

organizadores

Thiago Barros Murari
Aloísio Santos Nascimento Filho
Hernane Borges de Barros Pereira

Construção do conhecimento em organizações na perspectiva da modelagem de processos industriais e sistemas complexos

coordenador

Renelson Ribeiro Sampaio

SÉRIE COMPARTILHANDO SABERES
VOLUME 3

Sistema FIEB



organizadores

Thiago Barros Murari
Aloísio Santos Nascimento Filho
Hernane Borges de Barros Pereira

Construção do conhecimento em organizações na perspectiva da modelagem de processos industriais e sistemas complexos

coordenador

Renelson Ribeiro Sampaio

SÉRIE COMPARTILHANDO SABERES
VOLUME 3

Sistema FIEB




pimenta
cultural
2021
São Paulo

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2021 os autores e as autoras.

Copyright da edição © 2021 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons: Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - CC BY-NC (CC BY-NC-ND). Os termos desta licença estão disponíveis em: <<https://creativecommons.org/licenses/>>. Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural. O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Doutores e Doutoradas

Airton Carlos Batistela

Universidade Católica do Paraná, Brasil

Alaim Souza Neto

Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil

Alessandra Regina Müller Germani

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Alexandre Antonio Timbani

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Alexandre Silva Santos Filho

Universidade Federal de Goiás, Brasil

Aline Daiane Nunes Mascarenhas

Universidade Estadual da Bahia, Brasil

Aline Pires de Moraes

Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil

Aline Wendpap Nunes de Siqueira

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Ana Carolina Machado Ferrari

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Andre Luiz Alvarenga de Souza

Emill Brunner World University, Estados Unidos

Andreza Regina Lopes da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Antonio Henrique Coutelo de Moraes

Universidade Católica de Pernambuco, Brasil

Arthur Vianna Ferreira

Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Bárbara Amaral da Silva

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Beatriz Braga Bezerra

Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil

Bernadette Beber

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Breno de Oliveira Ferreira

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Carla Wanessa Caffagni

Universidade de São Paulo, Brasil

Carlos Adriano Martins

Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Caroline Chioquetta Lorenset

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Cláudia Samuel Kessler

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Daniel Nascimento e Silva

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Daniela Susana Segre Guertzenstein

Universidade de São Paulo, Brasil

Danielle Aparecida Nascimento dos Santos

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Delton Aparecido Felipe

Universidade Estadual de Maringá, Brasil

Dorama de Miranda Carvalho

Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil

Doris Roncareli

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Elena Maria Mallmann

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Emanoel Cesar Pires Assis

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Erika Viviane Costa Vieira

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

Everly Pegoraro

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Fábio Santos de Andrade

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Fauston Negreiros

Universidade Federal do Ceará, Brasil

Felipe Henrique Monteiro Oliveira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Fernando Barcellos Razuck

Universidade de Brasília, Brasil

Francisca de Assiz Carvalho

Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Gabriela da Cunha Barbosa Saldanha

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Gabrielle da Silva Forster

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Guilherme do Val Toledo Prado

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Hebert Elias Lobo Sosa

Universidad de Los Andes, Venezuela

Helciclever Barros da Silva Vitoriano

*Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais
Anísio Teixeira, Brasil*

Helen de Oliveira Faria

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Heloisa Candello

IBM e University of Brighton, Inglaterra

Heloisa Juncklaus Preis Moraes

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil

Ismael Montero Fernández,

Universidade Federal de Roraima, Brasil

Jeronimo Becker Flores

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil

Jorge Eschriqui Vieira Pinto

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

José Luís Giovanoni Fornos Pontifícia

Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil

Josué Antunes de Macêdo

Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Júlia Carolina da Costa Santos

Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Juliana de Oliveira Vicentini

Universidade de São Paulo, Brasil

Juliana Tiburcio Silveira-Fossaluzza

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Julierme Sebastião Moraes Souza

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Karlla Christine Araújo Souza

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Laionel Vieira da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Leandro Fabricio Campelo

Universidade de São Paulo, Brasil

Leonardo Jose Leite da Rocha Vaz

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Leonardo Pinheiro Mozdzenski

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Lidja Oliveira

Universidade de Aveiro, Portugal

Luan Gomes dos Santos de Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Luciano Carlos Mendes Freitas Filho

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Lucila Romano Tragtenberg

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Lucimara Rett

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Marceli Cherchiglia Aquino

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Marcia Raika Silva Lima

Universidade Federal do Piauí, Brasil

Marcos Uzel Pereira da Silva

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Marcus Fernando da Silva Praxedes

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Margareth de Souza Freitas Thomopoulos

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Maria Angelica Penatti Pipitone

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Maria Cristina Giorgi

Centro Federal de Educação Tecnológica

Celso Suckow da Fonseca, Brasil

Maria de Fátima Scaffo

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Maria Isabel Imbroni

Universidade de São Paulo, Brasil

Maria Luzia da Silva Santana

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Maria Sandra Montenegro Silva Leão

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Michele Marcelo Silva Bortolai

Universidade de São Paulo, Brasil

Miguel Rodrigues Netto

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Nara Oliveira Salles

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Neli Maria Mengalli

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Patricia Biegging

Universidade de São Paulo, Brasil

Patrícia Helena dos Santos Carneiro
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Patrícia Oliveira
Universidade de Aveiro, Portugal

Patricia Mara de Carvalho Costa Leite
Universidade Federal de São João del-Rei, Brasil

Paulo Augusto Tamanini
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Priscilla Stuart da Silva
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Radamés Mesquita Rogério
Universidade Federal do Ceará, Brasil

Ramofly Bicalho Dos Santos
Universidade de Campinas, Brasil

Ramon Taniguchi Piretti Brandao
Universidade Federal de Goiás, Brasil

Rarielle Rodrigues Lima
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Raul Inácio Busarello
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Renatto Cesar Marcondes
Universidade de São Paulo, Brasil

Ricardo Luiz de Bittencourt
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Rita Oliveira
Universidade de Aveiro, Portugal

Robson Teles Gomes
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Rodiney Marcelo Braga dos Santos
Universidade Federal de Roraima, Brasil

Rodrigo Amancio de Assis
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Rodrigo Sarruge Molina
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Rosane de Fatima Antunes Obregon
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Sebastião Silva Soares
Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Simone Alves de Carvalho
Universidade de São Paulo, Brasil

Stela Maris Vaucher Farias
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Tadeu João Ribeiro Baptista
Universidade Federal de Goiás, Brasil

Tania Micheline Miorando
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tarcísio Vanzin
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Thiago Barbosa Soares
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Thiago Camargo Iwamoto
Universidade de Brasília, Brasil

Thyana Farias Galvão
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Valdir Lamim Guedes Junior
Universidade de São Paulo, Brasil

Valeska Maria Fortes de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Vanessa Elisabete Raue Rodrigues
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Vania Ribas Ulbricht
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Wagner Corsino Enedino
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Wanderson Souza Rabello
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Washington Sales do Monte
Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Wellington Furtado Ramos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

PARECERISTAS E REVISORES(AS) POR PARES

Avaliadores e avaliadoras Ad-Hoc

Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Adilson Cristiano Habowski
Universidade La Salle - Canoas, Brasil

Adriana Flavia Neu
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Aguimario Pimentel Silva
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Alessandra Dale Giacomini Terra
Universidade Federal Fluminense, Brasil

Alessandra Figueiró Thornton
Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Alessandro Pinto Ribeiro
Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Brasil

Alexandre João Appio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Aline Corso
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Aline Marques Marino
Centro Universitário Salesiano de São Paulo, Brasil

Aline Patrícia Campos de Tolentino Lima
Centro Universitário Moura Lacerda, Brasil

Ana Emídia Sousa Rocha
Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Ana Iara Silva Deus
Universidade de Passo Fundo, Brasil

Ana Julia Bonzanini Bernardi
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Ana Rosa Gonçalves De Paula Guimarães
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

André Gobbo
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Andressa Antonio de Oliveira
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Andressa Wiebusch
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Angela Maria Farah
Universidade de São Paulo, Brasil

Anísio Batista Pereira
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Anne Karynne da Silva Barbosa
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Antônia de Jesus Alves dos Santos
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Antonio Edson Alves da Silva
Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Ariane Maria Peronio Maria Fortes
Universidade de Passo Fundo, Brasil

Ary Albuquerque Cavalcanti Junior
Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Bianca Gabriely Ferreira Silva
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Bianka de Abreu Severo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Bruna Donato Reche
Universidade Estadual de Londrina, Brasil

Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Camila Amaral Pereira
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carlos Eduardo Damian Leite
Universidade de São Paulo, Brasil

Carlos Jordan Lapa Alves
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Carolina Fontana da Silva
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Carolina Fragoso Gonçalves
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Cássio Michel dos Santos Camargo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Faced, Brasil

Cecília Machado Henriques
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Cíntia Moralles Camillo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Claudia Dourado de Salces
Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Cleonice de Fátima Martins
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Cristiane Silva Fontes
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Cristiano das Neves Vilela
Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Daniele Cristine Rodrigues
Universidade de São Paulo, Brasil

Daniella de Jesus Lima
Universidade Tiradentes, Brasil

Dayara Rosa Silva Vieira
Universidade Federal de Goiás, Brasil

Dayse Rodrigues dos Santos
Universidade Federal de Goiás, Brasil

Dayse Sampaio Lopes Borges
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Deborah Susane Sampaio Sousa Lima
Universidade Tuiuti do Paraná, Brasil

Diego Pizarro
Instituto Federal de Brasília, Brasil

Diogo Luiz Lima Augusto
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil

Ederson Silveira
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Elaine Santana de Souza
*Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, Brasil*

Eleonora das Neves Simões
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Elias Theodoro Mateus
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Elisiene Borges Leal
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elizabeth de Paula Pacheco
Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Elizânia Sousa do Nascimento
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elton Simomukay
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Elvira Rodrigues de Santana
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Emanuella Silveira Vasconcelos
Universidade Estadual de Roraima, Brasil

Érika Catarina de Melo Alves
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Everton Boff
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Fabiana Aparecida Vilaça
Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil

Fabiano Antonio Melo
Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Fabricia Lopes Pinheiro
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Fabício Nascimento da Cruz
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Francisco Geová Goveia Silva Júnior
Universidade Potiguar, Brasil

Francisco Isaac Dantas de Oliveira
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Francisco Jeimes de Oliveira Paiva
Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Gabriella Eldereti Machado
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Gean Breda Queiros
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Germano Ehler Pollnow
Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Glauco Martins da Silva Bandeira
Universidade Federal Fluminense, Brasil

Graciele Martins Lourenço
Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

Handerson Leylton Costa Damasceno
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Helena Azevedo Paulo de Almeida
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Heliton Diego Lau
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Hendy Barbosa Santos
Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Inara Antunes Vieira Willerding
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Ivan Farias Barreto
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Jacqueline de Castro Rimá
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Jeane Carla Oliveira de Melo
Universidade Federal do Maranhão, Brasil

João Eudes Portela de Sousa
Universidade Tuiuti do Paraná, Brasil

João Henriques de Sousa Junior
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Joelson Alves Onofre
Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Juliana da Silva Paiva
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Junior César Ferreira de Castro
Universidade Federal de Goiás, Brasil

Lais Braga Costa
Universidade de Cruz Alta, Brasil

Leia Mayer Eying
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Manoel Augusto Polastrelli Barbosa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Marcio Bernardino Sirino
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Marcos dos Reis Batista
Universidade Federal do Pará, Brasil

Maria Edith Maroca de Avelar Rivelli de Oliveira
Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Michele de Oliveira Sampaio
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Miriam Leite Farias
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Natália de Borba Pugens
Universidade La Salle, Brasil

Patricia Flavia Mota
Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Raick de Jesus Souza
Fundação Oswaldo Cruz, Brasil

Railson Pereira Souza
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Rogério Rauber
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Samuel André Pompeo
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Simoni Urnau Bonfiglio
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Tayson Ribeiro Teles
Universidade Federal do Acre, Brasil

Valdemar Valente Júnior
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Wallace da Silva Mello
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil

Wellton da Silva de Fátima
Universidade Federal Fluminense, Brasil

Weyber Rodrigues de Souza
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

Wilder Kleber Fernandes de Santana
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

PARECER E REVISÃO POR PARES

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Pimenta Cultural, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.



Direção editorial	Patricia Biegging Raul Inácio Busarello
Diretor de sistemas	Marcelo Eyng
Editora executiva	Patricia Biegging
Assistente editorial	Landressa Schiefelbein
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Ligia Andrade Machado
Editoração eletrônica	Peter Valmorbida
Imagens da capa	FelixMittermeier - Pixabay
Revisão	Tascieli Feltrin
Coordenador	Renelson Ribeiro Sampaio
Organizador	Thiago Barros Murari Aloísio Santos Nascimento Filho Hernane Borges de Barros Pereira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C758 Construção do conhecimento em organizações na perspectiva da modelagem de processos industriais e sistemas complexos. Thiago Barros Murari, Aloísio Santos Nascimento Filho, Hernane Borges de Barros Pereira - organizadores. Renelson Ribeiro Sampaio - Coordenador. Série Compartilhando Saberes. Volume 3. São Paulo: Pimenta Cultural, 2021. 313p..

Inclui bibliografia.

ISBN: 978-65-5939-171-4 (brochura)
978-65-5939-170-7 (eBook)

1. Construção do conhecimento. 2. Indústria. 3. Sistemas complexos. 4. Processos. 5. Metodologia. I. Murari, Thiago Barros. II. Nascimento Filho, Aloísio Santos. III. Pereira, Hernane Borges de Barros. IV. Título.

CDU: 65.01
CDD: 650

DOI: 10.31560/pimentacultural/2021.707

AGRADECIMENTOS

Oito anos depois do lançamento do primeiro volume, o projeto para lançar o Volume II, depois de algumas tentativas frustradas, foi efetivamente retomado. Mais do que isso, estamos lançando simultaneamente o Volume III. Este resultado é fruto de um trabalho profissional e competente dos Professores Thiago B. Murari, Aloísio S. Nascimento Filho e Hernane Pereira (Editor), com os quais tive a satisfação de compartilhar a Coordenação da organização e produção dos dois volumes.

Agradecemos também aos Professores Renato Garcia, Coordenador de Pesquisa do Instituto de Economia da Unicamp, ao Professor Roberto Pacheco Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelas apresentações escritas respectivamente para o Volume II e Volume III.

A publicação do Volume I em 2013, e dos Volumes II e III em 2021 que estão sendo lançados nesta data, da Série Compartilhando Saberes, é o resultado de 11 anos e meio de intenso trabalho, perseverança e determinação. Neste contexto, a criação do Grupo de Pesquisa **Oficina do Saber** foi e tem sido o polo central, de todo este esforço, atraindo pesquisadores, mestrandos e doutorandos, alunos de iniciação científica. Por este motivo os agradecimentos iniciais necessariamente devem ser dirigidos a todos que participaram e participam dessa história. É fruto de um trabalho coletivo.

Em 2009, logo após a criação dos Programas de Pós-graduação em Gestão e Tecnologia Industrial (GETEC), e de Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (MCTI), foi criado o Grupo de Pesquisa **Oficina do Saber**, formado por estudantes de mestrado de ambos os programas sob minha orientação. Desde a sua criação buscamos desenvolver uma cultura baseada em três princípios que

consideramos fundamentais: (1) compartilhar a mesma visão da prática da atividade científica, buscando cooperar mutuamente, aprender a construir uma unidade e ao mesmo tempo fortalecer a diversidade. (2) O compromisso da unidade na explosão da diversidade. Aprender a respeitar as diferenças e ao mesmo tempo saber que todos estão comprometidos com uma mesma visão e que compartilham os mesmos valores e princípios. (3) Seguir as atividades de pesquisa com base nos princípios éticos que orientam a boa atividade acadêmica.

Ao longo do tempo, o Grupo Oficina do Saber foi se consolidando, incorporando em 2011 alunos de Doutorado do Programa MCTI e do Programa Doutorado Multidisciplinar e Multiinstitucional de Difusão do Conhecimento, DMMDC, programa que tem a participação de 5 instituições: Universidade Federal da Bahia (UFBA), Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Universidade de Feira de Santana (UEFS), Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC) e Centro Universitário SENAI CIMATEC. Ao todo quatro alunos do Programa DMMDC vieram trabalhar no grupo de pesquisa da Oficina do Saber. A partir de 2016, alunos de doutorado do Programa GETEC, que requereram trabalhar sob minha orientação, passaram também a integrar o grupo. Desde então até a presente data, 16 alunos de doutorado, oriundos dos três programas, concluíram seus estudos e foram diplomados após defenderem suas teses. Também neste mesmo período, 25 mestrandos concluíram seus estudos e receberam diplomas após a defesa das suas dissertações.

Atualmente 11 doutorandos 02 mestrandos estão cursando nos programas MCTI (04), GETEC (09) e 3 alunos de Iniciação Científica. Além destes, ampliando a participação de professores e alunos de outras instituições, temos a grata satisfação de registrar 2 doutorandos da Escola de Administração da UFBA, sob a orientação da Professora Doutora Monica Mac-Allister, e 2 doutorandos sob a orientação do Professor Doutor Cristiano Vasconcelos, da Universidade Federal de



Santa Catarina (UFSC). Além destes, é importante destacar a participação dos Professores Lucas Travassos e Cristiano Vasconcelos, que vêm atuando como coorientador de alunos de doutorado do GETEC.

