Fonte: Autoria própria.

Para a realização das medições das intensidades de campo elétrico, campo magnético e densidade de potência, o instrumento utilizado foi o medidor de campo eletromagnético multibanda isotrópico de três eixos da Tenmars modelo TM-196. Esse medidor é projetado para medir e monitorar a intensidade dos campos eletromagnéticos em radiofrequência em uma faixa de medição que se estende de 8 MHz a 10 GHz, possuindo a capacidade de expressar esses valores referentes

aos três eixos de medição ou a cada um deles separadamente. Seu funcionamento baseia-se no princípio da indução eletromagnética sendo capaz de indicar os valores instantâneos, médio ou máximo da grandeza a qual está analisando (TENMARS, 2009). Na Figura 4 o medidor utilizado é mostrado.



Figura 4. Medidor Tenmars TM-196

Fonte: Tenmars, 2016

As medições das intensidades de campo elétrico, campo magnético e densidade de potência foram realizadas nos 200 pontos seguindo metodologia apresentada na Resolução 303 da ANATEL de 2002 que define um período de 6 minutos como o tempo necessário para se calcular a média temporal da exposição contínua aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos na faixa de radiofrequência. As medições foram realizadas no período de segunda à sexta-feira entre as 08:00 e 11:00 horas e das 14:00 às 17:00 horas. Os valores obtidos nessas medições são resultados das contribuições dos componentes dos campos em todas as direções.

Com o objetivo de diminuir as influências do operador durante as medições de campo elétrico, o instrumento de medição foi posicionado sobre um tripé de modo que a sonda do medidor esteja localizada a 1,5 m de altura do solo. Essa altura foi baseada na distância média entre o solo e a linha do abdômen de um adulto médio no Brasil.

Além da obtenção dos valores da intensidade de campo elétrico, campo magnético e densidade de potência nos 200 pontos de medição, também foi determinada a localização das coordenadas desses pontos através da latitude e longitude, pois os valores dessas coordenadas são necessários para, por meio da utilização de técnicas de interpolação, realizar a distribuição espacial dos dados de medição e assim estimar de que forma esses campos se distribuem sobre a região

de análise em função de suas coordenadas. A Figura 5 mostra o sistema de medição montado nas quatro zonas de análise para a realização das medições.

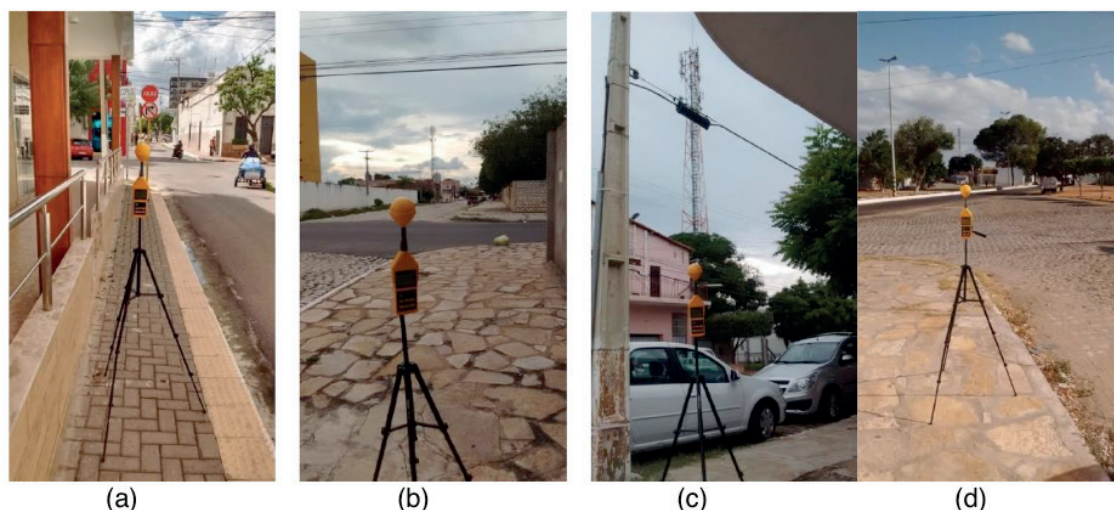


Figura 5. Sistema de medição (a) Zona 01 (b) Zona 02 (c) Zona 03 (d) Zona 04

Fonte: Autoria Própria

Com o objetivo de verificar de que forma os campos eletromagnéticos se distribuem espacialmente nas regiões sob análise, utilizou-se uma técnica de interpolação que consiste em um método matemático que ajusta os valores de uma função em um determinado ponto não amostrado, de acordo com os valores existentes nos pontos amostrados. Desse modo, é possível estimar os valores das intensidades de campo elétrico, campo magnético e densidade de potência em lugares onde as medições não foram realizadas em função dos 200 pontos medidos.

Como cada um dos métodos de interpolação possui características e utilizações distintas, comparou-se, através da técnica de validação cruzada, o desempenho dos interpoladores Inverso Ponderado da Distância, Krigagem e Função de Base Radial aplicados ao conjunto de dados obtidos pela campanha de medição. Desse modo, foi possível calcular a eficiência de um método de interpolação quando comparado com outro, fazendo com que o método escolhido represente de forma mais adequada o conjunto de dados obtido através das medições.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da aplicação do método da validação cruzada nas técnicas de interpolação Inverso Ponderado da Distância (IDP), Krigagem (KG) e Função de Base Radial (RBF) foram obtidos os parâmetros erro médio absoluto (MAE) e erro quadrático médio (RMSE) apresentados na Tabela 2.

Método de Interpolação	Erro Médio Absoluto (V/m)	Erro Quadrático Médio (V/m) ²
IDP	0,57	0,82
KG	0,45	0,72
RBF	0,52	0,79

Tabela 2. Resultados dos parâmetros estatísticos para as técnicas de interpolação.

Fonte: Autoria própria

Através da análise dos dados presentes na Tabela 2, foi possível observar que, dentre os três métodos de interpolação comparados, o método da krigagem foi o que apresentou desempenho mais satisfatório para estimar o valor do campo elétrico em vários pontos a partir de um conjunto de dados, já que foi o método que apresentou os menores valores para os parâmetros erro médio absoluto (MAE) e erro quadrático médio (RMSE) obtidos através do método da validação cruzada. A Figura 6 mostra a variação dos valores medidos e dos valores estimados pelo método da krigagem em função dos 200 pontos.

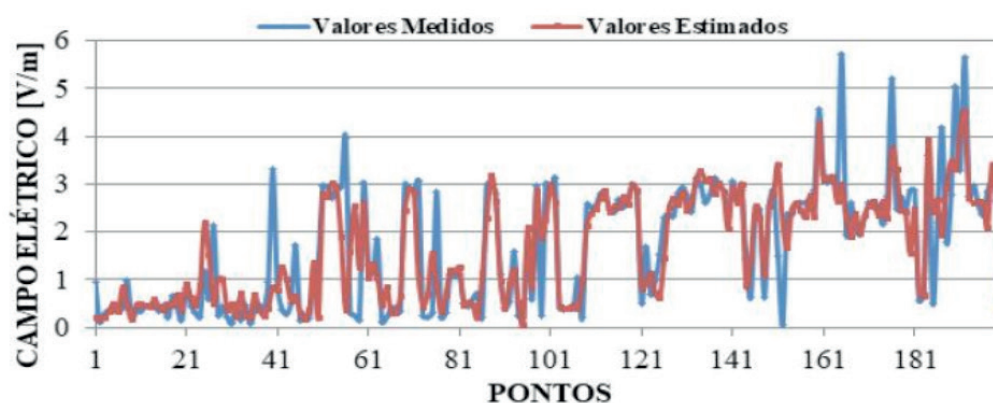


Figura 6. Gráfico comparativo entre os valores medidos e estimados através do método da krigagem.

Fonte: Autoria Própria.

5 | CONCLUSÃO

A etapa inicial de realização desse trabalho se deu pelo conhecimento da região em que seria realizada a análise dos níveis de radiação eletromagnética, sendo identificadas e localizadas as principais fontes de emissão de poluição eletromagnética na faixa de frequências de 10 MHz a 8 GHz, que é ocasionada principalmente por torres de radiofusão e rádio base espalhadas pelas regiões da cidade.

Com a localização georreferenciada dessas torres foi possível criar subzonas de análise na qual foram escolhidos pontos específicos para a realização dessas medições. Os pontos foram determinados baseando-se na distância média entre as

torres e o ponto central de cada uma dessas áreas, desse modo 200 pontos foram selecionados espalhados pela região urbana da cidade.

A campanha de medição foi realizada com um medidor modelo Tenmars TM-196 seguindo metodologia proposta pela ANATEL através de sua resolução 303 de 2002, onde em cada um dos 200 pontos foi obtido o valor médio das grandezas analisadas no intervalo de 6 minutos.

Com os valores medidos nesses pontos, determinou-se, através da técnica de validação cruzada, que o método de interpolação krigagem apresentou resultados mais satisfatórios para estimar o valor dessas grandezas em localidades não medidas para que assim, pudesse ser criada uma superfície que representasse espacialmente como esses campos se distribuem pela região de análise.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). **Resolução 303: Regulamenta o Limite de Exposição a Campos Elétricos, Magnéticos e Eletromagnéticos na Faixa de Radiofrequência entre 9 kHz e 300 GHz**. Brasil, 02 de julho de 2002.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. 2ª ed. Porto Alegre: Unisinos, 2005.

AZPURUA, M.; DOS RAMOS, K. **A Comparison of Spatial Interpolation Methods for Estimation of Average Electromagnetic Field Magnitude**. Progress In Electromagnetic Research M, Vol. 14, Iss. 14, p. 135 – 145. 2010.

FASSHAUER, G. E. **Meshfree Approximation Methods with MATLAB**. 1ª ed. Singapura, 2007.

FAZIO, Vinicius Sousa. **Interpolação Espacial: Uma Comparação Analítica entre Redes RBF e Krigagem**. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107339/320781.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 ago. 2019.

GALLARDO, A. **Geostadística**. Ecosistemas, Vol. 15, Iss. 3, p. 1 – 11. 2006.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Cidades**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/mossoro/panorama>. Acesso em: Ago. 2019.

JIMENEZ, K. Q.; DOMECCO, F. M. **Estimação de chuva usando métodos de interpolação**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

KAMINSKA, A. GRZYWNA, A. **Comparison of deterministic interpolation methods for the estimation of groundwater level**. Journal of Ecological Engineering, Vol. 15, Iss. 4, p. 55-60, 2014.

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. **Predicting the spatial distribution of climate: Temperature in Great Britain**. Journal of Animal Ecology, Vol. 64, Iss. 3, p. 370 – 392. 1995.

LEWICKI, F. **Comparison between measurement and calculations – EMF – Estimator**. ITU-T Technical Session on EMF, Genebra, 2009.

LINHARES, A.; TERADA, M. A. B.; SOARES, A. J. M. **Estimating the Location of Maximum Exposure to Electromagnetic Fields Associated with a Radiocommunication Station.** Journal of Microwaves, Optoelectronics and Electromagnetic Applications, Vol. 12, Iss. 1, 2013.

LINHARES, A.; SOARES, A. J. M.; TERADA, M. A. B. **Determination of Measurement Points in Urban Environments for Assessment of Maximum Exposure to EMF Associated with a Base Station.** International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2014, Iss. 2014, 2014.

LUO, W.; TAYLOR, M. C.; PARKER, S. R. **A Comparison of spatial interpolation methods to estimate continuous wind speed surfaces using irregularly distributed data from England and Wales.** International Journal of Climatology, Vol. 28, p. 947 – 959. 2008.

SANTANA, T. A. A. de.; ANDRADE, H. D. de.; QUEIROZ JÚNIOR, I. S.; SILVA, I. B. T. da. **Comparison of spatial interpolation methods to determine exposure ratio to electric fields in urban environments.** Electronics Letters, Vol. 53, Iss. 18, p. 1250–1252, 2017

TENMARS ELECTRONICS Co. Ltd. **User's Manual.** Tenmars (TM-196). Taiwan, 2009.

WONG, S. M.; HON, Y. C.; GOLBERG, M. A. **Compactly supported radial basis functions for shallow water equations.** Applied Mathematics and Computation, Vol. 127, Iss. 1. p. 79-101, 2002.

ZONETE, M. C. C. **Avaliação do uso de Técnicas de Interpolação para estimativa de Volume em Florestas Clonais de Eucalyptus sp.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais da USP. Piracicaba, 2009.

ANÁLISE CRÍTICA E PROPOSIÇÕES DE INOVAÇÃO AO MÉTODO DE ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO À LUZ DA ABNT NBR 15575 (2013)

Data de aceite: 26/11/2019

Luciani Somensi Lorenzi

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia Civil – RS

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Departamento de Engenharia Civil – RS

RESUMO: O momento é de consolidação de práticas e discussões de métodos de avaliação de desempenho de edificações, com especial atenção a ensaios e parâmetros estabelecidos na ABNT NBR 15575 (2013). Muitos ensaios estabelecidos nessa norma já fazem parte do conhecimento do setor da construção civil, porém o ensaio de ação de calor e choque térmico requer uma discussão e atualização. Este trabalho objetiva apresentar uma análise crítica e proposições de avanço ao método de ensaio de ação de calor e choque térmico, que compõe a avaliação de desempenho de durabilidade para sistemas de vedações verticais externos (SVVE). O método de pesquisa utilizado neste trabalho baseou-se na meta-análise de dados do acervo técnico do Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LEME/UFRGS). Os resultados evidenciaram a necessidade de alterações no método de

ensaio e ajustes nos parâmetros. Diante disso foram elaboradas proposições de inovações ao método de ensaio e ajustes dos parâmetros para o ensaio de ação de calor e choque térmico. A pesquisa concluiu-se que as proposições têm potencial para serem incorporadas à ABNT NBR 15575, promovendo o avanço no método e parâmetro do respectivo ensaio.

PALAVRAS-CHAVE: Durabilidade, Ensaio Choque Térmico, Desempenho de Edificações

CRITICAL ANALYSIS AND INNOVATION PROPOSALS OF HEAT AND THERMAL SHOCK TEST METHOD ACCORDING TO ABNT NBR 15575

ABSTRACT: The time is for consolidation of practices and discussion about building performance evaluation methods with special attention to the tests and parameters established in ABNT NBR 15575 (2013). Several tests established are already part of the knowledge at the construction industry but thermal shock testing requires discussion and updating. This study presents a critical analysis and advancement propositions to the method, which composes the durability performance evaluation for external vertical sealing systems (SVVE). The research method used in this work was based on the meta-analysis of data from the technical collection of the Laboratory of

Tests and Structural Models of the Federal University of Rio Grande do Sul (LEME / UFRGS). The results shows the necessity of updates in the test method and make adjustments in the parameters and innovations about these topics were elaborated. The research concluded that the propositions have great potential to be incorporated into ANBT NBR 15575 and make the progress in the test analysis.