Estes resultados foram alcançados, em primeiro lugar, graças aos próprios alunos, cujo esforço, dedicação e competências permitiram que alcançassem com sucesso suas respectivas metas. Aos professores que atuaram como coorientadores, contribuindo de forma incisiva na obtenção de resultados de qualidade. Naturalmente, a todos os professores que ministraram disciplinas nos respectivos programas, capacitando os mestrandos e doutorandos.

Agradecemos a todos os autores que contribuíram com os trabalhos que compõe os capítulos dos volumes II e III, assim como os revisores convidados, Marcelo A. Moret (Senai Cimatec) e Cristiano V. Ferreira (Universidade Federal de Santa Catarina). Também agradecemos ao Jalan Meneses, Executivo Comercial, e a equipe da Doity que gentilmente cederam acesso ao sistema de submissão de trabalhos científicos na sua plataforma (<https://doity.com.br/>).

Por fim, nosso especial agradecimento ao Centro Universitário SENAI CIMATEC, na pessoa do Reitor Professor Doutor Leone Peter Andrade, por todo apoio que temos recebido desde o lançamento do Volume I em 2013. Ao Professor Doutor Jailson Bittencourt de Andrade, Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação e aos Coordenadores dos Programas de Pós-Graduação em Gestão e Tecnologia Industrial (GETEC), Professora Doutora Josiane Dantas Viana e a Professora Doutora Ingrid Winkler, e o programa de Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial (MCTI), Professor Doutor Alex Álisson Bandeira Santos.

Professor Doutor Renelson Ribeiro Sampaio

SUMÁRIO

Apresentação

**Construção do conhecimento
em organizações na perspectiva
da modelagem de processos
industriais e sistemas complexos..... 16**

Renato Garcia

Capítulo 1

**A paridade real das taxas de juro
nos países do G7: uma nova abordagem
utilizando regressões fractais 21**

Paulo Jorge Silveira Ferreira

Derick David Quintino

Capítulo 2

**Criação de conhecimento
em desenvolvimento de produtos
para as novas habilidades da indústria 4.0:
um estudo de caso na indústria automotiva 47**

Roberto C. Costa

Flávio Fabrício V. M. Ferreira

Milton C. Soares

Aloísio S. Nascimento Filho

Marcelo A. Moret

Thiago B. Murari

Capítulo 3

**Modelagem multicritério
no processo decisório de linha
de crédito no Banco do Brasil 78**

Bruno Oliveira Cardoso

Hugo Saba

José Vicente Cardoso Santos

Renelson Ribeiro Sampaio

Capítulo 4

**Avaliação do ciclo de vida de um veículo
elétrico simplificado à bateria 112**

Thaise Campos Alves

Xisto Lucas Travassos

Paulo Soares Figueiredo

Cristiano Vasconcellos Ferreira

Capítulo 5

**Um modelo de apoio para tomadas
de decisões estratégicas em instituições
de ciência, tecnologia e inovação
utilizando a metodologia ANP 138**

Bruno Leonardo Santos Menezes

Renelson Ribeiro Sampaio

Valter de Senna

Marcio Nakayama Miura

Capítulo 6

**Equações não lineares de Fokker-Planck:
aplicações a sistemas complexos 170**

Antonio César do Prado Rosa Junior

Marcelo A. Moret



Capítulo 7

**Método de tomada de decisão
visando produtos sustentáveis 194**

*André Souza Oliveira
Renelson Ribeiro Sampaio
Cristiano Vasconcellos Ferreira
Enrique López Droguett
Rodrigo Santiago Coelho
Luiz Miguel Sergani Costa
Paulo Henrique Ferreira*

Capítulo 8

**Próteses de membro superior e mão
desenvolvidas com manufatura aditiva:
avaliação, fabricação
e habilitação/reabilitação 222**

*Menilde Araújo Silva Bião
Lucas Santos Reis
Jamilton Alves Dias
Paula Hortência dos Santos Magalhães
Leandro Brito Santos
Roberto Luiz Monteiro*

Capítulo 9

**Construção do Modelo Evolutivo
de Relações Simbióticas para a Inovação
(MERSI): desafios e oportunidades 244**

*Flavio de Souza Marinho
Renelson Ribeiro Sampaio
Roberto Luiz Souza Monteiro*



Capítulo 10

**Identificação de temáticas em programas
de mestrado em matemática:**

uma abordagem por ilhas de redes..... 273

Marcos Grilo

Inácio de Sousa Fadigas

Trazíbulo Henrique Pardo Casas

Hernane Borges de Barros Pereira

Sobre os autores e autoras..... 299

Índice remissivo..... 311





Apresentação

Série Compartilhando
Saberes – volume 3

Renato Garcia

**CONSTRUÇÃO DO CONHECIMENTO
EM ORGANIZAÇÕES
NA PERSPECTIVA DA MODELAGEM
DE PROCESSOS INDUSTRIAIS
E SISTEMAS COMPLEXOS**

É com muito orgulho que venho apresentar o terceiro volume da Série “Compartilhando Saberes”, publicação organizada pelos professores Renelson Sampaio, Thiago Murari, Aloísio Nascimento Filho e Hernane Pereira. Este volume traz um conjunto de artigos com resultados de pesquisa realizados pelos grupos de pesquisa do SENAI CIMATEC, em torno do tema geral “Construção do Conhecimento em Organizações na Perspectiva da Modelagem de Processos Industriais e Sistemas Complexos”. Estes resultados de pesquisa estão associados sobretudo à experiência inovadora do SENAI CIMATEC dos cursos de pós-graduação *strictu sensu*, nível mestrado e doutorado, nas áreas de “Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial” e “Gestão e Tecnologia Industrial”. Desde sua criação em 2002, o SENAI CIMATEC vem se consolidando como um importante polo formador de mão de obra qualificada para a indústria brasileira, com fortes efeitos sobre a economia e o desenvolvimento regional. Além disso, por meio de seus projetos de pesquisa, o SENAI CIMATEC também é um importante centro de geração e difusão de novos conhecimentos aplicados.

Este volume da Série Compartilhando Saberes se dedica ao tema da modelagem de sistemas complexos aplicados aos processos industriais. O uso dos pressupostos da modelagem de sistemas complexos em processos industriais representa uma importante metodologia para a análise e a compreensão de problemas reais na esfera industrial. O uso dessa metodologia, principalmente se combinada com a modelagem computacional, permite a definição de uma linguagem e de um ambiente de mediação para o desenvolvimento de simulações aplicada ao mundo real, em uma perspectiva eminentemente interdisciplinar. Deve-se destacar que são inúmeras as oportunidades de aplicações da modelagem de sistemas complexos a problemas industriais, o que proporciona a oportunidade de melhor compreensão de fenômenos relacionados aos problemas de processos de manufatura e das operações produtivas de uma forma geral. Além disso, essas aplicações da modelagem de

sistemas complexos permitem também a realização de propostas de melhorias nesses processos industriais, colaborando com a indústria na melhoria de seus processos, no aumento da produtividade e no incremento da competitividade empresarial. Diversos artigos apresentados neste volume se alinham a esta perspectiva.

Além das aplicações da modelagem de sistemas complexos em problemas industriais, há outras diversas possibilidades de aplicação dessa metodologia a problemas reais. Um exemplo é a área de políticas públicas, em que a modelagem de sistemas complexos permite estabelecer metodologias de avaliação de políticas públicas e, dessa forma, contribuir para a melhoria dos instrumentos e das formas de intervenção das políticas públicas. Outro exemplo são as aplicações na indústria de serviços, em que também se verificam amplas possibilidades de identificação de melhorias nos processos de prestação de serviços. Este volume traz alguns artigos que tratam da aplicação da modelagem de sistemas complexos também para políticas públicas e para a indústria de serviços.

Na ordem de apresentação, o primeiro artigo deste volume é intitulado “A paridade real das taxas de juro nos países do G7: uma nova abordagem utilizando regressões fractais” e utiliza uma metodologia inovadora, baseada em regressões fractais, para analisar a paridade real das taxas de juros dos países do G7. O segundo artigo, intitulado “Criação de conhecimento em desenvolvimento de produtos para as novas habilidades da indústria 4.0: um estudo de caso na indústria automotiva”, trata da análise das transformações impostas pelas tecnologias da indústria 4.0 em um ambiente de trabalho em uma empresa do ramo automotivo. O terceiro artigo é intitulado “Modelagem multicritério no processo decisório de linha de crédito no Banco do Brasil”, em que é realizada a aplicação da metodologia MCDA (Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão) aos processos de decisão de concessão de linhas de crédito no Banco do

Brasil. Já o quarto artigo, intitulado “Avaliação do ciclo de vida de um veículo elétrico simplificado à bateria”, traz consigo uma preocupação que tem sido crescentemente incorporada aos processos produtivos nos últimos anos, que é a preocupação ambiental, por meio da avaliação quantitativa do grau de melhoria ambiental a partir do uso de veículos elétricos. O quinto artigo, intitulado “Um modelo de apoio para tomadas de decisões estratégicas em instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação utilizando a metodologia ANP”, faz a aplicação da metodologia multicritério ANP (*Analytic Network Process*) em uma instituição de ensino e pesquisa, partindo do suposto que essas instituições possuem papel crucial no sistema nacional de inovação.

O sexto artigo que compõe este volume é intitulado “Equações não lineares de Fokker-Planck: aplicações a sistemas complexos”, e faz uma discussão conceitual e algumas aplicações das equações não lineares de Fokker-Planck. Em seguida, o sétimo artigo, intitulado “Método de tomada de decisão visando produtos sustentáveis”, também se alinha com a crescente preocupação do sistema produtivo, e de toda sociedade, com o problema ambiental, por meio da aplicação de ferramentas de apoio à decisão empresarial em relação à adoção de produtos mais sustentáveis. O oitavo artigo é intitulado “Próteses de membro superior e mão desenvolvidas com manufatura aditiva: avaliação, fabricação e habilitação/reabilitação”, que apresenta uma muito interessante aplicação de modelagem computacional ao protocolo de habilitação para usuários de próteses de membro superior e mão. O nono artigo, intitulado “Construção do modelo evolutivo de relações simbióticas para a inovação: desafios e oportunidades”, é voltado para a área de gestão da inovação e apresenta uma metodologia de identificação de ativos complementares estratégicos em programas de inovação aberta que envolvem corporações estabelecidas e empresas startups. O décimo e último artigo deste volume é intitulado “Identificação de temáticas em programas de mestrado em matemática: uma abordagem por ilhas de

redes” e é voltado para a identificação, por meio da metodologia de ilhas de redes, das temáticas mais relevantes nos programas de pós-graduação em matemática no Brasil.

Todos os trabalhos possuem forte preocupação com a aplicação dos conhecimentos gerados pelos projetos de pesquisa a aplicações práticas, em especial em processos produtivos industriais. Portanto, este terceiro volume da Série Compartilhando Saberes cumpre o seu papel de apresentar, para toda a sociedade, um panorama da criação e da difusão de novos conhecimentos gerados pelos projetos de pesquisa do SENAI CIMATEC. Certamente, os resultados aqui apresentados representam importantes passos para a construção de uma agenda de inovação no Brasil mais consistente e duradoura.

Boa leitura!



*Paulo Jorge Silveira Ferreira
Derick David Quintino*

**A PARIDADE REAL DAS TAXAS
DE JURO NOS PAÍSES DO G7:
UMA NOVA ABORDAGEM
UTILIZANDO
REGRESSÕES FRACTAIS**

DOI: 10.31560/pimentacultural/2021.707.21-46



RESUMO:

Neste capítulo analisamos a paridade real das taxas de juro, para o conjunto dos países do G7, utilizando regressões fractais. Esta paridade permite analisar a existência de mobilidade de capital entre os países mas também verificar se os ativos desses países podem ser considerados como substituíveis entre si. Por outro lado, a utilização das regressões fractais traz a vantagem de poder estimar relações entre variáveis, mesmo que estas sejam não estacionárias, além de permitir a análise para diferentes escalas de tempo. Os resultados mostram que o Canadá é o país que apresenta maior aproximação da verificação da paridade em relação aos EUA, enquanto o Japão apresenta o maior distanciamento. A existência de não integração dos mercados de bens, mesmo que os mercados financeiros estejam integrados, pode ser um dos motivos para estes resultados, assim como a diferente incidência fiscal nos países em análise.

PALAVRAS-CHAVE: Integração; Paridade Real das Taxas de Juro; Regressões Fractais.

INTRODUÇÃO

A paridade real das taxas de juro é uma hipótese, suportada pelo conceito de arbitragem, que identifica que um determinado investidor é indiferente às taxas de juro reais que são praticadas em dois países diferentes. De acordo com esta paridade, as taxas de juro real tenderão a igualar-se, e se esta situação não se verificar, podem existir oportunidades de obtenção de lucro por parte dos investidores através de operações de arbitragem, sem risco. Uma das premissas da paridade real é a perfeita mobilidade de capital entre os países em causa, assim como a perfeita substituíbilidade dos ativos considerados entre ambos os países, o que significa que o risco desses ativos deve ser igual.

Num mercado financeiro cada vez mais integrado, onde os fluxos de capital têm uma relativa liberdade de movimentação, pelo menos se considerarmos os países mais desenvolvidos, é possível utilizar a paridade real das taxas de juro para analisar se efetivamente os investidores consideram os ativos como substitutos. Isto porque podem existir diferentes fatores que impeçam a plena integração do mercado, tais como a possibilidade de reinserção de controlos de capitais que não existam, a existência de assimetria de informação, a existência de custos de transação ou até a existência de diferente tratamento fiscal dos rendimentos entre países, que de certo modo não significam a não existência de mobilidade, mas sim a consideração de que os ativos possam não ser considerados como substitutos diretos.

As questões da mobilidade de capital, em particular, e da integração financeira em geral acabam por serem aspectos bastante relevantes para os diferentes agentes nos diferentes países. Por um lado, a integração financeira conduz a um conjunto de benefícios tais como a melhoria dos níveis de poupança, redução dos custos de intermediação financeira, melhoria dos níveis de rentabilidade e até redução do risco por efeitos de diversificação, que conduzirão a um

efeito mais global de melhoria da performance econômica dos agentes e dos países envolvidos (ver, por exemplo, os trabalhos de OBSTFELD, 1994; KEARNEY, LUCEY, 2004 ou BEKAERT, HARVEY, LUNDBLAD, 2005 para identificar impactos positivos da integração financeira). No fundo, o processo global de integração financeira poderá conduzir a um aumento do nível de eficiência dos mercados financeiros, mas que levanta também desafios, nomeadamente o incremento dos fluxos financeiros que poderá conduzir, por exemplo, ao aumento da exposição dos agentes face ao risco, mas também a efeitos de contágio mais rápidos (ver, por exemplo, BEINE, COSMA, VERMEULEN, 2010). Por outro lado, uma das consequências da verificação da paridade real é que, face à existência de mobilidade de capital e à igualização das rentabilidades, as autoridades de política monetária ficam com uma capacidade de ação limitada uma vez que as suas políticas podem ser contrariadas pela atuação dos investidores (FRASER; TAYLOR, 1990).

É possível identificar na literatura um conjunto alargado de trabalhos que analisam a paridade real das taxas de juro e que serão descritos na próxima secção. No entanto, este trabalho posiciona-se de forma diferente na medida em que permite acrescentar à literatura dois elementos que consideramos relevantes: em primeiro lugar porque, apesar de voltar a analisar os G7, considera a normal extensão da amostra, uma vez que utilizamos a totalidade dos dados disponíveis à data da recolha da informação; em segundo lugar, e mais importante, porque utiliza uma metodologia relativamente inovadora, analisando a paridade real das taxas de juro à luz da utilização de regressões fractais. Este é o elemento distintivo deste trabalho uma vez que esta metodologia permite fazer a análise de regressão mesmo num contexto de não estacionaridade de variáveis (o que geralmente acontece com as taxas de juro) além de que a metodologia abordada permite uma análise para diferentes escalas de tempo, permitindo a distinção entre o comportamento da paridade real a curto ou a longo prazo.

Os principais resultados deste capítulo apontam para uma maior proximidade da relação da paridade real entre EUA e Canadá, ainda que aparentemente não seja total, com um maior distanciamento entre os EUA e o Japão.

O resto do capítulo está organizado do seguinte modo: a Seção 2 apresenta o enquadramento teórico e uma revisão da literatura sobre a paridade real das taxas de juro; a Seção 3 apresenta a metodologia utilizada neste trabalho; a Seção 4 apresenta os resultados e a respetiva discussão do mesmo; a Seção 5 conclui.

ENQUADRAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA

Tal como referido anteriormente, a paridade real das taxas de juro é uma hipótese que identifica que, através do conceito de arbitragem, e num contexto de mobilidade de capital, que as taxas de juro reais se tendem a igualar. Quando aplicada aos mercados financeiros, a paridade real das taxas de juro, pode ser entendida como uma medida de integração financeira, a par das outras duas condições de paridade: coberta e descoberta. A paridade coberta, entendida como critério puro de mobilidade financeira (Lemmen, 1996), sustenta que dois ativos semelhantes em aspetos como maturidade ou risco, diferindo apenas na moeda em que são denominados, face à existência de mobilidade de capital tendem a ter rentabilidades, desde que exista um mecanismo para cobertura do risco cambial (FRANKEL, 1992; 1993). Por seu turno, a paridade descoberta das taxas de juro é um indicador de substituíbilidade dos ativos (VIEIRA, 2000) e ao invés de considerar um mecanismo que cobre o risco cambial, indica que as rentabilidades de dois ativos denominados em moedas diferentes se equivalem pela alteração nas expectativas das taxas de câmbio.