KEYWORD: Durability, Thermal Shock Test, Building Performance

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira encontra-se num período de grandes transformações na área tecnológica. O aumento da incorporação de novos materiais, em especial, às edificações habitacionais, e a ABNT NBR 15575 (2013), NBR 15575, estão promovendo mudanças positivas e significativas no setor. Há um aumento do interesse, por parte do mercado da construção civil, para conhecer o comportamento em uso dos sistemas construtivos nas edificações. Isso proporciona uma demanda por ensaios e análise dos resultados, refletindo em serviços para os laboratórios e instituições de avaliações técnicas da construção civil, bem como na análise das normas envolvidas para os referidos ensaios.

As normas não são absolutas e perfeitas, precisam de atualizações para acompanhar a velocidade das mudanças tecnológicas (BORGES, 2012). Os métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos em normas, principalmente na NBR 15575, devem ser ajustados com o tempo (THOMAZ, 2012 e 2013). Em função da pouca experiência nacional em ensaios experimentais de desempenho para caracterizar o comportamento de sistemas construtivos, foram utilizados métodos importados de países com maior volume de pesquisas realizadas no tema. Ressalta-se que, embora o método seja adequado, as condições desses países são distintas da realidade brasileira, onde se destaca a falta de infraestrutura para a realização de ensaios. Esse fato já era alertado por Mitidieri Filho (1998) ao expor que metodologias para avaliação de desempenho foram trazidas de experiências dos países desenvolvidos onde as condições são bem diferentes, originando critérios muito rigorosos para a realidade existente.

A NBR 15575 tem alguns parâmetros que podem estar dissociados da realidade brasileira e que existe a necessidade de ajustes da norma, porém é fundamental começar a implantar a norma, mesmo que para isso sejam utilizados parâmetros limitantes aquém dos mínimos internacionais, (THOMAZ, 2013). Diante desse contexto, várias instituições desenvolveram ou adaptaram procedimentos de ensaio para avaliação de desempenho, especificamente o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e alguns laboratórios de universidades. Essa atitude é incentivada por Thomaz (2013) e Borges (2013) quando expressam que há muito a ser melhorado

nos requisitos, critérios, métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos na NBR 15575, visto que muitos sistemas não estão contemplados.

Uma análise crítica dos ensaios para avaliação do desempenho de edificações, tendo como base a NBR 15575, concluiu que ensaios da área de segurança quanto ao desempenho estrutural possuem um histórico consistente, mas precisam de aprimoramento. Os demais ensaios de desempenho quanto a segurança, desempenho contra incêndio e de uso e operação se encontram numa fase de maturação aonde começam a ter o destaque merecido. Os ensaios relativos à área de habitabilidade, os ensaios de desempenho acústico e de estanqueidade à água, são realizados em maior número e possuem um histórico importante para avaliação de desempenho de edificações. Quanto aos demais ensaios de desempenho de edificações, estabelecidos na NBR 15575, não existe um histórico significativo que se destaque, principalmente, quando utilizados para avaliar os elementos que compõem os sistemas construtivos, (LORENZI, 2013).

Em vista a aproveitar a experiência acumulada ao longo dos últimos anos do LEME/UFRGS (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul) para os ensaios de desempenho de edificações, este trabalho faz uma avaliação do ensaio de ação de calor e choque térmico para SVVE quanto ao procedimento e parâmetros, tendo como finalidade identificar possíveis ajustes e inovações ao mesmo. Dessa forma, é explorada a hipótese de o ensaio de ação de calor e choque térmico com a incorporação de avanços nos procedimentos permite resultados mais precisos do comportamento em uso das edificações e que parâmetros de aceitabilidade ajustados a composição dos SVVE propiciam uma avaliação mais coerente e justa dos sistemas.

Tendo por base o exposto foi estabelecido como objetivo principal deste trabalho realizar uma análise crítica do ensaio de ação de calor e choque térmico, estabelecido e recomendado na NBR 15575 para SVVE para avaliar o comportamento quanto a durabilidade durante a vida útil, e apresentar proposições de avanço ao procedimento e parâmetros de aceitabilidade.

2 | AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

A mudança de cultura da cadeia da construção civil em utilizar métodos de avaliação, mais precisamente ensaios para caracterizar o comportamento dos sistemas construtivos pode ocorrer em dois momentos distintos: o primeiro diz respeito à utilização de ensaios em edificações prontas para solucionar situações de conflito entre incorporador/construtor e usuário e o segundo quando da utilização de ensaios para caracterizar o comportamento em uso dos sistemas construtivos que são e/ou serão aplicados nas edificações, (BORGES, 2013).

A experiência europeia na área indica que a cultura do conceito de desempenho de edificações provoca a prática da realização de ensaios e que esse cenário é projetado para o Brasil nos próximos anos, tendo como consequência o aumento da demanda por ensaios. Entretanto, podem ocorrer atrasos significativos nesse cenário em decorrência da limitação da capacidade laboratorial instalada no país, (LORENZI, 2013).

A avaliação de desempenho de um sistema construtivo visa identificar se o sistema pode ser usado para produzir edifícios e se são capazes de atender as exigências de desempenho. Isso só é possível quando se trabalha com uma equipe multidisciplinar e de experiência na área e se tem disponível uma infraestrutura para tal. Esse conjunto viabiliza, quando necessário, ajustar ou criar novos padrões de desempenho para os sistemas construtivos, (BECKER, 2001). Outro aspecto a ter destaque diz respeito a métodos e procedimentos padronizados que permitam a reprodutibilidade e a verificação quanto ao atendimento dos requisitos de desempenho de edificações. Isso é extremamente relevante quando se trata da análise da viabilidade da utilização de um sistema, (MITIDIARI FILHO, 2007).

3 | ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO

O ensaio de ação de calor e choque térmico é apresentado NBR 15575-4, sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais, para avaliar o requisito de durabilidade. O objetivo desse ensaio é analisar o comportamento do SVVE quanto a danos ao ser submetido a ciclos sucessivos de aquecimento por fonte de calor e resfriamento por jatos de água. A ideia é simular o estresse que as edificações sofrem durante sua vida útil por meio da variação de temperatura e umidade associada à ação das chuvas sobre o elemento (parede) aquecido.

O ensaio de ação de calor e choque térmico é um dos ensaios acelerados de envelhecimentos utilizados para avaliar o potencial comportamento do SVVE em uso. O ensaio promove o aumento da frequência da ocorrência de agentes que induzem a deterioração. Nesse caso o agente deteriorante é a variação brusca de temperatura na superfície do elemento, quando há o choque térmico. Essa situação acontece quando, após um dia com sol, a fachada da edificação é atingida por uma chuva repentina, (FONTENELLE, 2012).

Um dos aspectos importantes para o estudo da durabilidade de fachadas é seu comportamento frente a ciclos de aquecimento e resfriamentos bruscos. A diferença de temperatura entre a superfície e seu interior pode provocar tensões de elevada magnitude, deteriorando sistemas de fachadas, em particular os sistemas leves (com pequena inércia térmica) e aqueles compostos de várias camadas, com elementos não homogêneos, (OLIVEIRA, FONTENELLE & METIDIARI FILHO, 2014). Quando

a variação de temperatura é repentina a taxa de carregamento no elemento é alta, porém a propagação das deformações de origem térmica no elemento depende da velocidade de resposta do mesmo, até atingir o equilíbrio, (ESQUIVEL, 2009).

O ensaio de ação de calor e choque térmico estabelecido na NBR 15575-4 consiste em aplicar dez ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento para cada corpo de prova representativo do SVVE. A superfície exposta à ação do calor deve ficar com temperaturas entre $(80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C})$, durante uma hora. Após esse período, é realizada a aspersão de água na superfície aquecida até se atingir temperaturas na faixa de $20^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$. O procedimento de ensaio requer um corpo de prova com extensão variável (largura) de $1,20 \text{ m} \pm 0,20\text{m}$ e altura do pé-direito. O corpo de prova é colocado em um dispositivo de fixação que deixa o elemento simplesmente apoiado no bordo inferior e superior.

As recomendações da NBR 15575 quanto à avaliação do desempenho do SVVE levam em consideração a degradação causada pelo choque térmico, como: fissuras, falhas, descolamento, empolamento, deterioração, entre outros, decorrentes da dilatação térmica, retração e expansão. Também é considerado nessa avaliação o parâmetro de deslocamento horizontal máximo ($h/300$), onde h é a altura do elemento. Para medir o deslocamento horizontal do elemento é posicionado no centro do elemento, na face oposta a aquecida e resfriada, um deflectômetro.

Entre a norma nacional e internacional, referente ao choque térmico em SVVE, constatou-se que há divergências quanto a categorias e parâmetros, por exemplo, a temperatura de aquecimento para a superfície exposta do SVVE recomendada pela NBR 15575-4 difere da diretriz ETAG 0004 (2008) que estabelece uma temperatura de $70^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$ e das normas ISO 8336 (2009) e ASTM C1185-8 (2012) que estabelecem a temperatura de $60^{\circ}\text{C} (\pm 5^{\circ}\text{C})$. Essas por sua vez, foram desenvolvidas para materiais específicos. Outro ponto divergente é quanto à medição das temperaturas na superfície. Na norma nacional (NBR 15575) a medição é realizada por termopares acoplados diretamente na superfície do corpo de prova e na norma americana (ASTM C1185-8) os termopares são fixados em pequenas placas metálicas pintadas de preto, onde as placas é que são fixadas na superfície do corpo de prova, (OLIVEIRA, FONTENELLE & METIDIÉRI FILHO, 2014). O Quadro 1 resume as diferenças de parâmetros adotados nos métodos de ensaios de normas estrangeiras e brasileiras com relação a alguns desses aspectos anteriormente explicitados.

A análise dos ensaios de desempenho de edificações estabelecidos na NBR 15575 realizado por Lorenzi (2013) originou um mapeamento com “ensaios x edificações x critérios de análise interpretativa” servindo de base para identificar os ensaios a serem analisados criticamente em relação à interpretação quanto aos procedimentos, equipamentos e parâmetros. O resultado do mapeamento identificou que um dos ensaios que precisa ser aprimorado é o ensaio de ação de calor e choque térmico. Em estudo realizado por Oliveira, Fontenelle e Mitidiéri Filho (2014) foram propostas melhorias para o ensaio de ação de calor e choque térmico para

SVVE constituído de elementos leves ($\leq 60\text{kg/m}^2$) considerando novos parâmetros, procedimentos ou condições para a realização do ensaio. O Quadro 2 apresenta um resumo das proposições de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmicos.

Um dos pontos importantes a ser incorporado ao ensaio é quanto a fixação do corpo de prova para a realização do ensaio em ambiente de laboratório. A contenção do corpo de prova deve restringir a expansão ou a contração do corpo de prova no sentido do comprimento, permitir a livre movimentação vertical e permitir o deslocamento transversal, ou seja, não oferecer nenhuma restrição à formação da flecha, decorrente do gradiente de temperatura na seção da parede. Essas considerações estão direcionadas para os sistemas que podem apresentar deslocamentos significativos em razão de variações dimensionais por efeito de temperatura e umidade é indicado fazer as contenções, (FONTENELLE E MEDITIDIERI FILHO, 2016)

O ensaio não tem um resultado único para todos os sistemas construtivos. A resposta do elemento ao choque térmico é condicionada às suas condições de contorno. Se houver restrições externas à livre deformação do sólido, o estado de tensões é agravado; e se a exposição ao fluxo de calor é simétrica em toda a superfície do sólido, a transferência de calor ocorrerá até se atingir o equilíbrio térmico, isto é, a temperatura será a mesma em todo o sólido, (ESQUIVEL, 2009).

Categoria	Parâmetros	Detalhamento dos parâmetros		
		NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)	C1185-8 (AMERICAN..., 2012) e ISO 8336 (INTERNATIONAL..., 2009)	ETAG 004 (EUROPEAN..., 2008)
Aquecimento	Método de medição da temperatura do ensaio	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova	Medição indireta – medida em corpo de prova de referência/placa metálica preta	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova
	Tempo para atingir a temperatura de aquecimento máxima	Não estabelecido	Não estabelecido	1 h
	Temperatura máxima do ensaio	$(80 \pm 3)^\circ\text{C}$	$(60 \pm 5)^\circ\text{C}$	$(70 \pm 5)^\circ\text{C}$
	Tempo de permanência na fase aquecida	1 h	2 h 55 min.	2 h
	Variação admitida da temperatura entre centro e bordas do corpo de prova	$\pm 3^\circ\text{C}$	Não estabelecido	Não estabelecido

Resfriamento com água	Temperatura da água	Indefinida, porém até atingir a temperatura superficial do corpo de prova (20 ± 5) °C	≤ 30 °C	(15 ± 5) °C
	Quantidade de água	Indefinida	3,79 L/min.	≥ 1,0 L/m ² min, o que equivale a aproximadamente 6 L/min
Tempo	Tempo de aspersão	Indefinido, mas até atingir a temperatura superficial de (20 ± 5) °C	2 h 55 min.	1 h
	Distribuição sobre a superfície	Uniforme	Uniforme	Uniforme
	Temperatura após resfriamento do corpo de prova	(20 ± 5) °C	Não estabelecido	Não estabelecido
Ciclos	Tempo de cada ciclo	Aproximadamente 6 h, porém depende da composição da parede	6 h	6 h
	Quantidade de ciclos	10	25	80
	Intervalo entre ciclos	Não estabelecido	5 min.	2 h
Corpos de prova	Dimensão	≥ 3,0 m ² (1,2 m x 2,5 m)	≥ 3,5 m ²	≥ 6,0 m ²
	Restrição de movimentação das bordas	Sem restrição	Com restrição	Sem restrição
	Cor da superfície	Não estabelecido	Não estabelecido. A medição da temperatura máxima é feita sobre placa de referência, portanto a cor da superfície do corpo de prova não influi no ensaio.	Não estabelecido

Quadro 1 - Diferenças de parâmetros adotados entre os métodos de ensaios de normas estrangeiras e brasileira

Fonte: OLIVEIRA, FONTENELLE & METIDIÉRI FILHO (2014)

Categoria	LORENZI (2013)	(OLIVEIRA, FONTENELLE & MITIDIERI FILHO, 2014)
Aquecimento	-	(80 ± 3)°C SVVE condições usuais (60 ± 3)°C SVVE condições especiais
	Tempo variável de acordo com a composição do SVVE	Tempo mínimo de 1h para o SVVE atingir a temperatura máxima
	-	Aumento de exposição de 1h para 2h de aquecimento
	Toda a área do corpo de prova deve ser exposta ao calor	Identificar distorções entre o centro e as bordas do corpo de prova
	Temperatura homogênea no corpo de prova	Controle de W/m ²
Resfriamento com água	Manter a água resfriada na temperatura (20 ± 5)°C	Controlar a temperatura da água de resfriamento
	Tempo de resfriamento, aspersão e velocidade com que ocorre a variação de temperatura.	Tempo de aspersão, resfriamento e velocidade em que a variação de temperatura ocorre
	Água de resfriamento em temperatura constante	Forma de medição
	Aspersão de jatos de água constante e uniforme para atingir o corpo de prova, controlando a pressão da água	Distribuição superficial
	Reúso da água do ensaio	-
Ciclos	Ciclos sucessivos sem intervalo	Tempo entre ciclos para estabilização entre aquecimento e resfriamento
Corpo de Prova	Largura mínima 1,0 m a 1,40m	Largura mínima 2,40m
	Altura 2,50 m	Altura 2,50 m
	Com todos os detalhes do SVVE	Com todos os detalhes do SVVE
	Restrição lateral	Vinculação lateral
	Apoiado no inferior e restringido no superior	Apoiado no inferior e articulado no topo
	-	Cor da face externa: absorvância ≥ 0,5 para atingir 80°C em menor tempo
Equipamento do painel radiante e aspersão de água	Radiação por resistências elétricas	Radiação lâmpadas ou resistências elétricas
	Área do painel radiante = área do corpo de prova	-
	Possibilidade de inspeção a cada ciclo	
Parâmetro de deslocamento horizontal	Diminuir em 50% o limite para o deslocamento horizontal	-
	Acrescentar o deslocamento horizontal residual (d_{hr})	-
Ensaio de Estanqueidade à água da chuva	Antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico	Antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico

Quadro 2 - Proposições de avanço para o ensaio de ação de calor e choque térmico

4 | MÉTODO

A estratégia experimental foi realizada com base nas proposições de avanço recomendadas por Lorenzi (2013). Os ensaios foram realizados no LEME/UFRGS no período de 2014 a 2016. Foram ensaiados 12 corpos de prova (sistema construtivos convencionais e inovadores, leves e pesados, rígidos e flexíveis) totalizando 280 ciclos, onde 220 ciclos são correspondentes a 11 corpos de prova e 60 ciclos a 2 corpos de prova. A estratégia experimental buscou atender a demanda básica do trabalho: analisar criticamente as proposições de avanço para melhoria dos resultados dos ensaios. As proposições de avanço incorporadas foram:

- Tempo de aquecimento de acordo com o sistema construtivo.
- Manter a água em reservatório a $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Tempo de resfriamento de acordo com o sistema construtivo.
- Água para resfriamento sempre com a temperatura no intervalo $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
- Aspersão de água uniforme (3 litros/ $\text{m}^2/\text{min.}$), constante e com pressão sem interferência no sistema construtivo.
- Reúso da água do ensaio.
- Ciclos sucessivos, sem intervalo.
- Inspeção visual a cada ciclo.
- Largura do corpo de prova 1,20 m.
- Altura do corpo de prova 2,50 m.
- Radiação por resistências elétricas.
- Aplicação do ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de choque térmico.

As proposições foram analisadas de acordo com os seguintes critérios para o procedimento: aplicabilidade: este critério diz respeito à aplicação do ensaio quanto a dimensões mínimas do corpo de prova, posição do corpo de prova e local correto da aplicação do ensaio, e, também, quanto a informação da posição exata da instrumentação no corpo de prova ou protótipo; exequibilidade: este critério diz respeito a execução do ensaio, possibilidade de reprodução das proposições; fidedignidade e representabilidade dos resultados: este critério tem como preceito reconhecer que as proposições reproduzem da melhor forma a situação real ao qual estão sujeitos os sistemas; adequabilidade: este critério está associado à adequação do método do ensaio a distintos sistemas construtivos.

5 | RESULTADOS

Com a radiação apenas na parte inferior a convecção do ar ajudou a homogeneizar as temperaturas no corpo de prova, (Figura 1a). Destaca-se que em função das distintas composições dos SVVE e espessuras do corpo de prova o aquecimento e resfriamento tem respostas diferentes para atingir a temperatura de superfície ($80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) e a temperatura do choque térmico ($25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$), sendo

necessário o ajuste da fonte de calor. Os jatos d'água foram padronizados para proporcionar uma simulação de chuva intensa, constante e uniforme, e tiveram uma pressão que não exerceu a influência no deslocamento horizontal (d_h) no corpo de prova. A água utilizada foi mantida em temperatura controlada ($15^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$). A temperatura controlada da água permitiu que os jatos d'água tenham sempre a mesma temperatura ao atingir a superfície aquecida, fazendo com que a temperatura da superfície aquecida abaixe mais rapidamente para ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$).

O reúso da água utilizada para o resfriamento do corpo de prova foi importante para a economia do ensaio. Cada ensaio foi composto por 10 ciclos de aquecimento e resfriamento, tendo como estimativa um consumo de 300 litros de água/ciclo/corpo de prova, (1,20 \pm 0,20)m de largura para 2,50m de altura - totalizando 3.000 litros por ensaio. A Figura 1(b) apresenta o esquema do fluxo da água para o resfriamento do corpo de prova utilizando bomba de recalque e filtro (este para evitar o entupimento dos bicos de aspersão d'água). Os resultados estão compilados em uma matriz que possibilita entender como cada proposição de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmico foi incorporada e se atendeu as expectativas, conforme é apresentado no Quadro 3.

A inspeção visual nem sempre é suficiente para uma avaliação precisa quanto à degradação sofrida pelo corpo de prova. Os ensaios de ação de calor e choque térmico foram perecidos do ensaio de estanqueidade à água da chuva. Após a finalização dos 10 ciclos foi realizado novamente o ensaio de estanqueidade. O ensaio de estanqueidade à água a chuva seguiu o estabelecido na NBR 15575-4 (2103). Identificou-se ainda a necessidade de ajustes e inovações no procedimento que promovam a reprodutibilidade das condições de exposição a fim de permitir proporcionar resultados mais fidedignos com o real comportamento em uso dos sistemas. O Quadro 4 apresenta novas proposições para o ensaio de ação de calor e choque térmico

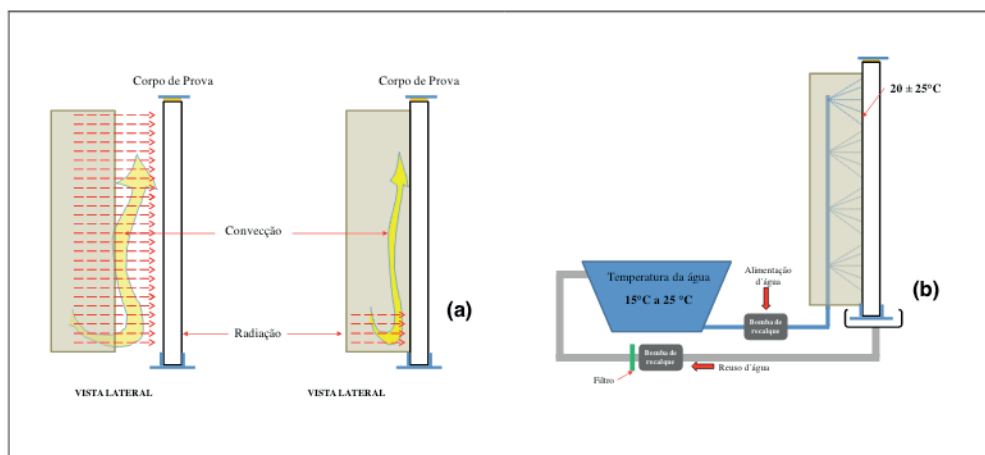


Figura 1: (a) Exemplo de radiação e convecção para ação de calor e choque térmico em SVVE e (b) Desenho esquemático do resfriamento e reúso da água, (LORENZI, 2013).

Categoria	Proposições	Aplicabilidade	Exequibilidade	Fidedignidade e representabilidade dos resultados	Adequabilidade
Aquecimento	Tempo de aquecimento de acordo com o sistema construtivo	ok	ok	1*	1*
Resfriamento	Manter a água em reservatório a $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.	ok	ok	ok	ok
	Tempo de resfriamento de acordo com o sistema construtivo	ok	ok	2*	2*
	Água para resfriamento sempre com a temperatura no intervalo $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$	ok	ok	ok	ok
	Aspersão de água uniforme (3litros/m ² /min.) constante e com pressão sem interferência no sistema construtivo	ok	ok	ok	ok
	Reúso da água do ensaio	ok	ok	ok	ok
Ciclos	Ciclos sucessivos, sem intervalo	ok	ok	ok	ok
	Inspeção visual a cada ciclo	3*	3*	3*	3*
Corpo de prova	Largura do corpo de prova 1,20 m	ok	ok	ok	ok
	Altura do corpo de prova 2,50 m	ok	ok	ok	ok
Equipamento	Radiação por resistências elétricas	ok	ok	ok	ok
Estanqueidade	Aplicação do ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de choque térmico	ok	ok	ok	ok

Quadro 3 - Resultado da incorporação das proposições para melhoria do ensaio de ação de calor e choque térmico, (1*, 2* e 3* - Novas proposições de avanço ao ensaio).

Ensaio	Novas Proposições
Corpo de Prova	Restringir a parte superior - representar fielmente o sistema construtivo em uso.
Aquecimento	Tempo de aquecimento 15 – 20 min SVVE leve e flexível
	Tempo de aquecimento 35 – 40 min SVVE pesado e rígido
Resfriamento a água	Manter a água resfriada na temperatura $(15 \pm 5)^\circ\text{C}$
	Tempo de resfriamento 3min SVVE leve e flexível
	Tempo de resfriamento 6 min SVVE pesado e rígido
Ciclos	Manter ciclos sucessivos
Equipamento do painel radiante e aspersão de água	Radiação com resistências elétricas e lâmpadas ultravioleta UVA

Quadro 4 - Novas proposições de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmico

6 | CONCLUSÕES

A consolidação do conceito de desempenho, o estabelecimento de requisitos claros, objetivos e bem definidos e a incorporação de ensaios para o conhecimento do potencial desempenho de sistemas são exemplos de uma verdadeira revolução no setor da construção civil, que impacta diretamente na concepção de edificações. Os ensaios de desempenho de edificações se constituem em um meio rápido, preciso e confiável de prever o potencial comportamento em uso de SVVE e é relevante sua importância para a avaliação de desempenho de edificações. A realização e os resultados obtidos possibilitaram compreender melhor o que esperar como resultado em relação ao comportamento em uso de sistemas construtivos, inovadores ou não, submetidos a temperaturas ambientais extremas e resfriamento brusco com água.

Constatou-se, como esperado, que em virtude do ensaio não possuir um histórico consistente de utilização e de disseminação de resultados, é bastante impreciso na descrição do procedimento de ensaio e no detalhamento do equipamento. Embora não se tenha feito proposições quanto à inspeção visual e ao número de ciclos, observou-se a necessidade de ter critérios e parâmetros, para uma avaliação objetiva, evitando a subjetividade da inspeção visual. Em relação às proposições de avanço no método do ensaio de ação de calor e choque térmico foi possível comprovar que são pertinentes e contribuem significativamente para uma melhor estimativa de comportamento em uso do SVVE, inovador ou não.

As proposições apresentadas neste trabalho serão discutidas com outras instituições, principalmente integrantes da rede INOVATEC e da atual SIBRATEC. Conclui-se que as proposições estudadas têm potencial para serem incorporadas ao procedimento do ensaio de ação de calor e choque térmico, promovendo um resultado mais próximo da situação real.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1185-8: standard test methods for sampling and testing non-asbestos fiber-cement flat sheet, roofing and siding shingles, and clapboards. Philadelphia, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho – parte 2: requisitos para os sistemas de estruturais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho – parte 4: requisitos para os sistemas de vedação verticais Internas e Externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

BECKER, R. An Integrated Approach to the Development of Performance Teste Methods and their Application to Evaluation and Design. The RILEM Journal Materials and Structures, 2001, Vol. 34, pp. 467 – 474.

BORGES C. A. Desempenho Revisado. Revista Técnica, 2012, Edição 192, pp. 42 – 49.

BORGES C. A. Norma de Desempenho entra em vigor. Disponível em: <<http://www.secovi.com.br/noticias/norma-de-desempenho-entra-em-vigor/5957>>. Acesso em: 31/01/2013.

ESQUIVEL, T. J. F. Avaliação da Influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa. São Paulo, 2009. 262 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

EUROPEAN ORGANISATION FOR TECHNICAL APPROVALS. ETAG 004: Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering. Brussels, 2008. Disponível em: <http://www.ue.itb.pl/files/ue/etag/etag_004.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2017.

FONTENELLE, J. H. Sistema de Fixação e Juntas em Vedações Verticais Constituídas Por Placas Cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental. São Paulo, 2012. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

FONTENELLE, J. H.; MITIDIÉRI FILHO, C. V.. Condições de contorno lateral dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC, 2016

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8336: fbre-cement flat sheets. Geneva, 2009.

LORENZI, L., S. Análise Crítica e Proposições de Avanço nas Metodologias de Ensaio Experimentais de Desempenho à Luz da ABNT NBR 15575 (2013) para Edificações Habitacionais de Interesse Social Térreas. 222f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013, Porto Alegre: Brasil.

MITIDIÉRI FILHO, C. V. Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1998, São Paulo: Brasil.

MITIDIÉRI FILHO, C. V. Qualidade e Desempenho na Construção Civil. In: ISAIAS, G. C. (Org.). Materiais de Construção Civil e os Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 2007, v.1, pp. 37 – 73, 2007.

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIÉRI FILHO, C. V. . Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 53-67, out./dez. 2014.

THOMAZ, E. Tendências de Materiais, Tecnologias e Processos de Construção de Edifícios. In: Seminário: Tecnologia, Desempenho e Sustentabilidade na Construção Civil, 2012, Manaus: Instituto PINI Educação Profissional para Construção Civil, 2012. Disponível em: <<http://pinieventos.pini.com.br/seminarios/seminario-manaus/o-evento-244443-1.asp>>. Acesso em: 02/04/2013.

THOMAZ, E. O que é preciso fazer para atender a norma quanto ao desempenho de pisos. In: Seminário: Projeto, Especificações e Controle de Execução para Atender a Norma de Desempenho, São Paulo: SECOVI, 2013.