Comparada com as paridades coberta e descoberta, a paridade real das taxas de juro é a mais exigente em termos de pressupostos, implicando que dois ativos comparáveis vão gerar iguais níveis de rentabilidade real, independentemente do local de denominação do ativo. Definindo a taxa de juro real como

$$r_{t+1}^e = i_t - \Delta p_{t+1}^e \quad (1)$$

sendo i_t a taxa de juro nominal no momento t , r_{t+1}^e a taxa de juro real esperada de um dado ativo e Δp_{t+1}^e a taxa de inflação esperada desde o momento da aquisição até a maturidade do ativo. De acordo com a paridade real das taxas de juro, que indica que as taxas de juro reais são iguais, então é possível escrever

$$r_{t+1}^e = r_{t+1}^{e*} \Leftrightarrow i_t - i_t^* = \Delta p_{t+1}^e - \Delta p_{t+1}^{e*} \quad (2)$$

referindo-se o símbolo * às variáveis estrangeiras.

Um possível problema da paridade real é o fato de a mesma ser expressa de uma forma *ex-ante* necessitando por isso, para ser estudada, da utilização de uma variável não observável: a expectativa para a taxa de inflação. Neste sentido, habitualmente assume-se que os investidores apresentam expectativas racionais, ou seja, os agentes utilizam de fora racional toda a informação disponível, pelo que as previsões que fazem não apresentam erros sistemáticos, isto é, a média dos erros de previsão é nula. Formalmente tem-se que

$$E(S_{t+1}) - S_{t+1} = \varepsilon_t \text{ e } E(\varepsilon_{t+1} | I_t) = 0 \quad (3)$$

sendo E o operador das expectativas e I um vetor representativo da informação disponível.

Apesar de ser possível utilizar as taxas de inflação esperadas a partir das propriedades das taxas de juro reais *ex-post* (proposto, por exemplo, por CAVAGLIA, 1992), a partir da estrutura das taxas de juro

(proposto por AL-AWAD, GOODWIN, 1998) ou através de projeções a partir das taxas *ex-ante* (como proposto por CUMBY, MISHKIN, 1986), neste capítulo utilizaremos aquela que é a abordagem mais habitual e que resulta exatamente a aplicação das expectativas racionais descritas na Equação (3), o que torna possível estudar a paridade *ex-post* a partir da informação disponível para as taxas de inflação atuais.

Além da decisão sobre a abordagem a utilizar relativamente à questão anterior, é também necessário escolher o tipo de índice de preços a utilizar. Geralmente a escolha recai sobre o Índice de Preços ao Consumidor (IPC), pela sua homogeneidade entre os países, ainda que eventualmente um índice de preços por grosso fosse mais adequado por não incluir bens não transacionais (ver, por exemplo: MISHKIN, 1984; DUTTON, 1993). No entanto, face à inexistência de índices de preços deste tipo para todos os países para os quais nos propomos fazer a análise, utilizamos para o efeito a taxa de inflação relativa ao IPC.

De acordo com Frankel e MacArthur (1988), o diferencial das taxas de juro reais entre países pode ser subdividido em três fatores: risco específico do país, risco cambial e variação esperada da taxa de câmbio. Deste modo faz-se a ligação entre o mercado financeiro e a economia real, o que permite chegar à conclusão que a segmentação dos mercados reais pode implicar a existência de desvios nesta paridade mesmo que mercados estejam integrados financeiramente.

Considerando os elementos anteriores, o diferencial das taxas de juro reais entre dois países pode ser descrito como

$$r^{e*} - r^e = [i^* - (i + \Delta s^e)] - [\Delta p^{e*} - (\Delta p^e + \Delta s^e)] \quad (4)$$

em que s diz respeito à taxa de câmbio (com as restantes variáveis já identificadas anteriormente).

Os testes da paridade real podem ser feitos a partir da análise dos desvios (por exemplo, com testes de estacionaridade) mas

também a partir da análise de regressões, em particular a regressão que utilizamos neste trabalho é que é dada por

$$r_{t+1} = \alpha + \beta r_{t+1}^* + \varepsilon_{t+1} \quad (5)$$

sendo que o que é relevante é o teste às hipóteses de $\hat{\alpha} = 0$ e $\hat{\beta} = 1$

Tal como referido anteriormente, é possível encontrar um número alargado de trabalhos a analisar a paridade real das taxas de juro.

Com dados mensais dos euromercados, Mishkin (1984) analisa a paridade para EUA, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Holanda e Suíça, rejeitando a verificação da paridade. Os autores não concluem necessariamente a favor do aproveitamento de oportunidades de lucro não exploradas, avançando que a existência de custos de transação pode justificar os desvios sem que seja invalidada a paridade em si. Com base numa análise de regressão, e utilizando o método dos mínimos quadrados, Cumby e Mishkin (1986) encontram alguma relação das taxas de juro reais entre o dólar e outras 7 moedas, com dados mensais entre 1973 e 1983. Contudo, a relação não é exatamente aquela que é proposta pela paridade real, avançando com a possível pouca flexibilidade dos preços como possível causa. Com a mesma metodologia, Gaab, Granzio, e Horner (1986) também não encontraram evidência a favor da paridade real, analisando uma amostra de 1975 a 1984 para as moedas americana, alemã, britânica, francesa e suíça. Fraser e Taylor (1990) apresentam um modelo VAR com dados mensais entre 1979 e 1986, para o Reino Unido, EUA, Alemanha, Japão, Itália, França e Holanda e também não rejeitam a paridade real, concluindo a favor da evidência de algum grau de liberdade para os decisores políticos tomarem medidas de política monetária. Utilizando o filtro de Kalman para uma análise entre 1973 e 1987, para os EUA, Alemanha, Suíça e Holanda, Cavaglia (1992) conclui que a maior parte dos choques desaparecem em 12 meses, evidenciando níveis de mobilidade internacional e de convergência das

taxas de juro reais. A partir de uma análise de componentes principais, para uma amostra entre 1979 e 1989 e com dados para o Reino Unido, Bélgica, França, Alemanha, Irlanda, Itália e Holanda, Koedijk e Kool (1992) identificam desvios persistentes, o que implica falta de evidência de verificação da paridade real. Marston (1997) testa os diferenciais da paridade real para Reino Unido, França, Japão, Alemanha e EUA e encontra desvios sistemáticos da paridade real.

Com o desenvolvimento das metodologias econométricas na década de 1990, foi natural o surgimento de diversos estudos que recorriam à análise de cointegração. Por exemplo, Throop, (1994) não encontra evidência de cointegração nas taxas de juro reais em cinco grandes economias, entre 1981 e 1993. Goodwin e Grennes (1994) encontram evidência a favor da forma fraca da paridade (cointegração sem que os parâmetros estimados tenham o valor teoricamente esperado), suportando-se nos custos de transação para argumentar que a paridade não se verifica integralmente, mas também defende que não existem oportunidades de arbitragem. Monadjemi (1997), analisando dados de Austrália, Holanda, Reino Unido, Alemanha e EUA encontram evidência de cointegração para as taxas de juro reais. Numa análise aos diferenciais da paridade em países da União Europeia, Lemmen (1996) também não encontra evidência de verificação da paridade, ainda que os dados identificassem uma redução dos diferenciais ao longo do tempo, coerente com o avançar do processo de integração econômica naquela zona econômica. Com a aplicação do filtro de Kalman, Hall, Robertson, e Wickens (1997) encontram ausência de convergência das taxas de juro reais entre 1972 a 1992, numa análise para países da União Europeia e para o Japão. Fountas e Wu (1999) também não encontram evidência de cointegração nas taxas reais, neste caso para 7 países da UE, entre 1979 e 1993.

O estudo de Alexakis *et al.* (1997), que aplicou cointegração bivariada e multivariada, é um dos poucos que apresenta algum

nível de evidência a favor da paridade, num trabalho que utilizava dados de Alemanha, França, Holanda, Itália, Bélgica, EUA, Japão, Canadá e Suíça, entre 1982 e 1993. Os autores identificam a redução da volatilidade cambial, a redução dos custos de informação e das restrições aos fluxos de capitais e o desenvolvimento de novos instrumentos financeiros como argumentos que permitem identificar resultados diferentes da generalidade dos restantes trabalhos empíricos. Também Al-Awad e Goodwin (1998) encontram evidência de cointegração no G-10, ainda que as taxas não se igualem, o que implica que a política monetária perde influência na taxa de juro real o que acaba por ser uma limitação à capacidade de estabilização da economia. Ainda no âmbito dos estudos que mostram evidência a favor da paridade real, Centeno e Mello (1999), através de uma análise de cointegração, analisam vários países da UE entre 1985 e 1994, e identificam que o nível de convergência encontrado se pode dever às políticas comuns desenvolvidas pelos países.

Através da análise da estacionaridade dos desvios da paridade, Wu e Chen (1998), com dados entre 1979 e 1996, encontram evidência de convergência para Canadá, Japão, França, Itália, Holanda, Suíça e Reino Unido em relação à Alemanha e aos EUA. Com um conjunto de países semelhante e com a mesma metodologia, estendendo a análise por mais dois anos, Holmes (2002) encontra evidência de convergência e de paridade na UE mas falhando nos países exteriores à comunidade, concluindo que o processo de integração europeia terá conduzido a estes resultados. Analisando também os diferenciais reais para Canadá, França, Alemanha, Japão, Reino Unido e EUA, com uma amostra mais alargada Goldberg *et al.* (2002), encontram evidência a favor da verificação de convergência das taxas de juro reais.

Para análise à paridade, Al-Awad e Grennes (2002) permitem a variação numa banda de custos de transação, para 10 países da OCDE, com dados entre 1985 e 1996. Apesar da rejeição da

igualdade das taxas de juro reais, os autores assumem que o mesmo pode dever-se aos custos de transação, concluindo ainda que os mesmos decresceram ao longo do tempo.

Recorrendo a modelos não lineares, Mancuso, Goodwin e Grennes (2003) testam a paridade para os EUA, Canadá, Alemanha, Japão, Suíça e Reino Unido entre 1989 e 2001, encontrando evidência na relação entre EUA, Canadá e Reino Unido mas pouca relação nos restantes casos. Também Holmes e Maghrebi (2004) utilizam métodos não lineares para analisar a paridade real em economias do Sudeste Asiático e encontram não linearidades nos diferenciais.

Os estudos mais recentes acabam por, via de regra, mostrar maior evidência a favor da verificação da paridade real nas economias desenvolvidas, e com várias metodologias. Com testes de raiz unitária, Ferreira e León-Ledesma (2007), analisam a paridade em países emergentes e desenvolvidos e apesar de algumas diferenças entre estes tipos de países, os diferenciais apresentam características de reversão à média, o que pode ser considerado como evidência favorável da paridade. Sekioua (2008) estudou a persistência do diferencial de taxas de juros reais, através de testes de estacionaridade, para EUA, Reino Unido, França e Japão entre 1923 a 2006 e apresentam suporte a favor da paridade. Também Dreger (2010) utiliza uma amostra longa e neste caso um conjunto alargado de 15 países encontra evidência a favor da verificação da paridade a longo prazo, mesmo considerando diferentes regimes cambiais. Shi, Li e Alexiadis (2012) realizaram o teste em 6 países desenvolvidos (Canadá, França, Japão, Itália, Singapura e Reino Unido) entre 1980 e 2009 e também encontram evidência de verificação da paridade para a maior parte desses países. Boamah (2017) analisa a paridade para a UE, NAFTA, China e Coreia do Sul, entre 1975 e 2016, e encontram diferenciais que são estacionários.

Recorrendo a testes de raiz unitária, mas em dados de painel, Baharumshah *et al.* (2011) analisam a paridade em países do sudeste

asiático e encontram evidência a favor da verificação da paridade. Albuлесcu, Pépin e Tiwari (2015) utilizam o mesmo tipo de metodologia para Europa Central e do Leste, entre 2000 a 2012, e encontram evidência a favor da paridade em relação à zona euro. Camarero, Carrion-I-Silvestre e Tamarit (2009) utilizam o mesmo teste para países da OCDE entre 1978 e 2006 mas neste caso rejeitando a paridade em vários países.

Em resumo, é possível concluir que a evidência a favor da paridade real é mista, ainda que seja mais evidente em estudos mais recentes, além de que vários autores identificam a redução dos diferenciais ao longo do tempo, o que mostra algum tipo de convergência nas taxas de juro reais.

METODOLOGIA E DADOS

Tal como referido anteriormente, o objetivo deste capítulo é o de estimar a paridade real das taxas de juro utilizando regressões fractais, que permitem a estimação de regressões mesmo tendo variáveis não estacionárias, além de permitir a análise em diferentes escalas de tempo.

As metodologias de base das regressões fractais são a Detrended Fluctuation Analysis (DFA) e a Detrended Moving Average Analysis (DMA), normalmente utilizadas para estudar a existência de autocorrelações em séries individuais (PENG *et al.*, 1994; VANDEWALLE, AUSLOOS, 1998; ALESSIO *et al.* 2002). São estas metodologias que apresentam as propriedades que permitem a sua utilização em ambiente de regressão, nomeadamente a sua robustez face a não estacionaridade, existência de dependência temporal e, também, existência de caudas mais pesadas do que as presentes na distribuição normal, uma característica habitual em séries financeiras (WERON, 2002; BARUNIK, KRISTOUFEK, 2010). Enquanto a DFA e a DMA analisam o

comportamento de séries individuais, a Detrended Cross-Correlation Analysis (DCCA), proposta por Podobnik e Stanley (2008) e a Detrended Moving-Average Cross-Correlation Analysis (DMCA), proposta por Arianos e Carbone (2009) permitem analisar a relação entre duas variáveis. Com base nessas metodologias, Zebende (2011) e Kristoufek (2014a) criaram, respetivamente, coeficientes de correlação com base na DCCA e na DMCA, que se apresentam também como robustos face à existência de dependência de longo prazo (KRISTOUFEK, 2014b).

A partir da noção desses coeficientes de correlação, Kristoufek (2015; 2016) propôs a aplicação de metodologias de regressão baseadas nos pares DFA/DCCA e DMA/DMCA, de modo a estimar a regressão para diferentes escalas e que permitem a obtenção de estimativas mais precisas no caso de dependência ou não estacionaridade. A ideia de base em ambos os casos é a conexão entre o estimador dos mínimos quadrados e as funções de flutuação da DFA/DCCA e da DMA/DMCA. Uma vez que o estimador dos mínimos quadrados é uma fração entre a covariância e a variância, este raciocínio é também aplicado à covariância e variância específicas de uma determinada escala entre a DFA/DCCA e DMA/DMCA. Os estimadores dos parâmetros da regressão são descritos por

$$\hat{\beta}^{DFA}(s) = \frac{F_{XY,DCCA}^2(s)}{F_{X,DFA}^2(s)} \text{ e } \hat{\beta}^{DMA}(\lambda) = \frac{F_{XY,DMCA}^2(\lambda)}{F_{X,DMCA}^2(\lambda)} \quad (6)$$

sendo $F_{X,DFA}^2(s)$, $F_{XY,DCCA}^2(s)$, $F_{X,DMCA}^2(\lambda)$ e $F_{XY,DMCA}^2(\lambda)$ as funções de flutuação relativas à respetiva escala da DFA, DCCA, DMA e DMCA respetivamente. Deste modo, é possível obter a relação entre duas variáveis para uma determinada escala. É ainda possível utilizar esta metodologia para estimar um parâmetro global através da estimação dos parâmetros para diferentes escalas e calculando a respetiva média que, de acordo com Kristoufek (2015), apresenta resultados promissores.

Uma vez que o objetivo é testar se $\alpha = 0$ e $\beta = 1$, tanto de forma separada como em conjunto, é necessário ter estatísticas t e F apropriadas para os respectivos casos. Em primeiro lugar é necessário criar os erros padrão das estimativas que, mantendo a lógica dos mínimos quadrados, podem ser representados por:

$$s.e.(\hat{\alpha}^{DFA}(s)) = \frac{1}{[T/s]} \frac{\sum_{i=1}^T x_i^2}{T} \frac{F_{\hat{u},DFA}}{F_{X,DFA}} \quad e \quad s.e.(\hat{\beta}^{DFA}(s)) = \frac{1}{[T/s]} \frac{F_{\hat{u},DFA}}{F_{X,DFA}} \quad (7)$$

$$s.e.(\hat{\alpha}^{DMA}(s)) = \frac{1}{\lambda - 1} \frac{\sum_{i=1}^T x_i^2}{T - [\lambda/2] - \lambda + 1} \frac{F_{\hat{u},DMA}}{F_{X,DMA}} \quad e \quad s.e.(\hat{\beta}^{DMA}(\lambda)) = \frac{1}{\lambda - 1} \frac{F_{\hat{u},DMA}}{F_{X,DMA}} \quad (8)$$

sendo as expressões da Equação (7) referentes à DFA e da Equação (8) à DMA.