ESTUDO NUMÉRICO BIDIMENSIONAL DO EFEITO DA PRESENÇA DE UM TUMOR NO CAMPO DE TEMPERATURA DE UMA MAMA

Data de aceite: 26/11/2019

José Ricardo Ferreira Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Vinicius Soares Medeiros

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Jefferson Gomes do Nascimento

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

Alisson Augusto Azevedo Figueiredo

Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Mecânica
Ouro Preto – Minas Gerais

Gilmar Guimarães

Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica
Uberlândia – Minas Gerais

RESUMO: O câncer de mama é o tipo de câncer com a maior frequência de diagnósticos e também a principal causa de morte por câncer entre mulheres, na grande maioria dos países. Técnicas como mamografia, ressonância magnética e ultrassom, empregadas para detecção desta doença não

possuem altas sensibilidades e especificidades, especialmente em mamas com tecido denso. A termografia infravermelha de mama é uma técnica adjunta de rastreamento que tem sido associada à detecção de sinais precoces de tumores em mamas. Através deste trabalho os autores visam analisar numericamente o comportamento térmico superficial de uma geometria hemisférica, semelhante a uma mama, mediante alterações na posição, geração metabólica e perfusão sanguínea de um tumor maligno.

PALAVRAS-CHAVE: Câncer de Mama, Campo de Temperatura, Termografia Infravermelha.

BIDIMENSIONAL NUMERICAL STUDY OF THE EFFECT OF A TUMOR PRESENCE IN A BREAST TEMPERATURE FIELD

ABSTRACT: Breast cancer is the most frequently diagnosed type of cancer and also the leading cause of cancer death among women in the vast majority of countries. Techniques such as mammography, magnetic resonance imaging and ultrasound employed to detect this disease do not have high sensitivities and specificities, especially in dense tissue breasts. Infrared breast thermography is an adjunct screening technique that has been linked to the detection of early signs of breast tumors. Through this work, the authors aim to numerically analyze the

superficial thermal behavior of a breast-like hemispherical geometry through changes in position, metabolic generation and blood perfusion of a malignant tumor.

KEYWORDS: Breast Cancer, Temperature Field, Infrared Thermography.

1 | INTRODUÇÃO

Câncer é um termo usado para um grupo de distúrbios associados ao crescimento celular anormal. Essas células anormais têm o potencial de se espalhar para outras partes do corpo (Gonzalez-Hernandez et al., 2019). O câncer de mama é o tipo de câncer que apresenta a maior frequência de diagnósticos entre mulheres na grande maioria dos países e é também a principal causa de morte por câncer entre mulheres (Bray et al., 2018). Segundo Kandlikar et al. (2017), o câncer de mama pode se originar em qualquer parte da mama, onde mais de 20 tipos de câncer podem ser identificados, sendo o carcinoma ductal e o carcinoma lobular os tipos mais comuns.

Segundo Gonzalez-Hernandez et al. (2019), há uma variedade de técnicas disponíveis para detectar o câncer de mama, como mamografia, ressonância magnética e ultrassom. No entanto, as sensibilidades e especificidades dessas técnicas não são tão altas, especialmente em mamas com tecido denso. A termografia infravermelha de mama é uma técnica adjunta de rastreamento que tem sido associada à detecção de sinais precoces de câncer de mama. No entanto, seu sucesso foi limitado. A termografia infravermelha dinâmica foi introduzida para melhorar a detecção do câncer de mama e reduzir as taxas de falso positivo e falso negativo.

A metodologia utilizada por Menegaz e Guimarães (2019) consistiu em uma analogia entre sistemas térmicos e sistemas dinâmicos para a detecção de inclusões, alterando a impedância desses sistemas. O procedimento proposto foi validado experimentalmente em materiais hiperplásicos com geometria simples. O método da impedância térmica mostrou sensibilidade para tamanhos de inclusão pequenos, demonstrando a capacidade de detectar tumores mamários precoces.

Os autores, por meio deste trabalho, têm como objetivo analisar numericamente o comportamento térmico superficial de uma geometria hemisférica, semelhante a uma mama, levando em conta a posição, geração metabólica e perfusão sanguínea de um tumor maligno.

2 | MODELO MATEMÁTICO

Pennes (1948) propôs uma expressão matemática, conhecida como Equação

da Biotransferência de Calor, que representa o balanço energético dentro dos tecidos biológicos vivos através da interação da perfusão e metabolismo do sangue. O problema de Biotransferência de Calor, considerando um tumor numa mama, é representado pela Eq. 1, que é o modelo de Pennes com uma mudança de variável apresentada pela Eq. 2. As condições de contorno e inicial são apresentadas pelas Eq. 3 - 7. A solução de campo de temperatura, considerando as Eq. 8 e 9, é dado pela Eq. 10, em termos das Funções de Green.

$$k\nabla^2\theta + w_s\rho_s c_s\theta + Q_m + Q_p = \rho c \frac{\partial\theta}{\partial t} \quad (1)$$

$$\theta(x, y = 0, z, 0) = T_a - T_\infty = \theta_a \quad (2)$$

$$k \frac{\partial\theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = -h_1\theta; \quad k \frac{\partial\theta}{\partial x} \Big|_{x=a} = h_2\theta \quad (3)$$

$$k \frac{\partial\theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = q_0(t); \quad k \frac{\partial\theta}{\partial y} \Big|_{y=b} = -h_3\theta \quad (4)$$

$$-k \frac{\partial\theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = -h_5\theta \quad (5)$$

$$-k \frac{\partial\theta}{\partial z} \Big|_{z=v} = -h_6\theta \quad (6)$$

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta_a \quad (7)$$

$$u^2\theta = \frac{\omega_s\rho_s c_s}{k} \theta \quad (8)$$

$$\theta(r, t) = W(r, t) \times e^{-u^2\alpha t} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} W(x, y, z, t) = & W_0 + \frac{\alpha}{k} \int_0^t \int_0^a \int_0^b \int_0^c H_1(t - \tau) Q(\tau) \times e^{u^2\alpha\tau} dx' dy' dz' d\tau + \\ & + \frac{\alpha}{k} \int_0^t \int_0^a \int_0^b H_2(t - \tau) q_0(\tau) \times e^{u^2\alpha\tau} dx' dz' d\tau \\ & + \alpha \int_0^t \int_0^a \int_0^b H_3(t - \tau) \theta_a \times e^{u^2\alpha\tau} dx' dy' dz' d\tau \end{aligned} \quad (10)$$

Onde k e α são, respectivamente, a condutividade térmica ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$) e a difusividade térmica do tecido humano ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$); w_s , ρ_s e c_s são, respectivamente, a perfusão (s^{-1}), a densidade (Kg m^{-3}) e o calor específico ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) do sangue; T é

temperatura ($^{\circ}\text{C}$); θ e W são mudanças de variável de temperatura ($^{\circ}\text{C}$); T_{∞} e T_a são, respectivamente a temperatura do meio ($^{\circ}\text{C}$) e a temperatura da superfície do tecido humano ($^{\circ}\text{C}$); Q_m é a geração metabólica do tecido humano (W m^{-3}); Q_p (W m^{-3}) é a geração metabólica adicional devido à presença do tumor; ρ e c são a densidade (kg m^{-3}) e o calor específico ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) do tecido humano, respectivamente; t e τ são as variáveis de tempo (s); x , y e z são coordenadas cartesianas (m); h_{1-6} são os coeficientes de transferência de calor por convecção ($\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$); H_{1-3} são as funções transferência; q_o é o fluxo de calor (W m^{-2}).

3 | RESULTADOS

Foi realizada uma análise numérica bidimensional do campo térmico de uma mama após aplicação de um fluxo de calor, considerando os casos com e sem tumor. O estudo foi feito com auxílio do software COMSOL. A geometria adotada foi hemisférica, devido à semelhança com o formato anatômico de uma mama. Adotou-se um raio $r = 72 \text{ mm}$. O diâmetro do tumor foi considerado $d = 10 \text{ mm}$. A profundidade do centro do tumor foi de $y = 32 \text{ mm}$, conforme sistema coordenado adotado. A malha utilizada no estudo inicial possui 842 elementos, sendo realizado um maior refinamento na região onde o tumor está localizado.

A Figura 1a apresenta o sistema físico do problema no tempo $t = 0$. Na base da mama, há uma temperatura prescrita $T = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ao longo da curvatura é considerada uma condição de contorno convectiva, com $h = 10 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ e temperatura externa $T_{\infty} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura inicial da mama é $T_0 = 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (quando entra em contato com o ambiente externo, ou seja, $t = 0$). Propriedades como perfusão sanguínea, geração de calor metabólica, condutividade térmica, densidade e calor específico do tecido mamário sadio e do tumor, bem como as propriedades termofísicas do sangue, foram consideradas de acordo com Figueiredo et al. (2018).

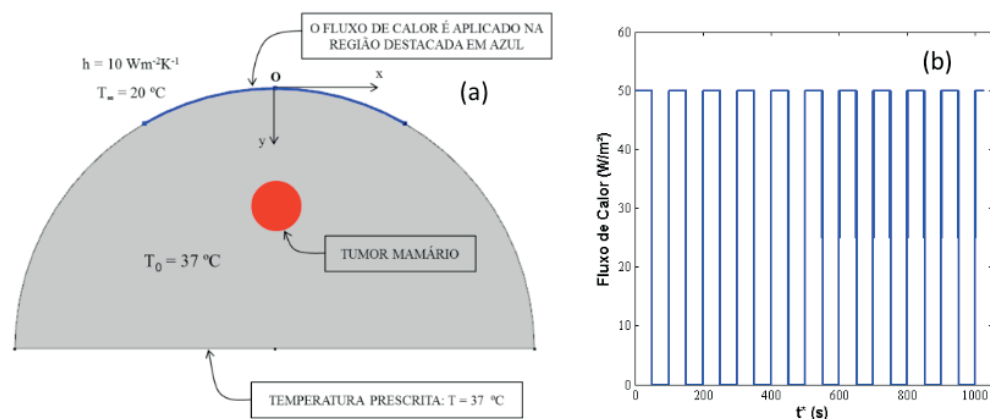


Figura 1 - (a) Sistema Físico; (b) Fluxo de Calor.

A partir de um instante $t^* = 0 \text{ s}$, no qual o sistema físico atinge o regime

estacionário com o ambiente, um fluxo de calor periódico com onda quadrada é aplicado durante 1023 s, conforme Fig. 1b. O fluxo de calor foi aplicado na parte externa central da mama, com um comprimento de arco $\gamma = (\pi/3)$ rad. As Figuras 2a e 2b mostram o campo 2D da temperatura da mama no referido tempo $t^* = 0^{\circ}\text{s}$, para casos com e sem a presença de um tumor, respectivamente. As Figuras 3a e 3b mostram o campo de temperatura 2D da mama após a aplicação do fluxo de calor.

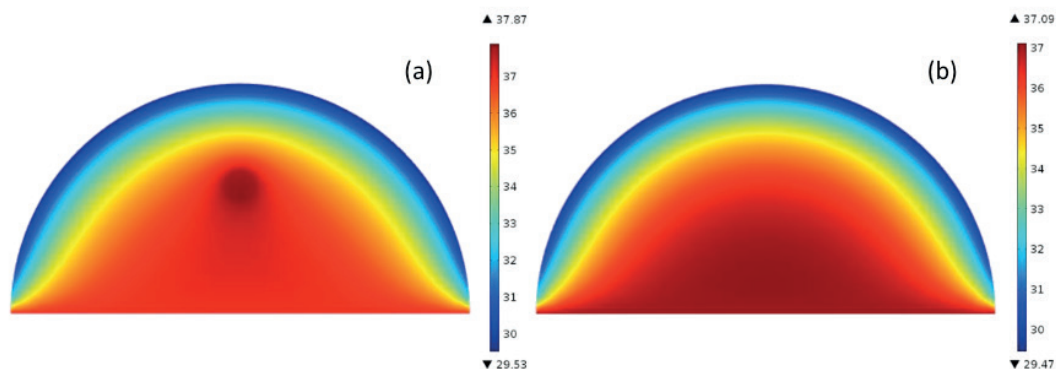


Figura 2 - Mama em regime permanente (antes da aplicação do fluxo de calor): (a) Com tumor; (b) sem tumor.

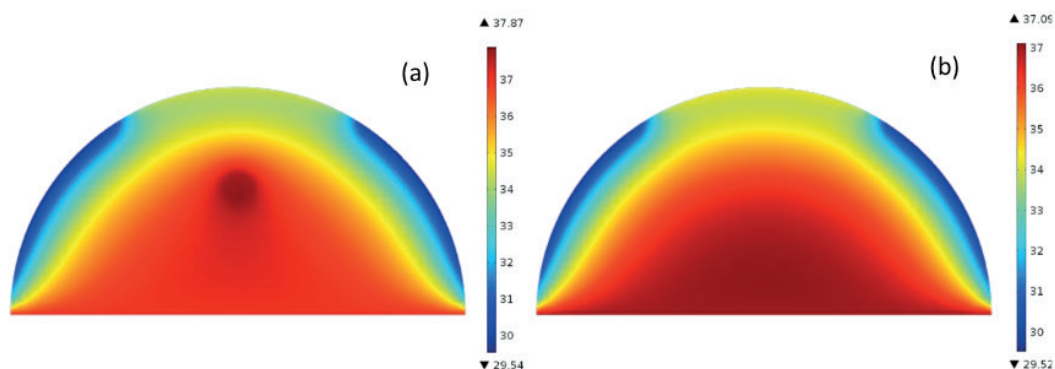


Figura 3 - Campo de temperatura da mama imediatamente após aplicação do fluxo de calor: (a) com tumor e (b) sem tumor.

A Figura 4 mostra o comportamento da temperatura no ponto O em função de t^* , para casos com e sem tumor na mama.

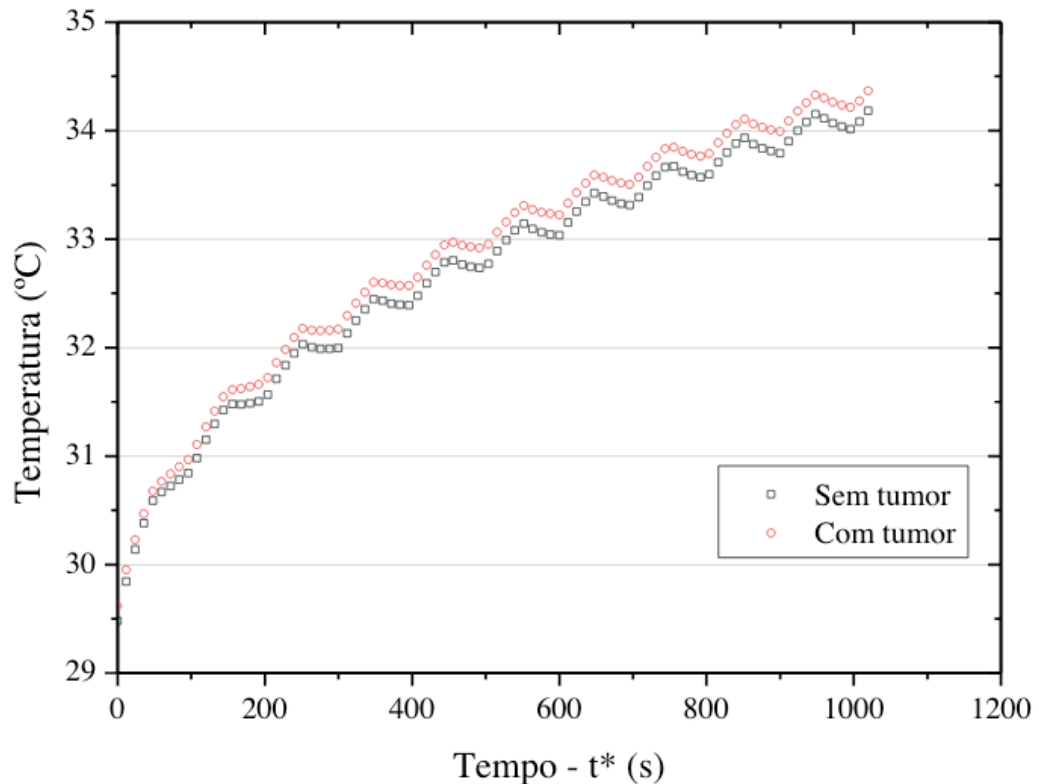


Figura 4 - Temperatura em função de t^* : (a) mama com tumor e (b) sem tumor.

A diferença de temperatura entre os casos da Fig. 4 é praticamente nula nos instantes iniciais. Entretanto, em $t^* = 1023$ s, tal diferença é da ordem de $0,2^{\circ}\text{C}$.

4 | CONCLUSÕES

Os autores analisaram numericamente o comportamento térmico superficial de uma geometria similar a uma mama, tendo em vista a posição, geração metabólica e perfusão sanguínea de um tumor maligno. O aumento do tempo evidencia um acréscimo na diferença de temperatura para casos com e sem tumor, devido à geração adicional de calor tumoral no primeiro caso, assim como observado em Menegaz e Guimarães (2019).

5 | AUTORIZAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material incluído neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Bray, F.; Ferlay, J.; Soerjomataram, I.; Siegel, R. L.; Torre, L. A.; Jemal, A. "Global Cancer Statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries". CA: A Cancer Journal for Clinicians, Vol. 68, n. 6, 2018, pp. 394-424.

Figueiredo, A. A. A.; Fernandes, H. C.; Guimarães, G. "Experimental approach for breast cancer center estimation using infrared thermography". *Infrared Physics and Thecnology*, Vol. 95, 2018, pp. 100-112.

Gonzalez-Hernandez, J. L.; Recinella, A. N.; Kandlikar, S.G.; Dabydeen, D.; Medeiros, L.; Phatak, P. "Technology, application and potencial of dynamic breast termography for the detection of breast cancer". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 131, 2019, pp. 558-573.

Kandlikar, S.G.; Perez-Raya, I.; Raghupathi, P.A.; Gonzalez-Hernandez, J. L.; Dabydeen, D.; Medeiros, L.; Phatak, P. "Infrared imaging technology for breast cancer detection - Current status, protocols and new directions". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 108, 2017, pp. 2303-2320.

Menegaz, G. L.; Guimarães, G. "Development of a new thecnique for breast tumor detection based on thermal impedance and a damage metric". *Infrared Physics and Technology*, Vol. 97, 2019, pp. 401-410.

Pennes, H. H. "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm". *Journal of Applied Physiology*, Vol. 1, n. 2, 1948.

AMBIENTE DE PROJETO DE HARDWARE E SOFTWARE INTEGRADOS PARA APRENDIZADO E ENGENHARIA DE SISTEMAS COMPUTACIONAIS

Data de aceite: 26/11/2019

Edson Lisboa Barbosa

Instituto Federal de Sergipe *campus* Aracaju
Aracaju – Sergipe

Lucas Fontes Cartaxo

Instituto Federal do Ceará *campus* Crato
Crato - Ceará

Cícero Samuel Rodrigues Mendes

Instituto Federal do Ceará *campus* Crato
Crato - Ceará

Guilherme Álvaro Rodrigues Maia Esmeraldo

Instituto Federal do Ceará *campus* Crato
Crato - Ceará

RESUMO: Organização e Arquitetura de Computadores é uma disciplina complexa por tratar do projeto de sistemas computacionais tendo que estar alinhada às novas tendências tecnológicas. A literatura científica tem optado pelo uso de ferramentas de simulação, nas práticas pedagógicas, em função do alto custo para criação e manutenção de laboratórios especializados. Porém, devido às aulas puramente teóricas e/ou ao uso de ferramentas de simulação muito abstratas, surgem lacunas no processo de ensino-aprendizagem desses conceitos. Este artigo apresenta uma nova ferramenta de aprendizagem que alia simulação

a interações com dispositivos físicos e de baixo custo, para estabelecer cenários completos de projetos de hardware.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Computacionais. Ambiente Integrado. Aprendizado. Simulação. Engenharia.

INTEGRATED HARDWARE AND SOFTWARE DESIGN ENVIRONMENT FOR COMPUTER SYSTEMS LEARNING AND ENGINEERING

ABSTRACT: Computer Organization and Architecture is a complex discipline for dealing with the design of computer systems having to be aligned with new technological trends. The scientific literature has opted for the use of simulation tools in pedagogical practices, due to the high cost for creating and maintaining specialized laboratories. However, due to purely theoretical classes and/or the use of very abstract simulation tools, there are gaps in the teaching-learning process of these concepts. This paper presents a new learning tool that combines simulation to interactions with physical and low-cost devices to establish complete scenarios of hardware projects.

KEYWORDS: Computational Systems. Integrated Environment. Learning. Simulation. Engineering.

1 | INTRODUÇÃO

Organização e Arquitetura de Computadores (OAC) é uma das disciplinas mais complexas presentes em cursos de Computação (ZORZO et al., 2017), pois além de tratar de assuntos extensos, e não triviais, relacionados ao projeto e análise de sistemas digitais e de computadores, deve estar alinhada às novas tendências tecnológicas, como são os casos de Internet das Coisas (IoT), Sistemas Embarcados, Sistemas de Computação Paralela e Sistemas Reconfiguráveis (GHAFFARIAN, 2016). A soma desses fatores resulta em grandes desafios para o processo de ensino-aprendizagem nessa área e demanda novas abordagens, métodos e ferramentas de hardware e software, inclusive, fazendo uso de artefatos resultantes das inovações tecnológicas.

O uso de simuladores para apoiar o aprendizado em OAC é uma prática comum e, na literatura, há variados tipos e com diferentes características funcionais e não funcionais. Alguns trabalhos, como os apresentados em (NIKOLIC et al., 2009) e (PENNA & FREITAS, 2013), realizam comparações entre diferentes simuladores, buscando estabelecer critérios para adoção de algum deles para apoio em cursos de OAC. Entre os critérios de comparação, destacam-se: granularidade (nível de detalhes, opções de configuração e variabilidade de componentes de hardware); desempenho e precisão dos resultados da simulação; suporte à simulação de aplicações de usuário; e interfaces gráficas interativas.

Contudo, de acordo com o estudo apresentado em (LARRAZA-MENDILUZE & GARAY-VITORIA, 2015), dentre os tópicos abordados em OAC, há lacunas no processo de ensino-aprendizagem em “subsistemas de entrada/saída”, devido aos métodos de ensino empregados que limitam-se a aulas puramente teóricas e/ou aos altos níveis de abstração das ferramentas de simulação utilizadas, não possibilitando a exploração dos detalhes técnicos que os dispositivos reais apresentam. Esse mesmo trabalho aponta ainda que existe a necessidade de mais estudos para a educação nessa área e que é um campo importante não só para OAC, mas também para outras áreas, como, por exemplo, projeto de sistemas computacionais, sistemas operacionais e interação homem-computador.

Outro problema comum é a ausência de exposição dos estudantes ao hardware físico, onde, o contato com os componentes eletrônicos físicos incentiva o aprendizado de todas as fases de desenvolvimento de um sistema digital ou periférico (BLACK, 2016). Nesse sentido, o desafio maior torna-se a composição de laboratórios especializados, com suporte de profissionais experientes, e a disponibilidade dos materiais a serem utilizados nas aulas práticas. Alguns trabalhos, como os apresentados em (BLACK, 2016) (NETO, BORGES & SILVA, 2017), buscaram contornar esse problema pelo uso do Arduino em práticas laboratoriais. Arduino é

uma plataforma eletrônica baseada em microcontrolador, com especificação aberta e tem sido largamente utilizada em projetos de sistemas eletrônicos por estudantes, hobistas e profissionais (ARDUINO, 2018). Seu grande sucesso vem sendo atribuído à sua simplicidade, facilidade de uso, o baixo custo e à diversidade de produtos e complementos criados pela indústria (KUSHNER, 2011). Apesar do alto potencial educacional, nessas abordagens, o projeto de sistemas computacionais, com uso do Arduino, fica condicionado ao uso e interação com os simuladores.

Diante do exposto, torna-se importante buscar soluções que reúnam a dinâmica e versatilidade dos processos baseados em simulação, acompanhadas da importância e dos desafios da exposição ao hardware real, e que permitam de fato o projeto de sistemas computacionais reais. Com esse intuito, este trabalho apresenta o CompSim, uma ferramenta de apoio ao aprendizado em projeto de sistemas computacionais, abrangendo hardware e software de baixo nível, com funcionalidades de simulação e interação com dispositivos de hardware real. O simulador proposto inclui componentes virtuais de hardware, como processador, memórias, barramentos e periféricos, bem como permite a integração ao Arduino, onde este passa a se comportar como um periférico do sistema computacional simulado. Além disso, após a validação do sistema computacional, via simulação, é possível exportá-lo para o Arduino para compor um sistema computacional autônomo (que independe do simulador). Com esse suporte de integração, espera-se tornar o aprendizado em subsistemas de entrada/saída mais atrativo e dinâmico, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de projetos de sistemas digitais físicos, estes com complexidades escaláveis de acordo com as necessidades do processo de ensino-aprendizagem e da metodologia adotada.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: Na seção a seguir, apresenta-se o simulador CompSim; Na Seção 3, é tratado o modelo de interface de entrada/saída do Arduino; A Seção 4 apresenta o modelo de integração CompSim-Arduino; A Seção 5 discute os potenciais dessa integração e, por fim, a Seção 6 apresenta as conclusões e demarca os trabalhos futuros.

2 | O SIMULADOR COMPSIM

CompSim inclui uma plataforma de hardware simulável, chamada de “Mandacaru”, a qual inclui um processador conceitual, memórias cache e RAM, barramentos de sistema e de periféricos, e periféricos de entrada (Teclado) e de saída (Vídeo) e de integração com Arduino. Esses componentes virtuais foram concebidos para suportar o estudo de diferentes conceitos de OAC, como, por exemplo, fases do ciclo de instrução, representação em memória de dados numéricos, não-numéricos e de estruturas de dados, conjunto de instruções da arquitetura (tipos, tamanhos

e formatos de instruções), modos de endereçamento, programação em nível de máquina, representação de construções de linguagens de alto nível, cálculo dos tempos de acesso aos dados, entre outros.

O CompSim possui uma interface gráfica que permite configurar os componentes da plataforma Mandacaru, programar uma aplicação para execução no processador conceitual, chamado de “Cariri”, configurar, executar e visualizar a simulação, bem como analisar o desempenho do sistema após uma simulação. A Figura 1 mostra a interface gráfica do simulador CompSim.

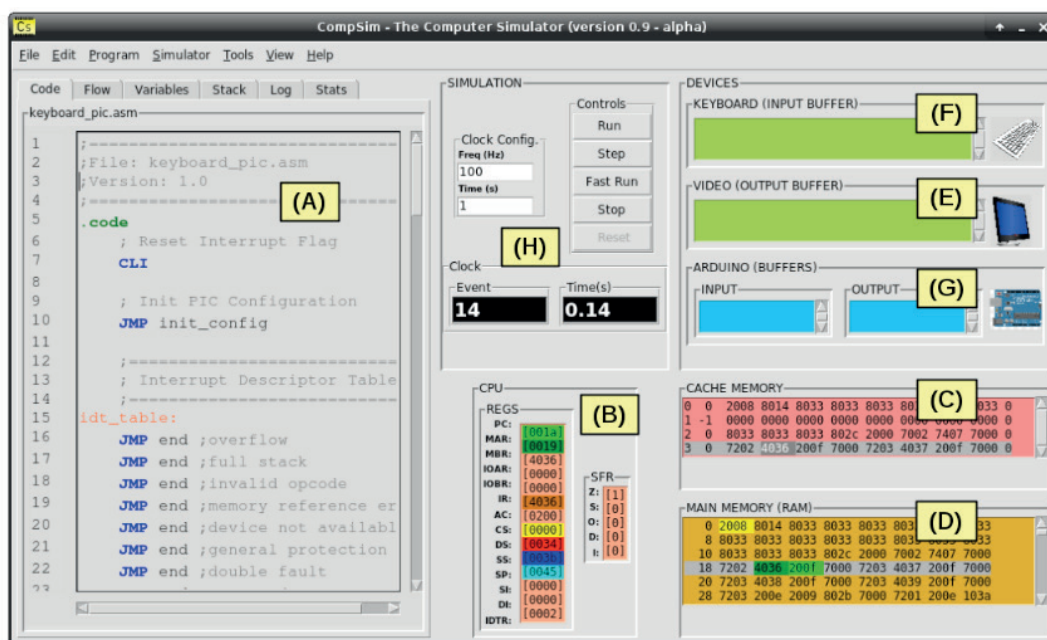


Figura 1 - Interface gráfica do simulador CompSim.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Na Figura 1, pode-se observar os seguintes componentes gráficos: (A) Editor de código: inclui recursos para simplificar a codificação de uma aplicação, como número de linhas, teclas de atalho, um assistente de codificação, entre outros. Este componente está integrado a um montador (*Assembler*) que realiza análises léxica, sintática e semântica no código-fonte da aplicação, tradução deste para *bytecodes*, com cópia para memória RAM; (B) CPU: durante uma simulação, exibe os registradores do processador Cariri e respectivos valores assumidos. Os registradores de endereçamento possuem cores diferenciadas, onde as respectivas cores são utilizadas para referenciar diferentes posições da memória RAM.; (C) Memória cache: exibe as linhas da cache e respectivos valores. Este componente gráfico destaca a linha e a palavra endereçada pelo processador durante uma simulação; (D) Memória RAM: exibe os conteúdos (instruções e dados) de todos os endereços da componente virtual memória RAM. Os componentes gráficos Memória RAM e CPU estão integrados, de forma que, durante uma simulação, as posições

de memória são coloridas de acordo com as respectivas cores dos registradores de endereçamento; (E) Vídeo: exibe os caracteres enviados para o componente virtual de vídeo; (F) Teclado: disponibiliza uma linha de comandos que permite ao usuário interagir com uma aplicação através do componente virtual teclado; (G) Arduino: componente gráfico que mostra os status de comunicação com uma plataforma Arduino; e (H) Controles de simulação: inclui controles que permitem configurar o tempo de simulação e frequência de relógio de sistema (*clock*), iniciar, executar passo-a-passo, parar e reiniciar uma simulação.