Com estes desvios-padrão é possível construir, segundo Kristoufek (2015; 2016), estatísticas t para testar a hipótese nula, em separado, para cada um dos parâmetros, sempre mantendo as suposições do procedimento utilizado nos mínimos quadrados. A principal diferença entre a DFA e a DMA é que no primeiro caso, durante o processo, se estima uma constante e uma tendência para cada janela de tamanho s , o que faz com que normalmente os erros-padrão da DFA sejam maiores e as estimativas menos precisas quando comparadas com a DMA. No entanto, a utilização de ambos os procedimentos fornece uma base mais sólida para os resultados.

Em todos os processos de regressão a inferência estatística é essencial, e para obter validade, de acordo com Kristoufek (2018), construímos uma distribuição estatística que depende da escala dos estimadores em reação à hipótese nula da dependência sem escala. Assim, foi estimada a Equação 5 também pelo método dos mínimos quadrados de forma a obter os respectivos parâmetros, assim como os resíduos da regressão. Utilizando a metodologia de Theiler *et al.* (1992),

os resíduos foram reconstruídos com o mesmo espectro que o original, utilizando as fases aleatórias dos coeficientes de Fourier e a própria distribuição empírica. Deste modo, os resíduos reconstruídos acabam por ter a mesma estrutura de autocorrelação que os resíduos originais e as propriedades da distribuição estatística, sendo utilizados em conjunto com os estimadores α e β para reconstrução da variável dependente, repetindo-se o procedimento 333. Estas repetições permitem identificar os valores críticos, que são dependentes da escala utilizada, para os quantis 2,5 e 97,5 de modo a obter o intervalo de confiança a 95% (ver o procedimento detalhado em KRISTOUFEK, 2018).

Em relação aos dados, para construção das taxas de juro reais é necessário obter as taxas de juro nominais e a taxa de inflação, para cada um dos países do G7 (Alemanha, Canadá, EUA, França, Itália, Japão e Reino Unido). No caso das taxas de juro foram recolhidos dados para as taxas de depósitos dos países a 1, 3, 6 e 12 meses, sendo que para a taxa de inflação a mesma foi calculada a partir do Índice de Preços no Consumidor que, de acordo com o que foi exposto anteriormente, apresenta maior nível de homogeneidade do que outros índices, além de ser um índice de disponibilidade generalizada. Todos os dados foram obtidos na base de dados Datastream, tendo sido recolhidos dados mensais, tendo a amostra um total de 501 observações para cada país, desde agosto de 1978 a abril de 2020. O início da amostra deveu-se à disponibilidade de dados. Todas as regressões foram estimadas em relação aos EUA, dada a sua importância no contexto econômico internacional, com escalas temporais de 4 a 124 dias. Os trabalhos de Kristoufek (2018) e Ferreira e Kristoufek (2017; 2020) e Kristoufek e Ferreira (2018) são exemplos da utilização de regressões fractais no âmbito da economia e das finanças.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estimação da paridade real das taxas de juro permite obter os parâmetros constantes das Figuras 1 e 2, respetivamente para as paridades de 1 e 12 meses. À esquerda estão representadas as estimativas da regressão do par DMA/DMCA e à direita o par DFA/DCCA, estando o parâmetro β_0 em cima e o parâmetro β_1 em baixo. Em cada uma das figuras, a linha horizontal a tracejado identifica o valor teórico da verificação da paridade.

Figura 1 - Estimação dos valores de β_0 (em cima) e β_1 (em baixo) para a paridade real das taxas de juro entre os EUA e cada um dos restantes países do G7, para a maturidade de 1 mês. À esquerda estão apresentadas as estimativas para a regressão com base na DMA/DMCA e à direita as da regressão com base a DFA/DCCA.

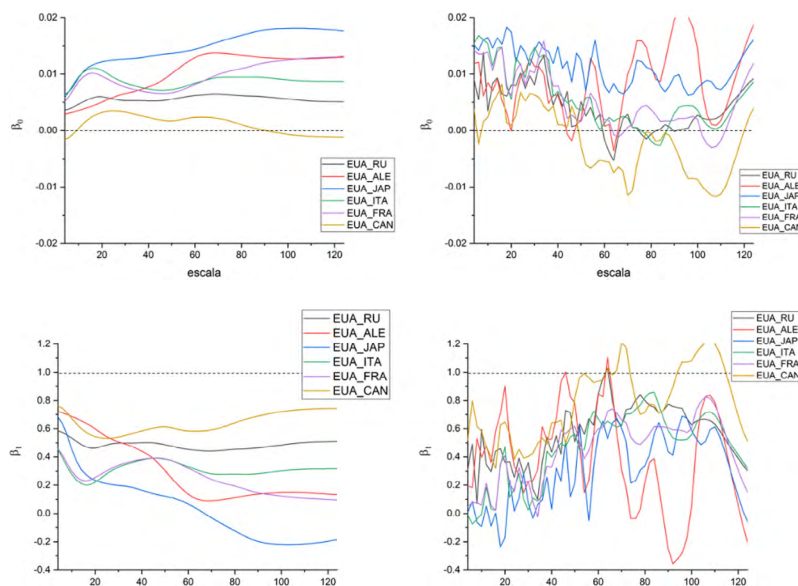
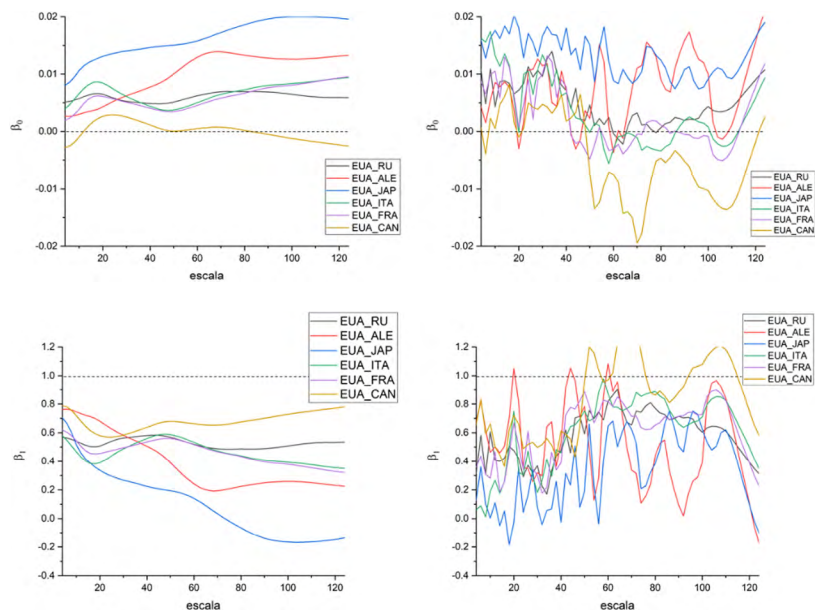


Figura 2 - Estimação dos valores de β_0 (em cima) e β_1 (em baixo) para a paridade real das taxas de juro entre os EUA e cada um dos restantes países do G7, para a maturidade de 12 meses. À esquerda estão apresentadas as estimativas para a regressão com base na DMA/DMCA e à direita as da regressão com base a DFA/DCCA.



Foram também estimados os resultados para as paridades de 3 e 6 meses, mas, com resultados que qualitativamente são semelhantes aos das restantes paridades. No entanto, por restrições de espaço, os mesmos não são mostrados, estando disponíveis se solicitados.

A partir das Figuras 1 e 2 é interessante observar algumas conclusões. Por um lado, aparentemente, o país com maior proximidade em relação aos parâmetros esperados é o Canadá. Este resultado não será propriamente uma surpresa, em virtude da proximidade geográfica mas também econômica entre os dois países. Por outro lado, o país onde parece haver maior distanciamento da verificação da paridade é

o Japão, ainda que no caso da Alemanha pareça que a longo prazo também há um maior afastamento dos parâmetros que suportam a paridade. Além disso, é possível também verificar claramente que as estimações provenientes da DMA/DMCA são muito mais estáveis que as da DFA/DCCA. Isto tem a ver com o facto de que a primeira metodologia utiliza médias móveis, o que faz com que as transições sejam mais suaves, tendo esta dicotomia já sido identificada nos estudos anteriores que aplicaram as regressões fractais.

Além da estimação dos parâmetros é relevante também a análise da significância estatística dos mesmos, sendo que as Tabelas 1 e 2 apresentam a significância estatística para algumas escalas e para as maturidades de 1 e 12 meses para a estimação da regressão pela DMA/DMCA (os resultados são qualitativamente semelhantes para as outras maturidades). Por questões de espaço não foi possível incluir as tabelas com todas as estimações, pelo que optamos por apresentar as estimativas desta opção, ao invés das estimações da regressão DFA/DCCA, também pelo facto de que aquelas são mais precisas (KRISTOUFEK, 2018). Todos os resultados serão disponibilizados se forem solicitadas.

Tabela 1 - Estimativa dos parâmetros para a paridade real das taxas de juro entre os EUA e cada um dos restantes países do G7, estimada pela regressão DMA/DMCA, para a maturidade de 1 mês. * denota significância do teste $\beta_0=0$ ou $\beta_1=1$ a um nível de significância de 5% e ** denota significância do teste $\beta_0=0$ ou $\beta_1=1$ a um nível de significância de 1%.

Escala	EUA-Reino Unido		EUA-Alemanha		EUA-Japão	
	β_0	β_1	β_0	β_1	β_0	β_1
4	0.004	0.584	0.003	0.722	0.006	0.681
20	0.006	0.463*	0.005	0.599	0.012	0.234*
40	0.005	0.501**	0.008	0.439*	0.013*	0.163**
60	0.006	0.453**	0.013*	0.137**	0.014**	0.068**
80	0.006	0.454**	0.013**	0.112**	0.017**	-0.123**
100	0.006	0.485**	0.013**	0.148**	0.018**	-0.219**
120	0.005	0.510**	0.013**	0.136**	0.018**	-0.196**
124	0.005	0.512**	0.013**	0.132**	0.018**	-0.182**

Escala	EUA-Itália		EUA-França		EUA-Canadá	
	β_0	β_1	β_0	β_1	β_0	β_1
4	0.006	0.453	0.005	0.459	-0.002	0.764
20	0.011	0.221**	0.010	0.255**	0.003	0.545*
40	0.007	0.377**	0.007	0.382**	0.002	0.584**
60	0.008	0.331**	0.008	0.321**	0.002	0.584**
80	0.009*	0.279**	0.011*	0.193**	0.001	0.641**
100	0.009*	0.303**	0.013**	0.123**	-0.001	0.721**
120	0.009*	0.317**	0.013**	0.099**	-0.001	0.744*
124	0.009*	0.318**	0.013**	0.095**	-0.001	0.744*

Tabela 2 - Estimativa dos parâmetros para a paridade real das taxas de juro entre os EUA e cada um dos restantes países do G7, estimada pela regressão DMA/DMCA, para a maturidade de 12 meses. * denota significância do teste $\beta_0=0$ ou $\beta_1=1$ a um nível de significância de 5% e ** denota significância do teste $\beta_0=0$ ou $\beta_1=1$ a um nível de significância de 1%.

Escala	EUA-Reino Unido		EUA-Alemanha		EUA-Japão	
	β_0	β_1	β_0	β_1	β_0	β_1
4	0.005	0.569	0.003	0.763	0.008	0.705
20	0.006	0.508**	0.004	0.681	0.013	0.336*
40	0.005	0.581**	0.008	0.505*	0.015*	0.224**
60	0.006	0.520**	0.013*	0.242**	0.016**	0.141**
80	0.007	0.487**	0.013**	0.224**	0.019**	-0.065**
100	0.006	0.508**	0.013**	0.259**	0.020**	-0.166**
120	0.006	0.533**	0.013**	0.232**	0.020**	-0.148**
124	0.006	0.534**	0.013**	0.225**	0.020**	-0.137**
Escala	EUA-Itália		EUA-França		EUA-Canadá	
	β_0	β_1	β_0	β_1	β_0	β_1
4	0.004	0.579	0.002	0.619	-0.003	0.790
20	0.008	0.390**	0.006	0.456*	0.003	0.580*
40	0.004	0.560**	0.004	0.537**	0.001	0.638*
60	0.005	0.534**	0.005	0.517**	0.000	0.663**
80	0.007	0.439**	0.007	0.434**	0.000	0.675**

100	0.008	0.394**	0.008	0.379**	-0.001	0.729**
120	0.009*	0.356**	0.009	0.329**	-0.002	0.772*
124	0.009*	0.350**	0.010*	0.321**	-0.003	0.780*

Nas tabelas em causa é possível verificar que no curto prazo (4 meses), mesmo que os parâmetros não sejam iguais aos valores teóricos, em termos estatísticos, há evidência a favor da verificação da paridade real das taxas de juro entre os EUA e cada um dos países, tanto na maturidade de 1, como na de 12 meses. A médio e longo prazo, aí sim, a evidência é contra a verificação da paridade.

Estes são resultados bastante interessantes e que demonstram que, durante a amostra analisada, os investidores a curto prazo consideravam os ativos substituíveis, num ambiente económico-financeiro que se reconhece de grande mobilidade internacional. A longo prazo isso já não se verifica e este comportamento pode dever-se ao facto de que o risco percebido a longo prazo, que até ultrapassa a maturidade dos ativos utilizados, é diferente entre países. Isto pode acontecer, por exemplo, por questões de política económica ou monetária diferenciada entre os países ou simplesmente porque apesar dos mercados financeiros poderem ser considerados integrados, os mercados de bens podem não estar.

CONCLUSÕES

Neste estudo analisamos a paridade real das taxas de juro para os países do G7 (tendo como base os EUA), enquanto medida da mobilidade financeira e da mobilidade dos ativos, utilizando regressões fractais, que têm a particularidade de poderem ser utilizadas mesmo na presença de séries não estacionárias, além de permitirem a análise em diferentes escalas de tempo.

A aplicação das regressões fractis permite chegar à conclusão que, a curto prazo, existe alguma evidência de verificação da paridade, com os parâmetros a serem estatisticamente iguais aos parâmetros que a teoria identificada. No entanto, a médio e longo prazo a evidência é oposta. Isto pode dever-se a alguma falta de integração do mercado de bens mas também ao facto de que os agentes consideram que os ativos não serão totalmente substituíveis.

É importante ter em consideração que estes resultados acabam por ser relevantes até para os próprios países, uma vez que mostram que, a longo prazo, existe algum tipo de autonomia para a decisão de políticas de carácter monetário. No entanto, não deixam de ser bons indicadores também quanto à questão da mobilidade de capital.

De resto, os resultados são relativamente coerentes com estudos anteriores, que mostram que ao longo do tempo parece haver uma maior evidência a favor da verificação da paridade, dado que os estudos mais recentes, que têm dimensões amostrais maiores, acabam por ter resultados a favor da verificação da paridade, ao contrário dos estudos mais antigos que tinham amostras menores mas também utilizavam metodologias menos robustas à estacionaridade e também se debruçavam sobre períodos temporais com alguma turbulência económica. De futuro pretendemos continuar a monitorizar estes resultados e eventualmente aplicar metodologias com *sliding windows*, que permitam analisar a dinâmica ao longo do tempo dos parâmetros, mas precisando para isso de ter horizontes amostrais mais alargados.

AGRADECIMENTOS

Paulo Ferreira agradece o apoio financeiro da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (UIDB/05064/2020). Derick Quintino agradece o

apoio financeiro da CAPES. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Al-Awad, M.; Goodwin, b. Dynamic linkages among real interest rates in international capital markets. *Journal of International Money and Finance*, v. 17, p. 881-907, 1998.

Al-Awad, M.; Grennes, T. Real interest parity and transaction costs for the group of 10 countries. *International Review of Economics and Finance*, v. 11, p. 363-372. 2002.

Albulescu, C.; Pépin, D.; Tiwari, A. A re-examination of real interest parity in CEECs using 'old' and 'new' second-generation panel unit root tests. *Bulletin of Economic Research*, v. 68, n. 2, p. 133-150, 2015.

ALESSIO, E. *et al.* Second-order moving average and scaling of stochastic time series. *European Physical Journal B*, v. 27, p. 197-200, 2002.

ALEXAKIS, P.; Apergis, N.; Xanthakis, E. Integration of international capital markets: further evidence from SEM and non-SEM membership. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, v. 7, p. 277-287, 1997.

Arianos, S.; Carbone, A. Cross-correlation of long-range correlated series. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiments*, v. 3, art. P03037, 2009.

Baharumshah, A. *et al.* Financial integration of East Asian economies: evidence from real interest parity. *Applied Economics*, v. 43, n. 16, 2011.

Barunik, J.; Kristoufek, L. On Hurst exponent estimation under heavy-tailed distributions. *Physica A*, v. 389, p. 3844-3855 2010.

Beine, M.; Cosma, A.; Vermeulen, R. The dark side of global integration: Increasing tail dependence. *Journal of Banking and Finance*, v. 34, n. 1, p. 184-192, 2010.

Bekaert, G.; Harvey, C.; Lundblad, C. Does financial liberalization spur growth? *Journal of Financial Economics*, v. 77, n. 1, p. 3-56, 2005.

Boamah, M. Real interest parity: Evidence from trade partnerships. *Review of Financial Economics*, v. 36, n. 3, p., 199-205, 2017.

Camarero, M.; Carrion-i-Silvestre, J.; Tamarit, C. Testing for real interest rate parity using panel stationarity tests with dependence: a note. *The Manchester School*, v. 77, n. 1, p. 112-126, 2009.

Cavaglia, S. The persistence of real interest differentials: A Kalman filtering approach, *Journal of Monetary Economics*, v. 29, p. 429-443, 1992.

Centeno, M.; Mello, A. How integrated are the money market and the bank loans market within the European Union? *Journal of International Money and Finance*, v. 18, p. 75-106, 1999.

Cumby, R.; Mishkin, F. The international linkage of real interest rates: the European-U.S. connection. *Journal of International Money and Finance*, v. 5, p. 5-23, 1984.

Dreger, C. Does the nominal exchange rate regime affect the real interest parity condition? *The North American Journal of Economics and Finance*, v. 21, n., p. 274-285, 2010.

Dutton, M. Real interest parity new measures and tests. *Journal of international Money and Finance*, v. 12, n. 1, p. 62-77, 1993.

Ferreira, A.; León-Ledesma, M. Does the real interest parity hypothesis hold? Evidence for developed and emerging markets. *Journal of International Money and Finance*, v. 26, n. 3, p. 364-382, 2007.

Ferreira, P.; Kristoufek, L. What is new about covered interest parity condition in the European Union? Evidence from fractal cross-correlation regressions. *Physica A*, v. 486, p. 554-566, 2017.

Ferreira, P.; Kristoufek, L. Uncovered interest rate parity through the lens of fractal methods: Evidence from the European Union. *Physica A*, v. 545, p. 123803, 2020.

Fountas, S.; Wu, J. Testing for real interest rate convergence in european countries. *Scottish Journal of Political Economy*, v., 46, n., p. 158-174, 1999.

Frankel, J.; MacArthur, A. Political vs. currency premia in international real interest differentials. *European Economic Review*, 32, p. 1038-1121, 1988.

Frankel, J. Measuring International Capital Mobility: A Review. *The American Economic Review*, v. 82, n. 2, p. 197-202, 1992.

_____. International financial integration: relations between interest rates and exchange rates. In: DAS, D. (Org.) *International Finance - contemporary issues*. London, Routledge, 1993, p. 333-359.

Fraser, P.; Taylor, M. Some efficient tests of international real interest rate parity. *Applied Economics*, v. 22, n. 8, p. 1083-1092, 1990.

Gaab, W.; Granzio, M.; Horner, M. On some international parity conditions. *European Economic Review*, v. 30, p. 683-713, 1986.

Goldberg, L.; Lothian, J.; Okunev, J. Has International Financial integration Increased? *Open Economic Review*, v. 14, p. 299-317, 2002.

Goodwin, B.; Grennes, T. Real interest rate equalization and the integration of international financial markets. *Journal of International Money and Finance*, v. 13, p. 107-124, 1994.

Hall, S.; Robertson, D.; Wickens, M. Measuring Economic Convergence. *International Journal of Financial Economics*, v. 2, p. 131-143, 1997.

Holmes, M.; Maghrebi, N. Asian real interest rates, nonlinear dynamics, and international parity. *International Review of Economics & Finance*, v. 13, n. 4, p. 387-405, 2004.

Holmes, M. Does long-run real interest parity hold among EU countries? Some new panel data evidence. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 42, p. 733-746, 2002.

Kearney, C.; Lucey, B. International equity market integration: Theory, evidence and implications. *International Review of Financial Analysis*, v. 13, p. 571-583, 2004.

Koedijk, K.; Kool, C. Dominant interest and inflation differentials within the EMS. *European Economic Review*, v. 36, p. 925-943, 1992.

Kristoufek, L. Fractality in market risk structure: Dow Jones Industrial components case. *Chaos, Solitons and Fractals*, v. 110, p. 69-75, 2018.

_____. Measuring correlations between non-stationary series with DCCA coefficient. *Physica A*, v. 402, p. 291-298, 2014a.

_____. Detrending moving-average cross-correlation coefficient: Measuring cross-correlations between non-stationary series. *Physica A*, v. 406, p. 169-175, 2014b.

_____. Detrended fluctuation analysis as a regression framework: Estimating dependence at different scales. *Physical Review E*, v. 91, p. 022802, 2015.

_____. Scaling of dependence between foreign exchange rates and stock markets in Central Europe. *Acta Physica Polonica A*, v. 129, n. 5, p. 908-912, 2016.

_____; Ferreira, P. Capital asset pricing model in Portugal: Evidence from fractal regressions. *Portuguese Economic Journal*, v. 17, n. 3, 173-183, 2018.

Lemmen, J. *Financial Integration in the European Union – Measurement and Determination*. Center for Economic Research, Tilburg University, 1996.

Mancuso, A.; Goodwin, B.; Grennes, T. Nonlinear aspects of capital market integration and real interest rate equalization. *International Review of Economics and Finance*, v. 12, p. 283-303, 2003.

Marston, R. Tests of three parity conditions: distinguishing risk premia and systematic forecast errors. *Journal of International Money and Finance*, v. 16, p. 285-303, 1997.

Mishkin, F. Are real interest rates equal across countries? An empirical investigation of international parity conditions. *The Journal of Finance*, v. 39, n. 5, p. 1345-1357, 1984.

Monadjemi, M. International Interest Rates Linkage: Evidence from OECD Countries. *International Review of Financial Analysis*, v. 6, p. 229-240, 1997.

Obstfeld, M. Risk-taking, global diversification, and growth. *The American Economic Review*, v. 84, n. 5, p. 1310-29, 1994.

Peng, C. *et al.* Mosaic organization of DNA nucleotides. *Physical Review E*, v. 49, n. 2, p. 1685-1689, 1994.

Podobnik, B.; Stanley, H. Detrended cross-correlations analysis: A new method for analyzing two nonstationary time series. *Physical Review Letters*, v. 100, p. 084102, 2008.

Sekioua, S. Real interest parity (RIP) over the 20th century: New evidence based on confidence intervals for the largest root and the half-life. *Journal of International Money and Finance*, v. 27, n. 1, p. 76-101, 2008.

Shi, J.; Li, B.; Alexiadis, S. Testing the Real Interest Parity Hypothesis in Six Developed Countries. *International Research Journal of Finance and Economics*, v. 86, p. 168-180, 2012.

THEILER, J. *et al.* Testing for nonlinearity in time series: The method of surrogate data. *Physica D*, v. 58, p. 77-94, 1992.

Throop, A. International Financial Market Integration and Linkages of National Interest Rates. *Federal Reserve Bank of San Francisco Economic Review*, v. 3, p. 3-18, 1994.

Vandewalle, N.; Ausloos, M. Multi-affine analysis of typical currency exchange rates. *European Physical Journal B*, v. 4, p. 257-261, 1998.

Vieira, I. How Financially Integrated are Portugal and Spain? Evidence from CIP and UIP. *Portuguese Review of Financial Markets*, v. 3, n. 2, p. 33-47, 2000.

Weron, R. Estimating long-range dependence: finite sample properties and confidence intervals. *Physica A*, v. 312, p. 285-299, 2002.

Wu, J.; Chen, S. A re-examination of real interest parity rate. *Canadian Journal of Economics*, v. 31, n. 4, p. 837-851, 1998.

Zebende, G. DCCA cross-correlation coefficient: Quantifying level of cross-correlation. *Physica A*, v. 390, p. 614-618, 2011.

2

*Roberto C. Costa
Flávio Fabrício V. M. Ferreira
Milton C. Soares
Aloísio S. Nascimento Filho
Marcelo A. Moret
Thiago B. Murari*

CRIAÇÃO DE CONHECIMENTO EM DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS PARA AS NOVAS HABILIDADES DA INDÚSTRIA 4.0: UM ESTUDO DE CASO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA



RESUMO:

Esse capítulo traz uma visão de transformação de conhecimento dentro de um ambiente industrial, combinando indústria 4.0 com o modelo SECI e fundamentos do 6-sigma. Um dos pontos principais é como conseguir capacitar uma nova equipe de desenvolvimento de uma forma efetiva e com um menor tempo para obtenção de resultados positivos com integração de novos conhecimentos e rede de contatos. Obtém-se como resultado um modelo misto de transformação do conhecimento com ganhos satisfatórios na preparação de colaboradores, contendo desde momentos de capacitação até acompanhamento de entregas e resultados.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo SECI; Indústria 4.0; Desenvolvimento de Produto.

INTRODUÇÃO

Sabe-se que o mundo está passando por transformações, como por exemplo a quarta revolução industrial, em que novas demandas e diversas novas habilidades vêm sendo solicitadas pelo mercado. O desenvolvimento de novos produtos está integrado nesse cenário por diversos pontos e por eles demanda uma nova tratativa para se manter atualizado.

TIME TO MARKET NO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

No mercado atual, todos os modelos de carros, por exemplo, devem ser meticulosamente testados antes de serem liberados para evitar falhas e defeitos que possam resultar em problemas de segurança e colocar o usuário em perigo, até problemas de qualidade, insatisfação do cliente e custos adicionais com reparos. Além disso, as montadoras precisam realizar testes cada vez mais rápidos para se manterem competitivas no mercado e cumprir os prazos cada vez menores de lançamento de novos modelos e funcionalidades (PELLICCIONE *et al.*, 2017).

Realizar todos os testes necessários usando o sistema veicular completo é desafiador por muitas razões como, por exemplo: (1) Alto custo da construção de um carro protótipo que chega a custar cerca de 10 vezes mais que um carro normal; (2) Algumas partes/peças do sistema podem não estar disponíveis antecipadamente; (3) Algumas situações de teste podem não ser facilmente repetidas com segurança em situações práticas; (4) Estrutura da rede veicular se torna cada dia mais complexa; (5) Ter equipe capacitada e nivelada tecnicamente com o estado da arte do desenvolvimento.

Por vezes, contratar profissional capacitado para suporte imediato na indústria automotiva, para aplicação de novas tecnologias não é uma tarefa fácil. Por se tratar de um campo ligado à fronteira do conhecimento, existem poucos grupos dentro da indústria trabalhando com o tema, o que torna esses conhecimentos escassos no mercado.

As metodologias usuais de treinamento, consistem em alocar o profissional e deixar o mesmo adquirir experiência com uma metodologia chamada “*on the job training*”. Essa metodologia não permite uma avaliação clara no aumento de produtividade em nível de indivíduos, mas deixa bem claro as melhorias que proporciona no desenvolvimento dos recursos humanos (ARIGA *et al.*, 2013). Essa falta de certeza de aumento de produtividade individual afeta diretamente a capacidade de redução no tempo de desenvolvimento de novos produtos.

Boa parte dessas inovações tecnológicas no meio automotivo estão relacionadas à eletrônica embarcada como, por exemplo, nas tecnologias de motorização (*start/stop*, hibridização, eletrificação), segurança veicular (*Airbags*, Controle Eletrônico de Estabilidade), assistência de direção (Detector de Ponto Cego, Sensores de Estacionamento) e sistemas de entretenimento.

Por esta razão, vem ocorrendo o aumento do número de ECUs (*Electronic Control Units*) nos veículos modernos, em alguns modelos atingindo a marca de 100 unidades de controle, por veículo (PELLICCIONE *et al.*, 2017), trocando informação umas com as outras através de protocolos de comunicação automotiva.

INDÚSTRIA 4.0

Após a Revolução Industrial, os sistemas de fabricação e serviços passaram por diversas melhorias. Devido ao rápido desenvolvimento em

sistemas de manufatura e na tecnologia da informação, foram obtidas sinergias a partir da integração dos meios de informação, serviços e manufatura. Esses avanços levaram ao aumento da produtividade, tanto em serviços quanto em ambientes de fabricação. Nos últimos anos, as empresas de manufatura e os sistemas de serviços enfrentaram desafios substanciais devido à necessidade de coordenação e conexão de conceitos disruptivos, como comunicação e rede (Internet Industrial), sistemas embarcados (CPS- *Cyber Physical Systems*), robótica autônoma, segurança cibernética, análise de dados, inteligência artificial e manufatura aditiva. Esses avanços causaram a extensão dos desenvolvimentos em tecnologia de fabricação surgindo assim o termo Indústria 4.0, que foi anunciado pela primeira vez pelo governo alemão em 2011 como uma das principais iniciativas que formaria uma nova revolução industrial. As empresas ainda estão buscando a adaptação correta desse termo, porém como principal resultado, a Indústria 4.0 busca tornar os sistemas mais produtivos. Por outro lado, os critérios de objetivos e as medições de desempenho da transformação para a Indústria 4.0 ainda são incertos. Além disso, um roteiro de implementação estruturado e sistemático ainda não está claro (SALKIN *et al.*, 2018).

A visão compartilhada sobre a estrutura da Indústria 4.0 considera o uso massivo de sistemas de rede inteligentes e IoT (*Internet of Things*). Dessa forma, o foco da Indústria 4.0 é criar produtos, procedimentos e processos inteligentes. Assim, fábricas inteligentes constituem a característica principal dessa estrutura. Em particular, são capazes de gerenciar a complexidade, são menos propensas a perturbações e são capazes de fabricar mercadorias com maior eficiência. Na fábrica inteligente, seres humanos, máquinas e recursos se comunicam tão naturalmente quanto em uma rede social. Os produtos inteligentes conhecem os detalhes de como eles foram fabricados e como eles devem ser usados, provendo suporte ativo ao processo de fabricação (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Consequentemente, a Indústria 4.0 deve ser implementada de maneira interdisciplinar e em estreita cooperação com as outras áreas-chave, usando diferentes fatores de tecnologia. Fatores estes são conhecidos como os nove pilares do avanço tecnológico e compreendem as seguintes tecnologias: Big Data; Robôs autônomos; Simulação; Integração Universal de Sistemas; IoT industrial; Cíber segurança; Computação em nuvem; Fabricação aditiva e realidade aumentada (RÜßMANN *et al.*, 2015). Desta forma, pessoas com habilidades e conhecimentos tecnológicos são essenciais para que todo o investimento em máquinas e equipamentos seja aproveitado da melhor forma possível, assim, treinamentos e o desenvolvimento de pessoas representam outros fatores fundamentais para alcançar os objetivos da Indústria 4.0.

IMPORTÂNCIA DA MODELAGEM COMPUTACIONAL NA INDÚSTRIA 4.0

As técnicas de simulação e modelagem visam a simplificação e favorecimento econômico do projeto, realização, testes e execução de uma operação ativa de sistemas de manufatura (KOCIAN *et al.*, 2012). Nas fábricas inteligentes, simulação e modelagem serão necessárias para alavancar dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e pessoas (RÜßMANN *et al.*, 2015). Simulação e modelagem não apenas permitem fabricantes evitar erros em um estágio inicial de desenvolvimento que, de outra forma, poderiam resultar em custos substanciais para os construtores da fábrica, mas também podem ser usados para otimizar uma fábrica diariamente durante a sua operação (GILCHRIST, 2016). Por exemplo, hoje em dia os fabricantes podem simular a usinagem de peças usando dados físicos da máquina, levando à redução do tempo de configuração do processo de usinagem real em até 80%

(RÜBMANN *et al.*, 2015). Com isso a tendência é que no futuro cada vez mais os fabricantes optem pela simulação afim de evitar custos e desperdícios com protótipos e validações. Também é possível utilizar a simulação e a realidade virtual para treinar e desenvolver novos funcionários e ou funcionários que estejam sendo transferidos para outras áreas, fazendo com que o treinamento fora da linha de manufatura não afete a produção corrente.

DISPONIBILIDADE DAS HABILIDADES NA COMUNIDADE

Quando é feita uma comparação entre as ofertas de habilidades das academias de ensino e as habilidades esperadas pela indústria, existe oferta com uma abrangência mais aberta das capacidades a serem desenvolvidas pelos discentes, focando uma quantidade mais básica dos conhecimentos. A indústria, por outro lado, tem objetivos mais específicos de conhecimento, ou seja, algo que permita um diferencial competitivo no mercado de atuação.

Nesse cenário, existe um *gap* entre o que é ofertado pelas academias e o que é procurado pela indústria, muitas vezes gerando necessidade de treinamentos externos específicos para a capacitação desses profissionais iniciando na vida industrial.

O desenvolvimento desse capítulo, foca em mostrar algumas técnicas que foram aplicadas para reduzir o tempo necessário na capacitação desses profissionais, recém-formados ou ainda na academia, para uma melhoria contínua dentro do processo de desenvolvimento de produtos com as habilidades da indústria 4.0.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

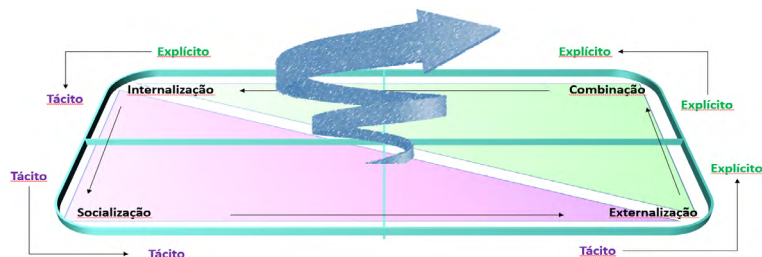
Conhecimento e seu Processo Construtivo

As habilidades demandadas nesse novo contexto de inovação permanente, estão relacionadas à introdução de algo novo em um determinado processo de desenvolvimento, do qual se geram novos produtos ou serviços. Para que isto ocorra, a capacidade de compartilhamento de informações entre os envolvidos nos projetos, passa a ser fundamental para contribuir e acelerar o desenvolvimento de processos e produtos inovadores. Por definição, a informação propriamente dita não passa de mera informação sem significado, até que seja interpretada por indivíduos em um contexto específico, se tornando assim em conhecimento.