Analisando os componentes gráficos descritos anteriormente, percebe-se que, sem uma interface de integração com o Arduino, o aprendizado em “subsistemas de entrada/saída” estaria bastante limitado às interações com os programas de usuário, utilizando apenas os componentes gráficos de Vídeo e Teclado. Sendo assim, é fundamental acrescentar recursos que possibilitem a integração de diferentes dispositivos de entrada e saída, tornando-os mais próximos ao que se aplica no desenvolvimento de projetos de sistemas eletrônicos reais. As seções a seguir detalham a integração do simulador CompSim com o Arduino, e discutem as potencialidades resultantes dessa conjunção no aprendizado em entrada/saída e projetos de sistemas digitais.

3 | INTERFACE DE ENTRADA/SAÍDA DO ARDUINO UNO

Os microcontroladores Atmega8, Atmega168 e Atmega328p, presentes nas diferentes plataformas Arduino, incluem as portas B, C e D – portas são espaços de endereçamento que são frequentemente utilizados em operações de entrada/saída –, que são utilizadas em operações de entrada/saída digitais e analógicas. As operações em cada uma dessas portas podem ser realizadas a partir da manipulação de 3 registradores dos controladores Atmega, que são: 1) DDRx: determina se os bits da porta x serão utilizados para operação de entrada de dados (INPUT ou leitura) ou de saída (OUTPUT ou escrita); 2) PORTx: controla a tensão dos bits relacionados à porta x, onde poderão estar com voltagem alta (HIGH, nível lógico “1”) ou baixa (LOW, nível lógico “0”); e 3) PINx: realiza a leitura do estado dos bits da porta x, quando configurados como entrada (INPUT). Cabe ressaltar que os registradores DDRx e PORTx são de leitura/escrita de dados, enquanto que PIN é apenas de leitura.

Cada bit desses registradores corresponde a um único pino em uma placa de circuito impresso (PCI) do Arduino. Por exemplo, na PCI do Arduino UNO, a qual é ilustrada na Figura 2, o bit 0, dos registradores DDRB, PORTB e PINB, refere-se ao pino PB0 (*Port B pin 0*), que corresponde ao pino digital 8 da interface de entrada/

saída na sua PCI.

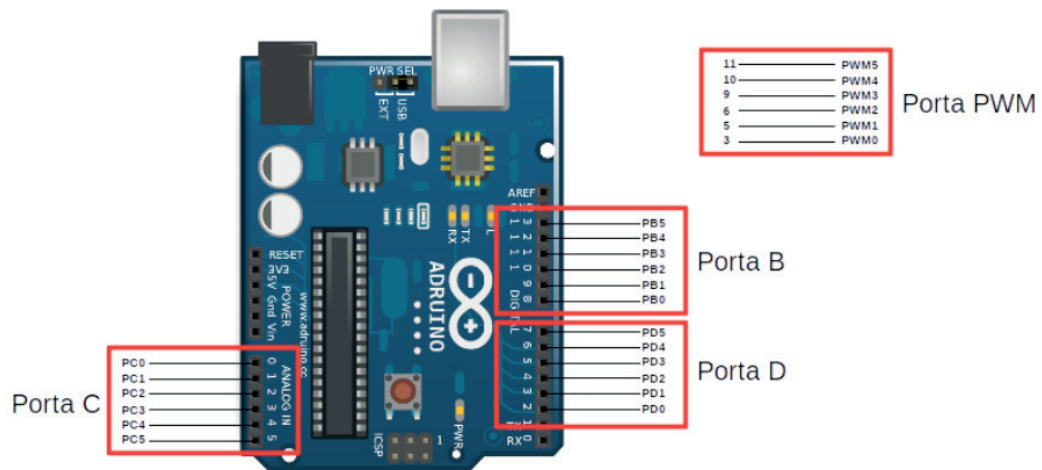


Figura 2 – Interface de entrada/saída do Arduino UNO.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

As portas B e D são utilizadas em operações de entrada/saída digitais, enquanto que a porta C utiliza-se apenas em operações de entrada analógica. Os pinos 3, 5, 6 (bits 4, 6 e 7 da porta D) e 9, 10, 11 (bits 1, 2 e 3 da Porta B) podem ainda ser utilizados para saída analógica via PWM (*Pulse With Modulation* – é uma técnica que utiliza diferentes amplitudes de sinais digitais para representar um sinal analógico). A Figura 2 mostra a posição das portas e respectivos pinos em uma PCI Arduino UNO.

4 | INTERFACE DE INTEGRAÇÃO COMPSIM-ARDUINO UNO

O processador Cariri, presente na plataforma virtual Mandacaru, em seu conjunto de instruções da arquitetura, possui a instrução INT para operações de entrada/saída, com o código de operação 20 para leitura de um caractere a partir de um determinado periférico e código 21 para escrita de um caractere em um determinado periférico.

Essas operações de entrada/saída devem atender às seguintes condições: 1) Em operações de leitura/escrita, os 8 bits mais significativos do Acumulador serão utilizados para endereçamento de periféricos. Com isso, podem ser endereçados até 256 periféricos diferentes ($8 \text{ bits} \rightarrow 2^8 = 256 \text{ periféricos}$); 2) Em operações de escrita, os 8 bits menos significativos do Acumulador serão utilizados para guardar o dado que será escrito em algum periférico; e 3) Em operações de entrada, após a leitura de periférico, o dado lido estará disponível no Acumulador. Desta forma, nas operações de entrada/saída, o registrador Acumulador do processador Cariri passa a incluir os campos *AC High* e *AC Low*, que podem ser vistos na Figura 3.

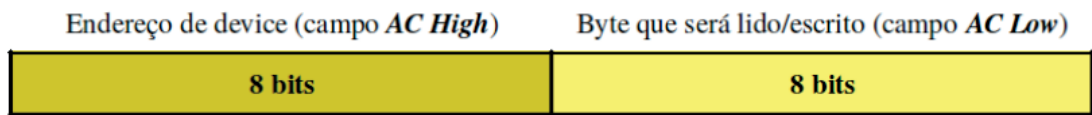


Figura 3 - Campos do registrador Acumulador em operações de Entrada/Saída.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Uma vez que se conecta uma PCI Arduino UNO ao computador onde está sendo executado o CompSim, automaticamente, as instruções “INT 20” e “INT 21” passam a suportar operações de entrada/saída em suas portas. A Figura 4 ilustra a organização da plataforma Mandacaru conectada ao Arduino UNO, em que pode-se observar a existência de controladores entre o barramento de periféricos e os dispositivos Vídeo, Teclado e Arduino UNO. Os controladores são importantes pois traduzem o formato das requisições do processador Cariri para o formato específico de cada periférico.

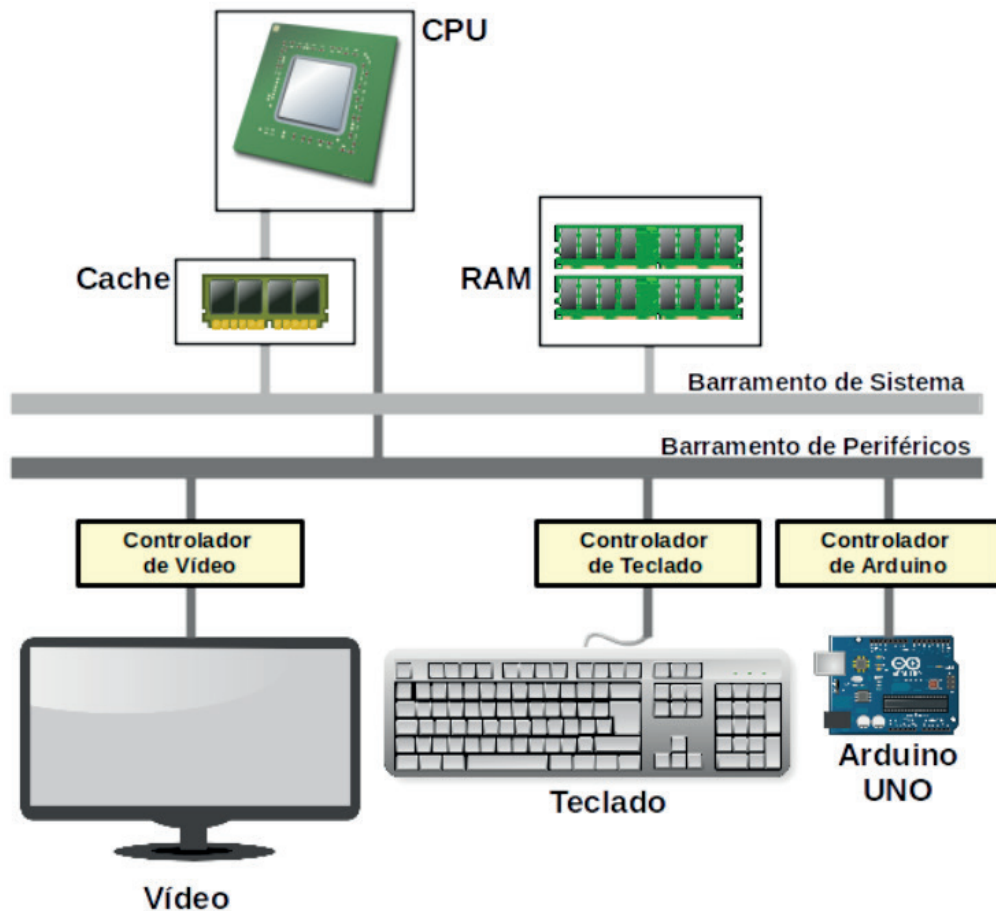


Figura 4 - Plataforma Mandacaru conectada ao Arduino UNO.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Já a Figura 5 detalha a interface do controlador virtual que realiza a integração do barramento de periféricos da plataforma Mandacaru à PCI Arduino UNO. Ao receber uma requisição de entrada/saída proveniente do processador, via barramento de

periféricos, e dependendo do tipo de operação e da porta especificada, o controlador realizará uma escrita ou leitura na respectiva interface de pinos da PCI Arduino UNO conectada a ele.

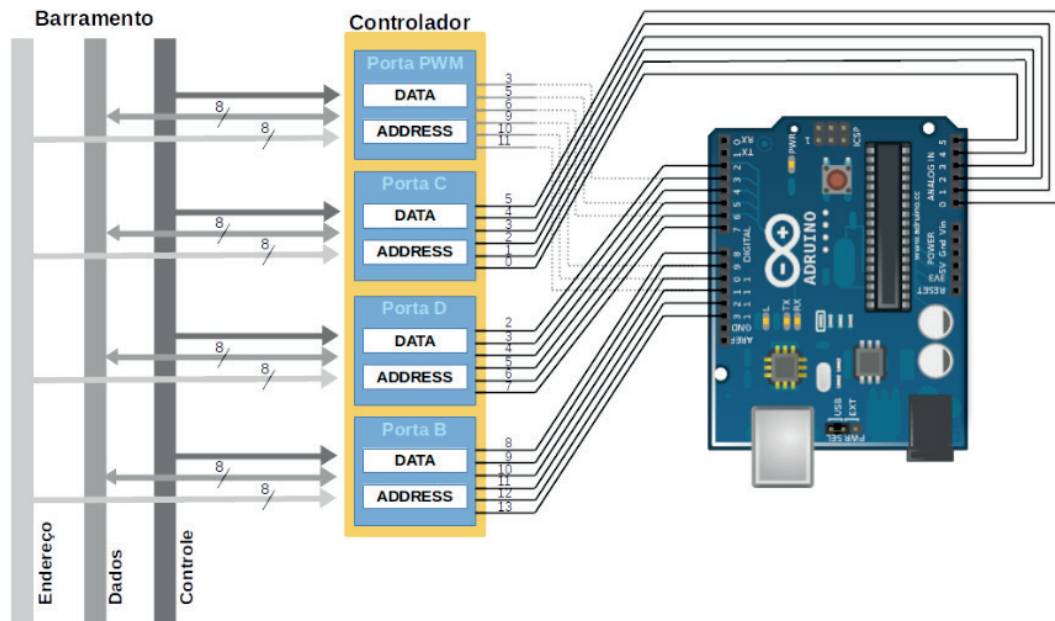


Figura 5 - Detalhe da interface de conexão do Arduino UNO à plataforma Mandacaru via controlador.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Com a integração de uma PCI Arduino UNO ao barramento de periféricos, a plataforma Mandacaru passa a contar com uma gama maior de periféricos de entrada/saída. A Tabela 1 sumariza todos os periféricos, respectivos tipos, modos de operação e número de portas.

Periférico	Tipo	Modo de Operação	Porta
Vídeo	Virtual	Saída Digital	0
Teclado	Virtual	Entrada Digital	1
Arduino - Porta B	Físico	Entrada/Saída Digital	2
Arduino - Porta C	Físico	Entrada Analógica	3
Arduino - Porta D	Físico	Entrada/Saída Digital	4
Arduino - Porta PWM (Pino 3)	Físico	Saída Analógica	5
Arduino - Porta PWM (Pino 5)	Físico	Saída Analógica	6
Arduino - Porta PWM (Pino 6)	Físico	Saída Analógica	7
Arduino - Porta PWM (Pino 7)	Físico	Saída Analógica	8
Arduino - Porta PWM (Pino 10)	Físico	Saída Analógica	9
Arduino - Porta PWM (Pino 11)	Físico	Saída Analógica	10

Tabela 1 - Periféricos do CompSim.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Na tabela, pode-se observar que os periféricos Vídeo e Teclado são do tipo virtual, enquanto que os demais são físicos, por estarem relacionados às portas do Arduino UNO. Outro detalhe importante está relacionado à porta PWM, a qual inclui 6 pinos independentes, e, por causa disso, cada um deles recebe um endereço de porta específico, podendo comportar até 6 periféricos diferentes.

5 | DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Uma vez que a plataforma Arduino passa a integrar o simulador CompSim, o estudo de OAC sofre em incremento no potencial de ensino-aprendizagem em subsistemas de entrada/saída. Agora, os estudantes podem agregar, às experiências práticas em laboratório, projetos de periféricos e de sistemas eletrônicos com Arduino.

Um exemplo básico de periférico físico do CompSim utilizando Arduino UNO pode ser visto na Figura 6. Nesse exemplo, o periférico consiste em um LED ligado a um resistor de 220 Ohms e conectado ao pino 8 da PCI, que pode ser ligado/desligado a partir de operações de entrada/saída pelo processador Cariri.