Existem dois tipos de conhecimento: explícito e tácito. O conhecimento explícito pode ser expresso por meio da linguagem formal ou sistemática e compartilhado em forma de dados, fórmulas, especificações, manuais e etc. Em contrapartida, o conhecimento tácito é pessoal e difícil de ser formalizado. Exemplos deste tipo de conhecimento seriam as intuições, ideais subjetivas, palpites relacionados a valores, ideais, experiências e emoção (NONAKA; TAKEUCHI, 1997).

A espiral do conhecimento (Figura 1), ilustra o modelo Socialização, Externalização, Combinação e Internalização (SECI). Este modelo ilustra como acontece a criação de novos conhecimentos dentro de um ambiente organizacional (NONAKA; TAKEUCHI, 1997).

Figura 1 - Espiral do conhecimento de acordo com modelo SECI.



Fonte: próprio autor.

A socialização se trata da transmissão de conhecimento tácito através do compartilhamento de experiências. Isto pode ocorrer de várias formas como, por exemplo, no simples convívio diário no ambiente de trabalho, nas atividades de acompanhamento e interações de aprendizagem com algum mentor ou colega enquanto o mesmo desenvolve algo no modelo “mão-na-massa” (*hands-on*), etc. Este tipo de conversão de conhecimento também pode vir a acontecer em eventos sociais fora do ambiente organizacional como, por exemplo, “*happy-hours*” onde o conhecimento tácito como visões de mundo, ideias e modelos mentais podem ser compartilhados.

A externalização se trata da transformação do conhecimento tácito já socializado em conhecimento explícito a partir de algum formato de dado. A partir desta informação formatada em algum tipo de mídia, se faz possível que este conhecimento seja compartilhado com outras pessoas as quais poderão acessar a documentação sempre que for necessário.

A combinação se faz a partir da conversão de um conjunto de conhecimentos explícitos em um novo conhecimento explícito. Exemplo deste tipo de transformação do conhecimento se dá no momento em que algum indivíduo da organização, prepara algum material sobre determinado projeto a partir de um conjunto de outros documentos anteriormente gerados por vários colegas de diferentes setores da empresa.

A internalização completa o ciclo de transformações do conhecimento a partir da conversão do conhecimento explícito em conhecimento tácito. Esta internalização está diretamente correlacionada com o “aprender fazendo” (*learning by doing*) onde um indivíduo incorpora determinado conhecimento a partir de treinamentos, leitura de documentos, experimentos, simulações, etc. Desta forma, o indivíduo aumenta sua base de conhecimentos tácitos, conhecimentos esses que serão compartilhados em futuras socializações, dando início desta forma a um novo ciclo de conversões do conhecimento.

Com o novo ciclo, teremos um crescimento na espiral de conversões resultando no compartilhamento de ainda mais conhecimento para um número maior de pessoas. A cada iteração da espiral, o conhecimento consolida-se, amplia-se e dissemina-se entre os indivíduos, grupos e organizações, e novos conhecimentos poderão ser criados (SAMPAIO; PASSOS; ASSIS, 2014).

TÉCNICAS AGILE

As empresas de desenvolvimento de algum tipo de produto, seja ele hardware ou software, trabalham baseadas em projetos, que de forma geral acontecem ao mesmo tempo, alguns inclusive em sequência um do outro. Nas últimas décadas, os profissionais responsáveis pelo gerenciamento de projetos têm focado seus esforços em identificar qual a melhor maneira de trabalhar em um ambiente complexo e não previsível usando ferramentas que foram projetadas para ambientes totalmente previsíveis. Como resultado deste paradoxo, várias falhas em projetos aconteceram, tanto no setor privado como também no setor público (LANDAETA; VISCARDI; TOLK, 2011).

Com o intuito de resolver parte deste paradoxo, um grupo de profissionais de tecnologia estruturaram os princípios do Gerenciamento de Projetos Ágeis (*“Agile Manifesto”*) para guiar gestores, permitindo assim, que os mesmos obtenham sucesso no gerenciamento de projetos complexos (BECK *et al.*, 2001).

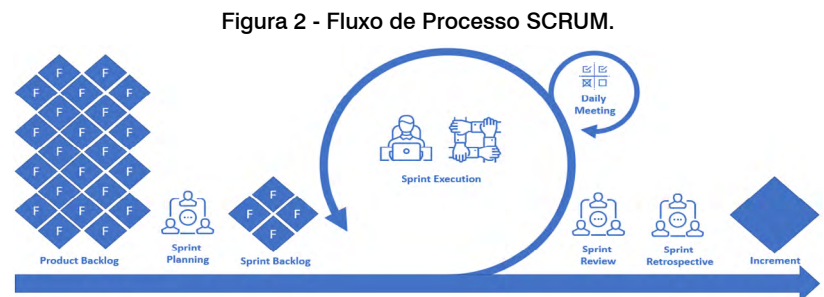
Um exemplo de arcabouço ou metodologia de gerenciamento de projetos criado a partir destes princípios e amplamente utilizado pelas organizações é o SCRUM. Ele divide um projeto em interações denominadas *“Sprints”*. Cada interação dura entre 2 a 4 semanas e precisa resultar em uma entrega parcial do projeto com uma funcionalidade adicional. Desta forma, o cliente, seja ele um consumidor ou alguma área

da própria organização receberão partes da solução final para utilização imediata (VON WANGENHEIM; SAVI; BORGATTO, 2013).

Existem 3 papéis principais dentro de um projeto que o SCRUM, são eles:

- *Product Owner*: define as funcionalidades ou resultados esperados do projeto que virão a garantir o sucesso da empresa, seja por meio de rentabilidade ou outro valor.
- *Scrum Master*: ajuda a equipe a seguir o processo ágil, resolve problemas e protege a equipe contra interferências externas.
- *Development Team*: responsáveis pela implementação da funcionalidade necessária. Os membros da equipe são auto gerenciados, alocando atividades sozinhos, além do fato de serem multifuncionais e autodidatas.

O fluxo do processo SCRUM possui diferentes tipos de reuniões (figura 2):



Fonte: próprio autor.

No início de cada sprint, o “*Product Owner*” se reúne com a equipe na reunião de planejamento do sprint (“*Sprint Planning*”) para que juntos determinem o subconjunto das funcionalidades totais do projeto (“*Product Backlog*”) a serem desenvolvidos nesta interação (“*Sprint*”).

Todos os dias, a equipe se reúne na reunião diária de *Scrum* (“*Daily Meeting*” ou “*Stand-Up Meeting*”) para avaliar o andamento do projeto. Cada membro da equipe responde a três perguntas: O que você fez ontem? O que você está planejando fazer hoje? Quais são os problemas que estão te impossibilitando de cumprir suas tarefas nesta sprint?

No final de cada sprint, a equipe apresenta os resultados de seu trabalho para o “*Product Owner*” e todos os usuários interessados. Essa reunião de revisão da interação (“*Sprint Review*”) permite que os usuários discutam sobre o trabalho realizado e possam vir a fornecer sugestões para as funcionalidades a serem desenvolvidos na próxima iteração.

No final de cada interação, ocorre ainda uma reunião denominada de retrospectiva da interação (“*Sprint Retrospective*”), reunião a qual fornece uma oportunidade para a equipe, baseadas no aprendizado passado, possam vir a fazer as coisas de maneira diferente ou melhor nas próximas fases ou iterações.

METODOLOGIA LEAN 6-SIGMA

O 6-sigma é uma metodologia rigorosa e efetiva na implementação de melhorias de produtos e processos, com foco em desempenho de processos livre de erros. Dentro do Lean 6-sigma, o nível sigma identifica o desempenho da indústria para parâmetros de qualidade, como por exemplo DPMO, PPM, Cp/Cpk entre outros, de forma a ser possível uma comparação da situação atual da empresa e sua melhoria ao longo do tempo. Em termos básicos, os resultados do nível sigma de um processo podem ser idênticas como taxa de defeitos gerados por uma quantidade produzida. Quanto maior o nível sigma de um processo, significam menor quantidade de defeitos gerados durante a produção (PYZDEK; KELLER, 2003):

A metodologia 6-sigma consegue ser implementada em 2 formas: (1) melhoria contínua em processos existentes, seguindo a metodologia DMAIC ou (2) através de projetos para seis sigma (do inglês DFSS-*Design For Six Sigma*), seguindo a metodologia ICOV. Diversas ferramentas de qualidade são aplicadas dentro das fases das metodologias DMAIC e ICOV, fazendo uma ligação entre elas, permitindo atingir os objetivos delineados (YANG; BASEM; EL-HAIK, 2003).

Além das ferramentas técnicas, existem a implementação de toda uma infraestrutura para suporte do 6-sigma. Um dos pontos de sucesso é institucionalizar o 6-sigma como forma de gerir o negócio, onde só treinar os recursos não é o suficiente. O envolvimento de todos os níveis da organização é mandatório para o sucesso da implementação. Esforços isolados normalmente estão condenados desde o início. A preparação da área de atuação tem influência direta na absorção de novos conhecimentos para colaboradores, sendo melhor observado nas instituições que criaram um departamento central de 6-sigma para suporte dos envolvidos em treinamento.

Existem diversas funções chaves para a implementação da metodologia 6-sigma. Essas funções permitem uma divisão do trabalho com detalhamentos de regras e responsabilidades para cada um, gerando um ambiente favorável para a implementação de projetos. Dentre elas, 3 funções são de extremo valor para a disseminação dos conhecimentos: o *Champion*, o *Master Black Belt* e o *Black Belt* (PYZDEK; KELLER, 2003).

- *Black Belt*: é o executor dos projetos de 6-sigma, aquela pessoa com experiência técnica nas ferramentas que lidera as mudanças dentro da organização. Os candidatos a *Black Belt* recebem treinamento e precisam confirmar a sua capacitação com entrega de projetos implementados;
- *Champion*: tem a função de patrocinador interno para o sucesso do *Black Belt*, sendo responsável por auxiliar na escolha dos projetos 6-sigma a serem executados pelo *Black Belt* e recebendo

os benefícios da melhoria implementada pelo projeto dentro dos indicadores gerenciais;

- *Master Black Belt*: mentor técnico dos *Black Belt*, responsável pelo treinamento e certificação dos candidatos a *Black Belt* dentro da metodologia 6-sigma.

Nessa visão, os treinamentos nas ferramentas de 6-sigma para o *Black Belt* são considerados um subprojeto do plano de implementação, e são executados com um alinhamento forte do melhor momento de execução, garantindo que o conteúdo apresentado será dado no momento exato da necessidade, nem muito cedo, nem muito tarde, permitindo ao colaborador treinado receber o treinamento das ferramentas e ser cobrado a executar o projeto com entrega de resultados. Os *Black Belt* recebem entre 3 a 6 semanas de treinamento nas ferramentas de 6 sigma (PYZDEK; KELLER, 2003).

De forma geral, o candidato 6-sigma *Black Belt* em treinamento faz em paralelo a execução de um projeto com os treinamentos, tipicamente com um intervalo de 1 mês entre as semanas de treinamento, permitindo um acompanhamento dos resultados dos aprendizados entre as sessões de treinamento, propiciando uma maior absorção dos conhecimentos e aplicação dos mesmos em um problema real da empresa (PYZDEK; KELLER, 2003).

QUAIS AS HABILIDADES DA INDÚSTRIA 4.0 SÃO AS TENDÊNCIAS FUTURAS E COMO ELAS ENCAIXAM NO STATUS ATUAL

Para impulsionar as oportunidades de transformação prometidas pela Indústria 4.0 e criar valor a partir da automação, as organizações precisam considerar o desenvolvimento de seus colaboradores

com competências alinhadas aos requisitos específicos do setor. A automação rápida e abrangente dos processos de fabricação, juntamente com o surgimento de novos modelos de negócios, impõe novos requisitos de habilidades para os trabalhadores. De fato, a adoção adicional de sistemas digitais juntamente com a implementação bem-sucedida da Indústria 4.0 exigem uma gama ainda maior de habilidades dos funcionários devido a maior complexidade dos ambientes de trabalho com novas tecnologias. Conseqüentemente, as funções dos funcionários mudarão em termos de conteúdo e processos de trabalho, e essas mudanças exigiriam transformações significativas nos cargos e nos perfis de habilidades dos funcionários (KARACAY, 2018).

Além dessas habilidades, os trabalhadores são obrigados a terem as habilidades básicas para as tecnologias da informação e comunicação (TIC). Correspondendo ao aumento da automação e digitalização dos processos de trabalho, as organizações dependem mais de funcionários com especializações em TIC que possam analisar *Big Data*, fazer codificação, desenvolver aplicativos e gerenciar redes de banco de dados complexas. De fato, as habilidades em TIC não apenas suportam a infraestrutura em que as empresas dependem para seus negócios, mas também permitem que a inovação na economia digital floresça (OECD, 2016; QUINTINI, 2014).

As TIC e outras “*hard skills*” necessárias para a Indústria 4.0 têm um caráter mais interdisciplinar do que a alfabetização básica e o conhecimento profissional. Os funcionários precisam combinar o conhecimento técnico de um trabalho específico com uma coleção de habilidades em TIC, variando de conhecimentos básicos sobre TIC a recursos avançados de programação. No entanto, a execução dessas habilidades mais interdisciplinares exige capacidades de colaboração, comunicação e adaptabilidade; em outras palavras, no ambiente de trabalho em constante mudança de hoje, as “*soft skills*” tornaram-se ainda mais cruciais do que antes. Por esse motivo, para desempenhar

de maneira eficaz e suficiente dentro das circunstâncias de trabalho da Indústria 4.0, os funcionários devem adquirir o hábito de aprendizado contínuo, não apenas em suas próprias profissões, mas em um ângulo mais amplo com uma perspectiva interdisciplinar (KARACAY, 2018).

METODOLOGIA

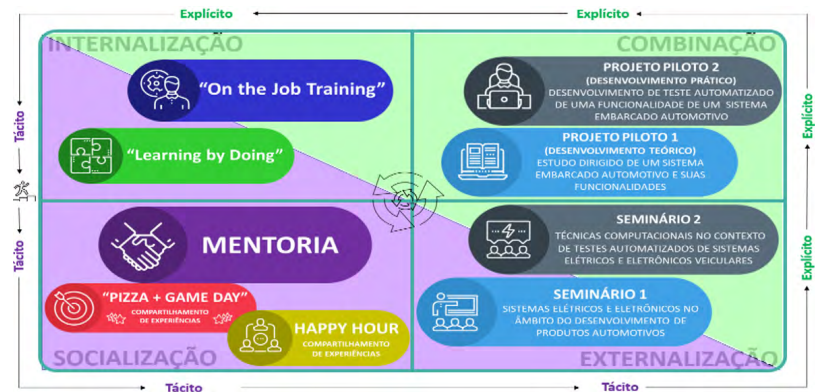
Construção e compartilhamento do conhecimento no ambiente organizacional

Dentro do processo de desenvolvimento de produtos, o compartilhamento de conhecimento se faz presente em todas as etapas e interações. Na área de sistemas elétricos e eletrônicos automotivos, a recepção de novos engenheiros se faz a partir de um conjunto de atividades focadas no compartilhamento e formação do conhecimento a respeito das tecnologias avançadas relacionadas a modelagem computacional, mais especificamente a testes de sistemas embarcados utilizando metodologia *Hardware-in-the-Loop* (HIL).

- Seminário 1 com o tema "*Sistemas Elétricos e Eletrônicos no Âmbito Do Desenvolvimento De Produtos Automotivos*" acontece na primeira semana durante o primeiro turno.
- Desenvolvimento teórico de projeto piloto que se trata de um "*Estudo Dirigido de um Sistema Embarcado Automotivo e Suas Funcionalidades*".
- Seminário 2 com o tema "*Técnicas Computacionais no Contexto de Testes Automatizados de Sistemas Elétricos e Eletrônicos Veiculares*" acontece na segunda semana durante o primeiro turno.

- Desenvolvimento prático de projeto piloto que se trata de um “Desenvolvimento de Teste Automatizado de uma ou mais Funcionalidade de um Sistema Embarcado Automotivo”.
- No final de cada uma das duas semanas acontecem ainda eventos de socialização e engajamento do time no formato de “happy-hours” dentro e fora da empresa.

Figura 3 - Conjunto de atividades da Construção do Conhecimento desenvolvida na chegada de novos engenheiros durante as 2 primeiras semanas.



Fonte: próprio autor.

Os estudos dirigidos desenvolvidos por cada um dos novos engenheiros durante o segundo turno das duas semanas, são apresentados no final de cada uma delas para todos os outros novos colegas e também para os engenheiros mais experientes com o intuito de receber perguntas e feedbacks a respeito, tanto do estudo propriamente dito como da apresentação. As apresentações são feitas por vários engenheiros experientes do time de sistemas elétricos e eletrônicos e do time de testes, os quais são também os mentores desses novos engenheiros. É possível então fazer uma correlação direta de todas essas etapas com o modelo SECI de criação e conversão do conhecimento no ambiente organizacional.

SOCIALIZAÇÃO - MENTORIA E COMPARTILHAMENTO DE EXPERIÊNCIAS (“HAPPY-HOURS”)

Antes dos dois seminários, os novos engenheiros aprendizes recebem um tema diferente cada um. Cada tema trata de um tipo de sistema embarcado automotivo. Este tema será utilizado como base para o desenvolvimento do projeto teórico da primeira semana e prático na segunda semana. Durante o segundo turno das duas semanas, os aprendizes junto ao desenvolvimento dos projetos, recebem como tarefa, fazer uma apresentação de tudo que foi estudado e desenvolvido (a respeito do tema sorteado) a partir do conjunto de materiais disponibilizados pelo time e de outras informações adquiridas em reuniões e conversas formais/informais com os respectivos engenheiros experientes que trabalham com aquele sistema específico. Durante todo o desenvolvimento deste estudo, um engenheiro tutor estará sempre interagindo com o engenheiro aprendiz para direcionar e suportar seus questionamentos ou pedidos de ajuda. No fim de cada uma das semanas, ocorrem eventos sociais de integração no formato de “*happy-hour*” com o intuito de engajar tanto os novos engenheiros entre si como com os engenheiros mais experientes, permitindo assim uma troca de informações não apenas técnicas, mas também de experiências vividas no ambiente organizacional. Todas as interações descritas acima como reuniões, mentoria e eventos sociais, podem ser consideradas como partes da fase de Socialização, onde acontece a transmissão do conhecimento tácito entre os envolvidos.

EXTERNALIZAÇÃO - SEMINÁRIOS E PRIMEIRAS INTERAÇÕES (“STAKEHOLDERS”)

A elaboração da agenda de apresentações dos seminários, é criada com o intuito de trazer o entendimento de todo o processo de desenvolvimento do sistema eletrônico veicular, desde as definições de requisitos, passando pela fase de testes dos sistemas embarcados até chegar na fase de validação final do veículo como um todo. Desta forma, são os engenheiros experientes do time que são convidados para palestrar neste seminário, contribuindo tanto com a geração de material de referência, material este que será utilizado a posteriori pelos novos engenheiros, como também permitindo uma primeira interação entre os aprendizes e seus *stakeholders*, dado que essa comunicação e troca de conhecimento entre as duas partes, será uma atividade corriqueira e essencial dentro do processo de desenvolvimento automotivo e de testes. No contexto em que os engenheiros experientes preparam material para a apresentação aos novos aprendizes, temos a fase de Externalização, onde acontece a transformação do conhecimento tácito em um conhecimento explícito no formato de apresentação.

COMBINAÇÃO - DESENVOLVIMENTO TEÓRICO PROJETO PILOTO (“ELEVATOR-PITCH”)

O desenvolvimento do projeto teórico é feito a partir de documentos relacionados aos sistemas embarcados e as interações entre eles como, por exemplo, listas de requisitos, especificações, diagramas funcionais, diagramas de sequência, diagramas de casos de uso, esquemáticos elétricos e etc. A partir deste estudo dirigido desenvolvido durante toda a semana, o engenheiro aprendiz então será imbuído de fazer uma apresentação (“*Elevator-Pitch*”) para seus colegas e

demais engenheiros, sobre o sistema embarcado o qual ficou responsável, explicando tudo que aprendeu, as dificuldades encontradas, as pessoas com quem interagiu, etc. Todo este estudo desenvolvido e a posterior geração de uma apresentação a partir dos mesmos, podem ser considerados como a fase de Combinação, onde acontece a conversão do conhecimento explícito em um novo conhecimento explícito.

INTERNALIZAÇÃO - DESENVOLVIMENTO PRÁTICO PROJETO PILOTO (“*LEARNING BY DOING*”)

O desenvolvimento do projeto prático é feito a partir do conhecimento e da documentação gerada no projeto teórico, além de documentos relacionados aos testes de sistemas embarcados como, por exemplo, procedimentos de testes, tutoriais, materiais de referência de softwares, modelos computacionais e etc. Então durante toda a semana é desenvolvida a estrutura física, suas interfaces e toda a modelagem computacional de um teste automatizado piloto. Neste projeto, o engenheiro aprendiz também será imbuído de fazer uma apresentação (“*Elevator-Pitch*”) para seus colegas e demais engenheiros, sobre todo o processo utilizado para o desenvolvimento do teste, explicando tudo o que aprendeu fazendo (“*Learning-by-Doing*”), as dificuldades encontradas, as pessoas com quem interagiu, etc. Todo este projeto piloto, desenvolvido pelo aprendiz, permitiu que o mesmo tenha colocado em prática o conhecimento absorvido nos seminários e nos estudos dirigidos. Desta feita tivemos então a fase de Internalização, onde acontece a conversão do conhecimento explícito em um conhecimento tácito, fechando então o ciclo de construção do conhecimento SECI.

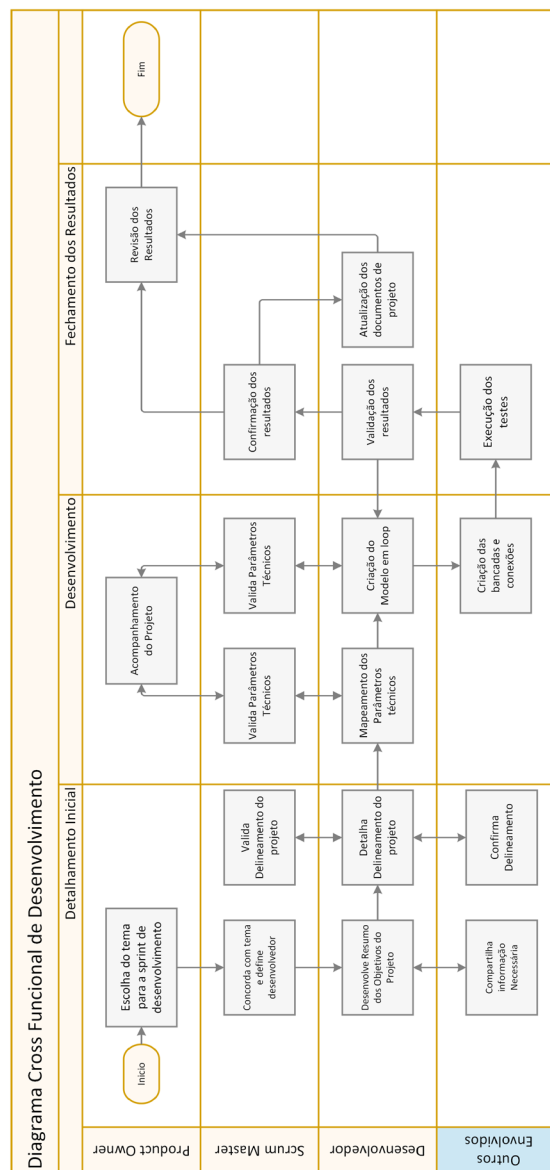
TECH HOURS E TREINAMENTO DE NOVOS INTEGRANTES - NOVO CICLO DE CONVERSÃO

Após essas duas semanas iniciais de imersão, uma reunião semanal nomeada de “*Tech Hour*” é conduzida com o intuito de compartilhar novos conhecimentos adquiridos pelos novos engenheiros para todos os colegas, sejam eles novatos ou mais experientes. Desta forma tem-se uma continuidade da criação e do compartilhamento de conhecimento, assim sendo o conhecimento dentro da estrutura desta organização será consolidado, ampliado e disseminado entre seus integrantes, o qual, de acordo com o modelo SECI, nada mais séria do que o crescimento da espiral do conhecimento. Com a chegada futura de novos integrantes, uma nova sessão de duas semanas é criada para receber os mais novos aprendizes, e desta vez, os *stakeholders* convidados a gerar e apresentar material nos seminários, serão os aprendizes treinados na primeira interação, dando assim início a um novo ciclo de construção e conversão do conhecimento.

MODELO COMPUTACIONAL DE DESENVOLVIMENTO

Um dos pontos fundamentais foi desenvolver a evolução dos parâmetros de projeto de uma forma estruturada e padronizada, utilizando um modelo computacional de diagramas, visando a criação dos resultados desejados com o compartilhamento da experiência dentro do grupo de trabalho após o treinamento inicial, passando por 3 macro fases: (1) Detalhamento Inicial; (2) Desenvolvimento; (3) Fechamento dos Resultados conforme diagrama da figura 4. Nesse momento, os profissionais em treinamento são alocados na posição de desenvolvedor, no qual percorrerão todo o processo presente no diagrama funcional de desenvolvimento, colocando em prática os aprendizados teóricos que acabaram de receber, conforme melhor detalhado nos subtópicos abaixo.

Figura 4 - Diagrama de Desenvolvimento.



Fonte: próprio autor.

DETALHAMENTO INICIAL

Nessa primeira etapa, o *Product Owner* faz a escolha do tema a ser desenvolvido. O item deve ser alinhado com o *Scrum Master*, o qual tem papel fundamental no acompanhamento do desenvolvimento e controle do tempo de execução além de ser um profissional com habilidades técnicas e emocionais para dar suporte aos desenvolvedores.

No momento que o desenvolvedor recebe a tarefa, o primeiro ponto é fazer um detalhamento de tudo que se conhece do tema de projeto. Por exemplo, se o projeto envolve o detalhamento de uma funcionalidade, todas as interfaces necessárias para essa funcionalidade precisam ser entendidas e detalhadas junto com o responsável técnico dessa funcionalidade. Todos os limites de utilização devem estar contidos nesse detalhamento, deixando bem claro o que faz parte do escopo do estudo e o que está fora. Esse é um processo interativo em que diversos laços de confirmação dos limites são feitos dentro da equipe.

Nesse momento, o desenvolvedor consegue adquirir conhecimentos mais detalhados sobre o projeto que ele vai desenvolver, além de expandir sua *network* dentro do ambiente corporativo com novos contatos profissionais, o que vai permitir uma melhor diversificação de conhecimento e um maior número de interessados que o resultado do projeto venha a entregar resultados positivos.

DESENVOLVIMENTO

Nessa fase, tem-se o objetivo de detalhar tecnicamente todas as interfaces de forma objetiva e permitir a integração com os sistemas automáticos de validação dentro dos limites de atuação definidos. Existe a criação de um conhecimento mais profundo sobre os limites

do projeto, detalhando os possíveis casos de uso e mudanças de estado esperado durante todo o funcionamento.

O desenvolvedor utiliza essa fase para aprimorar o conhecimento técnico, adquirido nos treinamentos, de uma forma prática e objetiva com a criação de um planejamento de todos os testes que devem ser englobados nesse processo de automação dos testes. Todo o acompanhamento de projeto é primordial para garantir o alinhamento do trabalho com os objetivos traçados, da mesma forma que qualquer bloqueio no desenvolvimento possa ser eliminado durante esse trajeto.

No final dessa etapa, o desenvolvedor consegue ter uma boa visão do projeto, com conhecimentos das documentações levantadas com os requisitos de projeto, lista de diversos métodos de teste elaborados de forma automática, juntamente com listagem de desenvolvimentos futuros e a serem executados e uma bancada de validação elaborada para rodar os experimentos do projeto.

FECHAMENTO DOS RESULTADOS

Na última etapa do processo de desenvolvimento, é possível monitorar os resultados alcançados com os desenvolvimentos executados, analisar os resultados alcançados e tomando uma decisão se foi suficiente para entrega do produto mínimo viável do projeto.

Esse é o momento que o desenvolvedor consolida a experiência e realmente consegue entender todo o material que foi passado durante o treinamento. Existe a consolidação formal dos resultados, incluindo documentação técnica detalhada do que foi executado, apresentando passo a passo para criação e repetição do projeto.

Outra agregação de valor dessa etapa é a apresentação dos resultados pelo desenvolvedor para o *Product Owner*. Nessa etapa, todos os demais desenvolvedores e envolvidos são convidados para essa apresentação, em que é feita uma sabatina de todo o fluxo de desenvolvimento, forçando com que o desenvolvedor estude a fundo antes da apresentação dos resultados.

MÉTODOS DE ACOMPANHAMENTO DE PROGRESSÃO DO CONHECIMENTO AGILE / SCRUM

Os gerentes de projeto têm focado nas últimas décadas em indicadores de sucesso como custo, tempo, desempenho e satisfação do cliente. Todos esses indicadores são impactados diretamente por um outro indicador não menos importante intitulado conhecimento. O aumento do conhecimento dentro de uma organização permite que não sejam encontrados os mesmos problemas repetidamente, fazendo com que não seja necessário reinventar as soluções para os problemas. Esse indicador conhecimento ajuda então a organização a planejar melhor um projeto, atender aos requisitos de custo, cronograma e desempenho.

A identificação de um conhecimento crítico e a progressão da sua difusão dentro da organização, permite que sejam implementadas estratégias para disponibilizar o conhecimento certo no momento certo para o indivíduo ou projeto certo.

Neste contexto pode-se destacar 3 dos 12 princípios do manifesto ágil (BECK *et al.*, 2001) que são utilizados como base no compartilhamento e acompanhamento do conhecimento dentro do fluxo do processo Scrum:

1. O método mais eficiente e eficaz de transmitir informações para e entre uma equipe de desenvolvimento é através de conversa face a face.
2. Contínua atenção à excelência técnica e bom design aumenta a agilidade.
3. Em intervalos regulares, a equipe reflete sobre como se tornar mais eficaz e então refina e ajusta seu comportamento em comum acordo.

Dentro do processo Scrum utilizado, os “*Scrum Masters*” assumem também o papel de mentores, tendo então uma interação bem próxima com os desenvolvedores, a qual possibilita a troca formal e informal de conhecimentos. Esse tipo de método de aprendizado funciona bem em um projeto *Scrum*, devido à flexibilidade na disponibilidade do mentor ou aprendiz.

Ainda seguindo no mesmo contexto, os desenvolvedores participam das “*Sprint Reviews*” de mais de um projeto, tendo então a oportunidade de todos os membros dos projetos e/ou equipes sejam expostos ao processo de desenvolvimento de diferentes produtos e serviços. Essa exposição ajuda na interação com membros de outros projetos e/ou equipes de várias formas, como na discussão sobre pontos fortes, pontos fracos, oportunidades de melhoria do projeto em revisão, bem como o reconhecimento de diferentes abordagens técnicas, métodos e novos conhecimentos que podem ser usados para aprimorar o desempenho dos projetos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um dos objetivos principais visados durante o desenvolvimento está ligado à redução do tempo necessário para alocação de novos integrantes aos meios de desenvolvimento com os conhecimentos

adquiridos. Nessa linha de desenvolvimento, alguns pontos são interessantes levantar.

Ao utilizar a modelagem de transformação do conhecimento, observou-se uma redução do tempo de capacitação dos candidatos, com resultados satisfatórios de conhecimento técnico e comportamental após finalização dos treinamentos teóricos e do primeiro ciclo de desenvolvimento de testes. Algumas diferenças foram observadas entre os grupos já com experiência de mercado versus grupo formado com pessoas recém-saídas da academia.

Encontrar mão de obra capacitada no mercado, com conhecimentos técnicos, conhecimentos dos processos e habilidades interpessoais satisfatórias é uma tarefa difícil. Muitas vezes essa contratação externa passa por momentos rápidos de entrevistas e seleção. Nem sempre os envolvidos nessa seleção têm tempo suficiente para conhecer o candidato e confirmar o nível de aderência do candidato à cultura de empresa. Ter as habilidades técnicas, conhecidas como *hard skills*, muitas vezes reduz o tempo de obter o colaborador integrando rapidamente com o trabalho, porém não é garantia que ele tenha os *soft skills* necessário para uma integração completa com a equipe e com a cultura corporativa.

Por outro lado, a formação interna de recém-formados permite uma aderência mais rápida dos candidatos à cultura da empresa e aos membros da equipe. É verdade também que necessita de um tempo maior para adquirir experiência e habilidades técnicas, caso nenhum acompanhamento próximo seja feito. O fato de ser proveniente da academia, por si só, não é motivo suficiente para garantir sucesso no processo de compartilhamento.

A seleção de um candidato deve ser analisada de acordo com a necessidade da empresa, com isso um perfil do que se espera deve ser elaborado com relação às habilidades, conhecimento e o talento

da pessoa. Vale ressaltar que o talento difere das habilidades uma vez que esta pode ser melhorada através da prática contínua e o talento é algo que já nasce com o indivíduo. O conhecimento também deve ser levado em consideração uma vez que um profissional recém-formado dificilmente terá um conhecimento tácito, no entanto, a depender de como ele se dedicou na sua vida acadêmica e do seu talento na profissão que escolheu para atuar, ele pode vir a ter melhores resultados do que um profissional já com experiência no ramo.