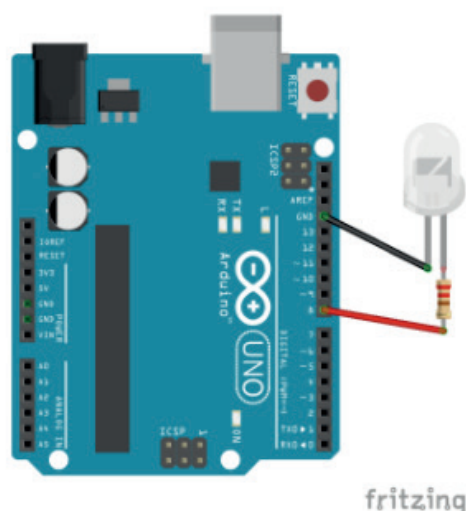


Figura 6 – Diagrama de um periférico com LED conectado ao pino 8 da PCI Arduino UNO.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Os códigos-fonte, ilustrados na Figura 7, mostram como ligar o LED conectado ao pino 8 da PCI Arduino UNO, sendo que em (a) o código é descrito em C/C++ nativo da IDE Arduino, e em (b), é descrito em linguagem Assembly do processador Cariri.

Observando os dois códigos, nas Figuras 7 (a) e (b), percebe-se que o código Assembly inclui maior número de linhas, porém ao considerarmos apenas as instruções que operam o periférico, percebe-se que: na Linha 5, carrega-se no Acumulador o dado que será escrito na porta B (porta na qual está conectado o

LED); na Linha 7, o endereço da porta B é adicionado ao Acumulador; e na Linha 11, realiza-se a operação de saída (nela, o comando de escrita é enviado ao controlador do Arduino UNO, para que ele ative o LED).

1.	<code>//LED conectado ao pino 8</code>	1.	<code>;Codigo do programa</code>
2.	<code>int led = 8;</code>	2.	<code>.code</code>
3.		3.	
4.	<code>void setup() {</code>	4.	<code>;Carrega dado no AC para escrita</code>
5.	<code> //Seta pino 8 como saída</code>	5.	<code>LDA high</code>
6.	<code> pinMode(led, OUTPUT);</code>	6.	
7.	<code>}</code>	7.	<code>;Add endereço da porta B ao AC</code>
8.		8.	<code>ADD arduino_portB</code>
9.	<code>//rotina para ligar o LED</code>	9.	
10.	<code>void loop() {</code>	10.	<code>;Realiza operacao de escrita</code>
11.	<code> //Realiza escrita digital</code>	11.	<code>INT output</code>
12.	<code> digitalWrite(led, HIGH);</code>	12.	
13.	<code>}</code>	13.	<code>;encerra a aplicacao</code>
14.		14.	<code>INT exit</code>
		15.	
		16.	<code>; Dados do programa</code>
		17.	<code>.data</code>
		18.	<code>high: DD 1;</code>
		19.	<code>arduino_portB: DD 512</code>
		20.	<code>output: DD 21</code>
		21.	<code>exit: DD 25</code>
		22.	
		23.	<code>; Pilha do programa</code>
		24.	<code>.stack 10</code>

Figura 7 – Comparativo entre código Arduino e CompSim para periférico da Figura 6.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

A aplicação ilustrada nas Figuras 6 e 7 consiste de um exemplo básico de construção de periféricos. Com o mesmo conceito proposto para as operações de entrada/saída digital e analógicas no CompSim, os estudantes poderão criar periféricos mais complexos, como, por exemplo, impressoras 3D, estações meteorológicas, veículos programáveis, robôs, etc. Naturalmente que, para construção de dispositivos eletrônicos mais elaborados, os estudantes necessitarão ser introduzidos à eletrônica analógica/digital básica ou fazer uso de subsistemas eletrônicos complementares pré fabricados, também conhecidos por *shields*. A indústria atualmente oferece variados tipos de *shields*, como *displays* gráficos, motores, sensores, interfaces de comunicação com/sem fio, conversores, acionadores elétricos, subsistemas de armazenamentos de dados, entre outros.

Além disso, o simulador CompSim permite exportar todo o sistema (plataforma virtual Mandacaru e o software que nela executa), através de um emulador, para uma board Arduino UNO, de maneira que o sistema pode ser executado em modo *standalone* (sem necessidade do simulador CompSim). Nesse sentido, com esta outra abordagem, estabelece-se potencial para a criação de sistemas computacionais físicos completos, como sistemas para automação em geral, como horta inteligente ou automação residencial; sistemas de segurança com controle de acesso via digitação de senha, RFID, Biometria ou reconhecimento facial; jogos

eletrônicos, com interfaces de *joysticks* especializados ou sensores de movimento; entre outros. A Figura 8 ilustra um sistema computacional completo executando em modo *standalone* no Arduino UNO, onde o mesmo possui alimentação elétrica via bateria externa (*power bank*) e é possível visualizar os registradores do processador emulado no display OLED.

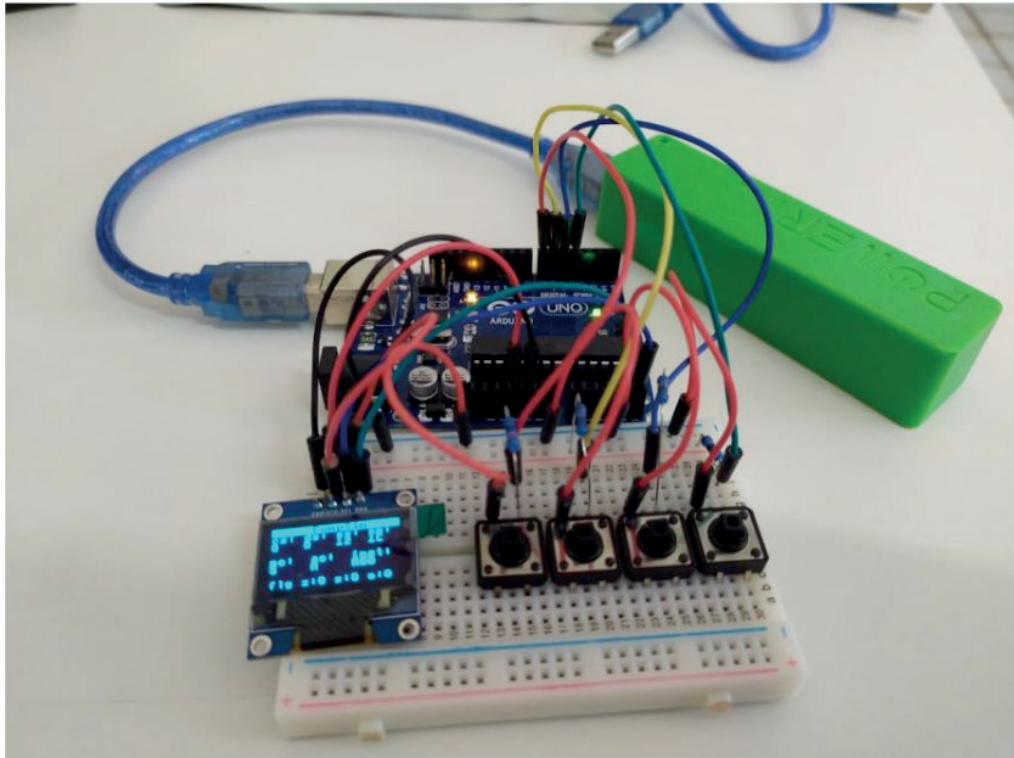


Figura 8 – Visão dos registradores do processador Cariri em um display OLED.

Fonte: Próprios Autores, 2019.

Atualmente, o simulador CompSim vem sendo utilizado, em práticas laboratoriais, como apoio pedagógico à disciplina de OAC de um curso de Bacharelado em Sistemas de Informação. Com a integração CompSim-Arduino UNO, tem-se proposto, aos estudantes de cada turma, como projeto de disciplina, a criação de novos periféricos físicos para a plataforma Mandacaru ou a criação de novos sistemas computacionais para diferentes aplicações. São disponibilizados, para as práticas laboratoriais, 10 kits “Arduino Iniciante” – cada kit contém além de uma *board* do Arduino UNO, diversos componentes eletrônicos, como resistores, capacitores, leds, pushbuttons, motores, displays, entre outros – e tem-se buscado, com esse experimento, ao final de cada semestre letivo, que os estudantes tenham compreendido com maior profundidade os conceitos de subsistemas de entrada/saída e tenham sido introduzidos ao projeto de sistemas computacionais reais.

6 | CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma proposta de integração CompSim-Arduino, na qual uma PCI Arduino UNO torna-se um periférico físico da plataforma virtual Mandacaru para compor um ambiente completo de simulação e de projetos de sistemas computacionais com hardware e software integrados. Essa proposta busca agregar novos perfis de formação na disciplina de Organização e Arquitetura de Computadores, onde os estudantes podem empregar os conceitos aprendidos em subsistemas de entrada/saída e fundamentos de eletrônica básica para projetar sistemas computacionais físicos reais.

Os trabalhos futuros incluem a adição de novos componentes à plataforma Mandacaru, visando disponibilizar cenários reais e fluxo completo de projetos de sistemas computacionais, a composição de projetos diversificados para o desenvolvimento de novos sistemas eletrônicos reais e integração com novas tecnologias em dispositivos eletrônicos, como por exemplo, hardware reconfigurável FPGA (*Field Programming Gate Array*).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a IFS/PROPEX/Petrobrás e IFCE/FUNCAP por fomentarem esta pesquisa através da concessão de bolsas e apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

Arduino. (2018) "Arduino - Introduction". Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em: 26 mar. 2018.

Black, M. (2016) "Export to arduino: a tool to teach processor design on real hardware". *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 31(6), pp.21-26.

Ghaffarian, R. (2016) "Microelectronics packaging technology roadmaps, assembly reliability, and prognostics". *Facta universitatis-series: Electronics and Energetics*, 29(4), pp.543-611.

Neto, A. M. A., Borges, J. A. dos S. and Silva, G. P. (2017) "Extensão do Simulador SimuS com uso do Protocolo Firmata". XVIII Workshop de Iniciação Científica do XVII Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho (WIC-WSCAD), pp.123-128.

Nikolic, B.; Radivojevic, Z.; Djordjevic, J. and Milutinovic, V. (2009) A Survey and Evaluation of Simulators Suitable for Teaching Courses in Computer Architecture and Organization. *IEEE Transactions on Education*, Vol. 52, No. 4. Kushner, D. (2011) "The making of arduino". *IEEE Spectrum*, 26.

Penna, P. H. M. M. and Freitas, H. C. (2013) Análise e Avaliação de Simuladores de Sistemas Completos para o Ensino de Arquitetura de Computadores. *International Journal of Computer Architecture Education (IJCAE)*, v. 2, no. 1, pp 13-16.

Zorzo, A. F., Nunes, D., Matos, E. S., Steinmacher, I., Leite, J. C., Araujo, R., Correia, R. C. M. and Martins, S. (2017) "Referenciais de Formação para os Cursos de Graduação em Computação". Sociedade Brasileira de Computação (SBC). 153p.

UMA PROPOSTA PRÁTICA DE MANUFATURA DE CONCRETO QUE PERPASSA DISCUSSÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E PENSAMENTO CRÍTICO

Data de aceite: 26/11/2019

Alaor Valério Filho

Universidade Federal do Pampa – Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

Bagé – Rio Grande do Sul

Ânderson Martins Pereira

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós-graduação em Letras.

Bagé – Rio Grande do Sul

Carlos Alfredo Barcellos Bellinaso

Universidade da Região da Campanha

Bagé – Rio Grande do Sul

Daniela Giffoni Marques

Universidade da Região da Campanha

Bagé – Rio Grande do Sul

RESUMO: O presente artigo busca refletir sobre uma prática de ensino em Engenharia Civil que pretende desenvolver a independência e o pensamento crítico de alunos da graduação. Ao longo do trabalho, estratégias para o ensino dessa área e questionamentos acerca da prática docente sob o aspecto da altivez acadêmica serão propostos. Este artigo justifica-se por contribuir com a pesquisa acerca de estudos sobre o ensino de Engenharia e sobre a inserção de práticas voltadas para a sustentabilidade, a qual tem se destacado nas últimas décadas

e tem tornado disponíveis novas ferramentas para melhor entender a atualidade, bem como a necessidade de medidas educativas que a contemplem. Além disso, este estudo inova no que tange a aplicabilidade da teoria de *Communicative Approach* no ensino de Engenharia Civil.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino, Engenharia Civil, Sustentabilidade

A PRACTICAL PROPOSAL OF MANUFACTURE OF CONCRETE THAT PERMEATES DISCUSSIONS ABOUT SUSTAINABILITY AND CRITICAL THINKING

ABSTRACT: This article aims to reflect on a teaching practice in Civil Engineering, which seeks the independence and critical thinking of undergraduate students. Strategies for the teaching of Civil Engineering and questionings about the teaching practice in terms of academic haughtiness will be proposed throughout the work. This article is justified by contributing to the research on Engineering teaching and about the insertion of practices focused on sustainability, which has stood out in the last decades and has made available new tools to understand better the contemporaneity, as well as the need for educational measures that contemplate it. Furthermore, this study innovates in what concerns the application of Communicative

INTRODUÇÃO

A raça humana, em busca de aprimoramento, evolui diariamente, esta evolução é perpassada pela tecnologia; tal processo é essencial, pois melhora a qualidade de vida humana em sociedade. Porém, a prática em torno das melhorias tecnológicas se imbrica à questão da sustentabilidade uma vez que o nosso planeta não consegue repor a quantidade de recursos que lhe são extraídos para manter esta evolução constante. A Engenharia Civil é um dos ramos responsável por esse desenvolvimento, tendo assim a responsabilidade de inserir em seus meios de atuação formas de reduzir a agressão causada ao meio ambiente, buscando não só o desenvolvimento tecnológico e estrutural da sociedade, mas encontrando meios de usufruir dos recursos naturais com parcimônia. Sabendo disso, o presente trabalho propôs práticas didáticas direcionadas ao ensino superior sobre o tema da sustentabilidade. De forma a limitar a prática, elegeu-se o trabalho com o concreto, pois este além de ser um elemento praticamente indispensável na construção civil, dá espaço para o engenheiro criar diferentes fórmulas de sua manufatura. O objetivo da prática é desenvolver o pensamento crítico dos engenheiros sobre os materiais a serem utilizados na criação de seu próprio concreto, englobando, para tal, uma perspectiva sustentável e mantendo as características de resistência do concreto. Ademais, este trabalho se justifica para além de seus objetivos no que tange o ensino de engenharia civil, pois sabe-se que existe uma defasagem no campo teórico sobre esta questão. Desta forma, a reflexão aqui apresentada, busca colaborar com tais estudos e fomentar futuros questionamentos. De modo a contextualizar a prática, a proposta pretende ser aplicada na disciplina “Materiais da Construção Civil III” no curso de Engenharia Civil da Universidade da Região da Campanha no município de Bagé-RS, a qual é ofertada para acadêmicos do quinto semestre. A escolha da disciplina se deu, pois, seus requisitos são as disciplinas de Materiais da Construção Civil II e Materiais da Construção Civil I, que tem por foco e comportamento desses materiais. Além disso, acredita-se que na disciplina de “Materiais da Construção Civil III” os alunos já possuam base para desenvolver um raciocínio crítico sobre as escolhas que farão enquanto profissionais da engenharia.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA A PRÁTICA

Esta seção busca discutir os conceitos teóricos que guiam a proposta didática. Sabe-se que este é um relato de prática feita para o público de alunos de graduação

da engenharia civil, porém são poucos os aportes teóricos que versem sobre a prática de sala de aula no contexto do ensino de engenharia civil. Como pode-se inferir na citação abaixo:

Um dos engenheiros, autor desta publicação, (M.H.C.B), cursou todos os anos de sua escola de engenharia acompanhado de uma singular coincidência. Ele nunca entendia as aulas e nem era por elas motivado. Fruto disso, ele ia sempre mal nas provas do primeiro semestre e só quando as coisas ficavam pretas, no segundo semestre, é que ele, impelido e desesperado pela situação, punha-se a estudar como um louco e o suficiente para chegar aos exames e lá então, a regra geral, tirar de boas as ótimas notas. Só quando do fim do curso, é que ele era atraído pela beleza do tema e do assunto, mas nunca pela beleza didática (ou falta de didática) com que a matéria era ensinada. (BOTELHO; MARCHETTI, 2015, p.16)

Na citação acima, Manuel Henrique Campos Botelho e Osvaldemar Marchetti (2015) sinalizam a defasagem de propostas de ensino no âmbito da engenharia civil. Essa defasagem aumenta ainda mais quando se afunila o escopo para estudos sobre materiais, como o concreto, o qual, por ser uma linha mais específica no estudo da engenharia, não conta com teorias de ensino que visem práticas em sala de aula. Como a proposta que aqui se configura, busca não apenas facilitar o acesso dos alunos, mas também torná-los participativos na aquisição do conhecimento, buscou-se referenciais de prática estrangeiros à engenharia. O conceito que introduziu o fazer que será narrado à frente é o de *Critical thinking* (pensamento crítico), trazido por Charles Temple. Segundo o autor,

Definindo Pensamento Crítico: Os filósofos geralmente definem o pensamento crítico como um processo de raciocínio e reflexão que é feito para decidir em que acreditar ou que curso de ação tomar. O pensamento crítico geralmente é feito em resposta a algo - um problema na experiência real, algo que lemos ou um argumento que ouvimos (2016, p.03; tradução nossa).

Este conceito é de extrema importância, pois busca-se a independência dos alunos. Sabe-se que ao sair da graduação, os alunos precisarão tomar decisões rápidas em situações críticas e não raras vezes se depararão com momentos em que precisarão contar com certa autonomia intelectual. Logo, é na graduação que devem começar a desenvolver sua independência, ainda que assistida. O presente trabalho utiliza-se também da teoria da abordagem comunicativa. Para isso, é necessário entender-se de onde vem a teoria, o porquê e para que fins se utilizam teorias do ensino de línguas em um contexto de ensino de Engenharia Civil. O *Communicative Approach* (abordagem comunicativa) é uma teoria criada para aquisição de língua adicional. Foi criada em 1970 opondo-se à metodologias voltadas para a gramática e a memorização e que tinham o professor como centro do conhecimento. Seu principal diferencial é o reconhecimento da interdependência entre linguagem e comunicação, por isso existe neste método uma ênfase no aluno e na construção

do aprendizado por meio da comunicação e da prática e não por meio de atividades centradas no professor. Neste contexto, o aluno se torna mais ativo na construção do conhecimento e o professor é, portanto, um guia.

A grande aceitação da abordagem comunicativa e os caminhos relativamente variados, nos quais é interpretada e aplicada, pode ser atribuída ao fato de que estes profissionais vindos de diferentes tradições educacionais conseguem se identificar com isto e conseqüentemente interpretá-lo de diferentes formas. (RICHARDS, 2001, p.157; tradução nossa).

Como visto na passagem acima, as ideias gerais do *Communicative Approach* são maleáveis e, pois, adaptáveis às outras áreas. É necessário que se entenda a plasticidade destas ideias e de quão relevantes elas podem ser em nível de metodologia para se trabalhar fora do ensino da língua. Acredita-se que, em aulas de engenharia civil, pode-se trabalhar de forma efetiva com este método. No contexto da construção civil, o *Communicative Approach* se alia a ideia de *Critical Thinking* de Temple (2016), proporcionando ao aluno uma aprendizagem ativa e uma construção de conhecimento interativa que se dá a partir dele. Dessa forma, o aluno descobre como as coisas funcionam e toma decisões no decorrer da aula, estimulando assim a criatividade dos alunos e a ideia de pertencimento e responsabilidade sobre o próprio aprendizado.

Portanto, no *Communicative Approach*, o aluno aprende a fazer fazendo, isso é levado para o projeto na medida em que entendemos que é na prática que os alunos internalizam os conteúdos que aprenderam e ativamente internalizam os conceitos. O *Communicative Approach* tem um olhar diferenciado sobre ensino-aprendizagem, pois entende que ao aluno não é necessário à explicitação de todo conteúdo por parte do professor. O aluno adquire de forma implícita, sem que necessite pensar sobre as escolhas que faz, dessa forma a explicitação se dá após um momento natural de implicação, na qual por meio do input o aluno tenha contato com o objeto de aprendizado.

aprendizado implícito envolve adquirir habilidades e conhecimento sem conhecimento consciente, isto é, automaticamente e sem tentativas conscientes de aprendê-los. Dentre os professores da linguagem, a visão emergente de uma classe comunicativa típica tem sido a de que se deve aproximar um ambiente de linguagem de aquisição natural tanto quanto for possível. Por isso, deve-se prover bastante material autêntico para alimentar os alunos de processos de aprendizado implícitos (DÖRNYEI, 2001, p.35, tradução nossa).

A passagem acima é interessante, pois legitima uma ênfase na prática, como se verá na organização de aulas a seguir. A sequência didática se baseia em muitas informações que serão passadas implicitamente aos alunos em virtude da prática e muitas explicitações de problemas serão dadas apenas quando estes ocorrerem.

Espera-se que os futuros engenheiros cometam erros, testem seus materiais e aprendam a reconhecer a motivação de seus enganos, bem como se utilizem de ferramentas para saná-los. Outro ponto metodológico é a utilização do processo *Presentation, Practice, Production* (PPP) para a elaboração das aulas. Sobre esses aspectos as aulas foram organizadas primeiramente pela apresentação do conteúdo que seria abordado (*Presentation*), exercícios de produção de conteúdo (*Controlled ou Freer Practice*) e por último uma produção criativa por parte dos alunos (*Production*). Usou-se o PPP como uma forma de organização e planejamento de aulas e não como uma fórmula.

Qualquer um que tiver ensinado usando a técnica de apresentar algo, praticá-lo de um modo controlado e depois dando ao aluno a chance de usar isto em uma comunicação livre, atividade de *Production*, saberá que este está longe da perfeição. Ainda assim, é uma ferramenta poderosa para tornar seus alunos mais ativos no processo de aprendizado (CASE, 2013, online; tradução nossa).

A ideia de *Production* se alia à ideia, já exposta, de Temple na qual o aluno deve manter um relacionamento crítico com o que aprendeu, já que se utilizará do que apreendeu para produzir algo seu, imprimindo suas próprias opiniões e concepções no produto que será entregue. Como se verá na sequência didática, o grande produto dos alunos será um concreto feito por eles e com materiais elegidos por eles; houve, contudo, momentos do planejamento das aulas que levaram em conta o pensamento crítico perpassaram todas as etapas do PPP.

SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A proposta didática foi dividida em cinco partes. A primeira parte foi introdutória (*Presentation*); os alunos seriam retirados da sala de aula e apresentados ao laboratório de concreto. Lá, seriam expostos ao maquinário necessário à confecção do concreto, dentre eles cabe salientar a betoneira, equipamento utilizado para homogeneização da mistura; a prensa à compressão axial, para que os alunos realizassem o rompimento de corpos de prova; os equipamentos utilizados no *slump test*, teste realizado após a confecção do concreto na betoneira que determina a sua trabalhabilidade; e moinho à martelos, para moer eventuais materiais que eles resolvessem utilizar. Além do maquinário, os alunos iniciariam seu percurso teórico sendo apresentados à NBR 12655 e ao método da Fundação de Ciência e Tecnologia (CIENTEC) de dosagem empírica de concreto, padronizado por Fernando Antônio Piazza Recena em 1989, os quais versam sobre dosagem dos ingredientes da confecção dos concretos. Após a discussão sobre as questões da dosagem, seria apresentado aos alunos a NBR 5738, que regulamenta o modo de preparo do concreto e seu teste de trabalhabilidade e, por fim, a NBR 5739 que regulamenta o

teste à compressão axial. De posse destas leituras, os alunos discutiram todos os processos de feitura do concreto que seriam: escolha dos materiais; suas proporções; a maneira de preparo; e o teste do produto acabado.

Segunda etapa (*Practice*). Os alunos nesta etapa seriam divididos em duplas, pois além de ser um procedimento mais rústico e de difícil realização ao aluno individual, seria esperado que as duplas pudessem debater sobre a prática entre si. Para esta atividade, eles apenas reproduziram as teorias que haviam apreendido, criando um concreto de traço padrão, ainda que cada dupla pudesse escolher qual *fck* (do inglês, *Feature Compression Know*) - traduziremos para o português como Resistência Característica do Concreto à Compressão - pretendia obter ao final do processo. O ideal da atividade seria que os alunos levassem para a sala de aula os dados obtidos nos testes, o “teste de pressão à compressão axial” conta com dados levantados nos períodos de 7 (sete), 14 (quatorze) e 28 (vinte e oito) dias, cada etapa deve ter, como dita a norma, três rompimentos de corpos-de-prova, logo foram rompidos ao todo 9 (nove). A partir de tais necessidades, foi estabelecido que os alunos voltariam a se encontrar em um período de 40 (quarenta) dias para que pudessem realizar todas as etapas. No encontro, esperar-se-ia que os alunos discutissem a experiência, se foi possível atingir os *fck* pretendidos e, caso negativo, quais seriam possíveis estratégias para atingir os objetivos.

Terceira etapa (sensibilização à *production*), em aula, seria apresentada às duplas problemas de descarte de materiais, questões de sustentabilidade que envolvem a engenharia civil e questionado aos alunos de que forma eles poderiam tornar a confecção do concreto mais sustentável. Lembrando aos alunos que os agregados miúdo (geralmente areia) e graúdo (geralmente brita) poderiam ser substituídos por outros materiais de modo a promover um concreto mais sustentável. Assim, seria dada a tarefa aos alunos de escolherem materiais que fossem acessíveis em Bagé e região e que pudessem ser cooptados pela engenharia civil de forma a promover uma reutilização benéfica ao meio ambiente.

Quarta etapa (*production*), de posse dos materiais e das fórmulas individuais cada dupla seria dirigida ao laboratório, para criar seu concreto. Solicitar-se-ia as duplas que fizessem a substituição dos materiais em três traços diferentes variando a porcentagem da substituição, visto que um dos objetivos foi fomentar o pensamento crítico. Neste sentido, as diferentes porcentagens de substituição proveriam uma melhor análise do comportamento do concreto. Cada traço deveria ter massa suficiente para preencher 9 (nove) corpos-de-prova e realizar o *slump test*. Assim, cada dupla seria responsável pela confecção de 27 (vinte e sete) corpos-de-prova.

Quinta etapa (apresentação da *production*), após a feitura dos concretos cada dupla teria de confeccionar um banner, no qual além dos dados os alunos deveriam justificar o motivo da escolha dos materiais utilizados e os possíveis ganhos em sua

utilização. Os trabalhos deveriam ser expostos em aula em forma de apresentação de pôster, com duração de 20 (vinte) minutos para cada arguição. A avaliação por parte do professor se daria após o cumprimento das 5 (cinco) etapas, nas quais a dupla deveria ter sido coerente com as propostas e normas observadas. Esta avaliação seria somente para checar os elementos basilares para que o trabalho pudesse ser considerado apto. Cumpridas estas exigências, seriam avaliadas a assiduidade, a participação na execução da prática e em aula, sendo esta parte realizada não pelo professor regente, mas pelo outro proponente da dupla que acompanhou todo o processo. Esta avaliação foi elaborada de forma a responsabilizar os alunos por seu aprendizado, bem como por sua nota, já que a nota é atribuída apenas nesta etapa da avaliação.

CONCLUSÃO

Acredita-se que esta prática corroboraria para a formação dos alunos, não só no conteúdo da disciplina de “Materiais da Construção Civil III, como ajudaria no desenvolvimento de sua identidade futura de engenheiros civis, uma vez que esta área da engenharia está inteiramente ligada à proposição de melhores soluções possíveis para os mais diversos problemas. Salienta-se que um dos pontos mais importantes alcançados com esta proposta prática é o de apresentar meios para que os alunos desenvolvam o pensamento sustentável, o qual é imperativo a futuros engenheiros civis em uma sociedade deficiente de recursos naturais, como é a nossa. Estes terão responsabilidade ambiental no que tange o bom uso dos diversos recursos ambientais que a natureza proporciona à nossa sociedade. É urgente que não só a engenharia se torne sustentável, mas toda a educação, pois é através dela que construiremos não casas e edifícios, mas um mundo novo. Espera-se que este trabalho fomente futuras pesquisas que se articulem entre o ensino do fazer sustentável e as mais diversas áreas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -NBR 12655. **Concreto: Preparo, controle e recebimento**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -NBR 5738. **Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -NBR 5739. **Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos ±Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -NBR 6118. **Concreto: Projetos de estruturas de concreto, procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

BOTELHO, M.H.C.;MARCHETTI, O. **Concreto armado eu te amo**. 8 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

CASE, Alexander. “**15 reasons why PPP is so unfashionable**”. 03 Abr 2013. Disponível em: . Acesso em: 03 Abr 2018.

DÖRNYEI, Zoltán. **Motivational strategies in the language classroom**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

G1, . **Cinzas de Termelétrica cobrem carros e invadem casas em Candiota, RS**.19 Jul 2012. Disponível em: < <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2012/07/cinzas-determeletrica-cobrem-carros-e-invadem-casas-em-candiota-rs.html>>. Acesso em: 26 Mai 2018.

RICHARDS, Jack. **Approaches and methods in Language teaching**. 2nd ed. New York: Cambridge, 2001.

TEMPLE, C. **Critical Thinking and critical literacy**. Thinking Classroom, v. 6, n. 2, April 2005. p. 15-20. Newark: International Reading Association, 2005.

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