CONCLUSÕES

O panorama tecnológico atual se notabiliza por rápidas mudanças, é necessário cultivar competências e habilidades essenciais para o novo *status quo* no setor industrial. Possuir um modelo de transformação de conhecimento em desenvolvimento de produtos é mandatório em uma economia em redes, em que os avanços tecnológicos que nos importam hoje serão obscurecidos rapidamente amanhã. É muito provável que as tecnologias da Indústria 4.0 se expandirão de uma forma inédita, capilarizada e transversal.

Ter um modelo definido de treinamento e capacitação melhora a integração de novos membros do time de desenvolvimento em habilidades escassas no mercado. Obter os treinamentos próximos ao momento da necessidade da habilidade ajuda na assimilação do conhecimento com um ponto de vista funcional. Um diagrama de atividades claros, padronizados, mesclando conhecimentos tácitos e explícitos ajudam a equalizar as respostas de diversos novos colaboradores melhorando na entrega dos resultados.

Ao preparar uma nova equipe para desenvolvimento de produto, existe um *gap* grande entre a academia e a indústria. Os modelos usuais

envolvem em alocar o novo colaborador na atividade e algumas vezes treiná-lo com tudo que ele vai precisar para exercer a função no momento inicial. Geralmente, leva-se muito tempo até que a integração desse colaborador realmente ocorra. Ao integrar novos colaboradores, seguindo a proposta de modelo descrito no capítulo, intercalando seminários com aplicações práticas, a curva de absorção de conhecimento e preparação para desafios de desenvolvimento é muito mais rápido, de acordo com conversas com executivos de desenvolvimento de produto que tiveram contato com pessoas que passaram por esse ciclo.

Por outro lado, os programas acadêmicos precisam revisar os conteúdos formativos, habilidades e competências transmitidas. Aparentemente, o modelo de transmissão de conhecimento e os livros textos adotados na academia ainda estão perdidos na Terceira Revolução Industrial, enquanto importante parte da indústria demanda por uma formação disruptiva, de uma visão na Quarta Revolução Industrial. Entendemos que cultivar o pensamento ágio, colaborativo, integrado e ético seria um possível rumo a ser adotado por acadêmicos para estar em sinergia com o ambiente de mudanças e incertezas que se apresenta no setor industrial.

Um ponto a ser considerado também é que um profissional novo no mercado está livre de conceitos e práticas que não estão de acordo com a empresa contratante, com isso, é muito mais fácil de um profissional sem experiência ser treinado e moldado de acordo com as expectativas da empresa contratante.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Ford Motor Company pelo apoio dado aos autores para publicação de nosso trabalho, também aos nossos orientadores pelo suporte e conselhos valiosos durante essa jornada.

REFERÊNCIAS

ARIGA, Kenn *et al.* Organization adjustments, job training and productivity: Evidence from Japanese automobile makers. *Journal of the Japanese and International Economies*, v. 27, p. 1-34, 2013.

BECK, Kent *et al.* Manifesto for agile software development. 2001.

GILCHRIST, Alasdair. *Industry 4.0: the industrial internet of things*. Berkeley, USA: Apress, 2016.

KAGERMANN, Henning *et al.* *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Berlin, Germany: Forschungsunion, 2013.

KARACAY, Gaye. Talent development for Industry 4.0. In: USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. *Industry 4.0: Managing the digital transformation*. Springer, Cham, 2018. p. 123-136.

KOCIAN, Jiri *et al.* Application of modeling and simulation techniques for technology units in industrial control. In: SAMBATH, Sabo; ZHU, Egui (Ed.). *Frontiers in Computer Education*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012. p. 491-499.

LANDAETA, Rafael E.; VISCARDI, Stacia; TOLK, Andreas. Strategic management of scrum projects: An organizational learning perspective. In: *First International Technology Management Conference*. IEEE, 2011. p. 651-656.

NONAKA, Ikujiro; TAKEUCHI, Hirotaka. *Criação de conhecimento na empresa*. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 1997.

OECD. Getting skills right: assessing and anticipating changing skill needs. *Publishing, Paris*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264252073-en>. 2016. Acesso em: 02 jun. 2021.

PELLICCIONE, Patrizio *et al.* Automotive architecture framework: The experience of volvo cars. *Journal of systems architecture*, v. 77, p. 83-100, 2017.

PYZDEK, Thomas; KELLER, Paul A. *A complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels*. New York: McGraw-Hill, 2003.

QUINTINI, Glenda. Skills at work: How skills and their use matter in the labour market, *OECD social, employment and Migration working papers*, No. 158, v. 1, ed.1, p. 1-62, 2014.

RÜBMANN, Michael *et al.* Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, v. 9, n. 1, p. 54-89, 2015.

SALKIN, Ceren *et al.* A conceptual framework for Industry 4.0. In: USTUNDAG, Alp; CEVIKCAN, Emre. *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*. Springer, Cham, 2018. p. 3-23.

SAMPAIO, Renelson Ribeiro; PASSOS, Francisco Uchoa; ASSIS, Victor. Compartilhando conhecimento em projeto automotivo: o EcoSport da Ford do Brasil. *Revista de Administração de Empresas*, v. 54, n. 4, p. 414-428, 2014.

VON WANGENHEIM, Christiane Gresse; SAVI, Rafael; BORGATTO, Adriano Ferreti. SCRUMIA—An educational game for teaching SCRUM in computing courses. *Journal of Systems and Software*, v. 86, n. 10, p. 2675-2687, 2013.

YANG, Kai; BASEM, S.; EL-HAIK, Basem. *Design for six sigma*. New York: McGraw-Hill, 2003.



3

Bruno Oliveira Cardoso

Hugo Saba

José Vicente Cardoso Santos

Renelson Ribeiro Sampaio

MODELAGEM MULTICRITÉRIO NO PROCESSO DECISÓRIO DE LINHA DE CRÉDITO NO BANCO DO BRASIL



RESUMO:

Considera-se os critérios de factibilidade de créditos na linha empresarial e objetiva-se a modelagem dos mesmos com uso de metodologia multicritério em pessoas jurídicas, no varejo, em instituição financeira com adoção de revisão de literatura lastreada na identificação das referências bibliográficas e afins. Apresenta-se relação de medidas com a adoção ações específicas.

PALAVRAS-CHAVE: Linhas de crédito; MCDA; Pessoa Jurídica.

INTRODUÇÃO

A origem dos bancos está ligada à antiguidade desde a época da Babilônia pois já era prática comum o empréstimo e guarda de dinheiro e valores sem, ainda, a prática dos juros das operações complexas da atualidade, mas sempre proporcionando guarda e segurança, que à época tinha um caráter sagrado, pois o dinheiro era confiado aos sacerdotes nos templos (LEVY, 1972).

Já na Idade Média, em várias localidades, era considerada ilegal a atividade dos que emprestavam dinheiro cobrando juros, não obstante, a prática chegou para ficar e com a adesão da Igreja, que de início desaprovava, mas em seguida, com as cruzadas, adotou como prática comum (GOLDSMITH, 1986).

Nos dias atuais, estas práticas já são por demais corriqueiras e até obrigatórias de forma que se consubstancia o viés de interesse desta pesquisa, onde se considera os cenários históricos dos bancos no Brasil em consonância com o surgimento das linhas de crédito, bem como os critérios de factibilidade, aplicações e desdobramentos, em especial na linha empresarial e com isto tem-se como problema da pesquisa a modelagem de critérios lastreados em base normativa do Banco do Brasil para criação de indicadores numéricos e hierárquicos em escala de prioridades de ofertas de linhas de crédito.

O Banco do Brasil, objeto desta pesquisa, é constituído na forma de sociedade de economia mista, que já teve participação da União em 68,7% das ações e atualmente tem participação de 50% da União, de maneira que o Banco opera hoje com mais de 18.000 postos de atendimento distribuídos pelo país, entre agências e postos de atendimento diversos, além disto, o mesmo está presente em 23 países, e segundo dados do próprio banco, apresenta mais de 100 mil funcionários (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020; COSTA NETO, 2004; BRESSER-PEREIRA, 1998).

Como toda grande instituição financeira da atualidade o Banco do Brasil oferece linhas de créditos diversificadas, ajustadas aos critérios estabelecidos. Como resultado destes procedimentos, o processo de escolha de uma linha de crédito mais adequada e compatível com o perfil do cliente, definido pelo Banco, tornou-se uma tarefa laboriosa e passível frequentemente a erros (BRANDÃO, 2010).

Vale também o registro de que já é prática histórica do Banco do Brasil a relação com o mercado de varejo pois é disponibilizada uma grande diversidade de produtos e serviços para atender aos seus mais de 54 milhões de clientes no Brasil, além de seus clientes no exterior e as tendências atuais da manutenção da estratégia de obter retorno financeiro por meio do aumento das operações de crédito com redução das taxas *spread* do próprio banco (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020).

Anualmente, o Banco contrata uma empresa especializada para realizar pesquisa de satisfação de clientes visando o aprimoramento do atendimento e desenvolvimento de melhores produtos e serviços. O resultado da pesquisa é submetido às unidades estratégicas e é utilizado como insumo na definição das diretrizes de atuação da Empresa para os próximos anos.

Com isto tem-se como questão norteadora da pesquisa a factibilidade de adoção de uma metodologia multicritério para definir um processo decisório de linha de crédito para pessoa jurídica, no varejo, no Banco do Brasil e se isto pode, ou não, contribuir para otimizar essa tarefa e reduzir tais erros?

Em reflexões a estes questionamentos adota-se como objetivo geral desta pesquisa a construção de um modelo numérico e com pesos e ponderações com uso de metodologia multicritério e derivativos da mesma para os processos decisórios de linhas de crédito para pessoa jurídica, no varejo, em instituição financeira. São objetivos específicos da pesquisa: a aplicação de metodologia

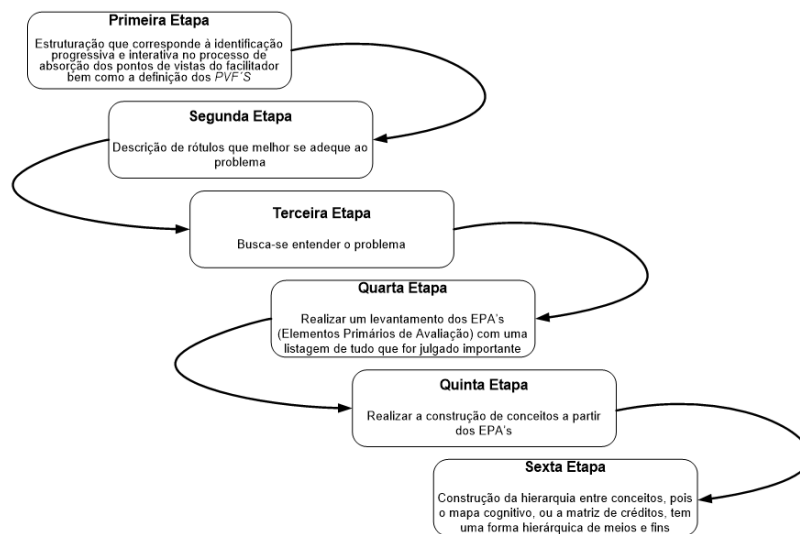
multicritério com atribuições de pesos normalizados na matriz de perfil de pessoa jurídica; o mapeamento das instruções normativas que norteiam a definição dos critérios de enquadramento de cada linha de crédito; e, o proporcionar revisão de literatura nas áreas afins.

Para consolidar estes objetivos adota-se uma metodologia que, segundo o que preconizam Cervo e Bervian (2011), é lastreada em uma revisão de literatura, de cunho histórico e documental, com base em livros, artigos, dissertações e teses sobre ambas as temáticas, créditos empresariais e metodologia multicritério, e afins em concomitância com um estudo de caso de caráter de pesquisa-ação com imersão em cenário real encontrado em banco específico no mercado empresarial brasileiro.

Corroborando com Cervo e Bervian (2011), preconiza Ruiz (2015) que trata-se de uma pesquisa híbrida, pois se combinam dois métodos clássicos, a revisão de literatura com o estudo de caso de dados reais e de cenário oculto, visto a não exposição dos dados do referido banco nem das referidas empresas elencadas como em pleito de linhas de crédito, não obstante, os dados postos são reais e compatíveis com o cenário empresarial atual do Brasil.

Os procedimentos metodológicos objetivam a construção de uma fonte de conhecimento inicial combinando-se a pesquisa de informações referente às 14 linhas de crédito oferecidas aos clientes pessoa jurídica, no varejo, da referida instituição financeira com fins de construção de uma planilha ou mapa com as características e especificidades para cada linha e, com os mesmos, a atribuição de pesos para cada item de características desta matriz de referências, ou seja, a construção e aplicação da Metodologia Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) nestas etapas foram seguidas e são descritas no esquema metodológico a seguir e sendo feito da seguinte forma, em etapas, a citar elencadas de forma ilustrativa na figura 1, a seguir:

Figura 1 - Etapas construtivas no MCDA.



Fonte: Próprios autores, adaptado de Ensslin, Neto e Noronha (2001).

Deve-se registrar que houve uma conversa informal com 12 gerentes de Pessoa Jurídica de 8 agências diferentes e que houve uma concordância geral (unanimidade) em afirmar que se perde muito tempo pesquisando a melhor linha de crédito para atender ao perfil do cliente.

Em geral, nos métodos genéricos MCDAs, para consolidar-se os elementos primários de avaliação (EPA) são feitas ações que culminam em entrevistas com os decisores, e as perguntas são desenvolvidas de tal forma que se elenca, com elas, todas as possibilidades em análise (ENSSLIN; NETO; NORONHA, 2001).

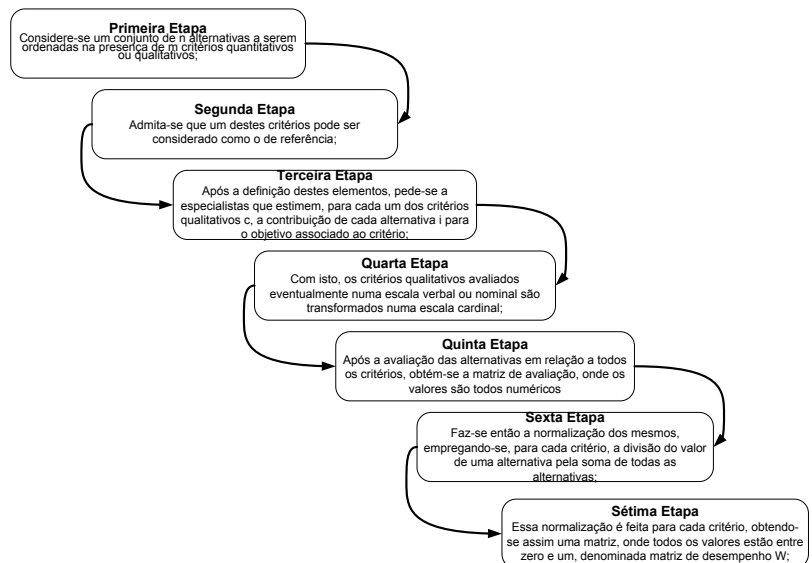
Já os descritores são construídos através dos pontos de vistas fundamentais, de forma que, para cada linha de crédito, tem-se um conjunto de pontos de vistas fundamentais, que são específicos para cada uma das linhas, o que culmina em escalas cardinais diferenciadas para cada linha e a construção de modelos multicritério de apoio ao processo decisório específico para cada cenário desdobra-se por

propor métodos alternativos, não obstante, com a mesma filosofia e princípios fundamentais do MCDA (CORRÊA, 1996), a exemplo tem-se a proposta do método de Tomada de Decisão Interativa Multicritério (TODIM), que é elucidada a seguir com o conjunto de ordenações de alternativas que neste caso são as diversas alternativas de linhas de crédito, e que se denomina de TODIM.

Um dos métodos multicritério que pode ser adotado é um método de ordenação de alternativas denominado de TODIM e que é lastreado na literatura científica que, segundo preconiza Passos *et al.* (2013), vem contribuir como uma opção para as aplicações típicas de classificação de alternativas utilizando múltiplos critérios. Este método considera as situações que envolvem perdas, onde as pessoas preferem se arriscar a perder mais, porém, com a possibilidade de nada perderem, a ter uma perda menor, porém, certa (GOMES, LIMA, 1992).

Desta forma o método é elencado na Figura 2 a seguir:

Figura 2 - Etapas do MCDA alternativo TODIM.



Fonte: Próprios autores, adaptado de Gomes e Lima (1992).

Naturalmente, deve-se sempre comparar métodos aplicáveis a um mesmo problema prático, buscando aprender mais e mais sobre as vantagens e desvantagens de cada um desses métodos.

Hoje, o método TODIM é um enfoque multicritério que, tendo surgido na literatura ao início dos anos 90, possui diferentes formulações analíticas e extensões daquela formulação inicial, destinado a abordar diferentes categorias de problemas práticos de tomada de decisão, que deve ser modelado caso a caso.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA- METODOLÓGICA CRÉDITOS NO PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO NO BRASIL

O crédito tradicional é a concessão de uma quantia em dinheiro ou outro bem a certa pessoa, sendo que está se compromete a devolver a quantia em um prazo predeterminado e acrescido de juros (COSTA NETO, 2004). Logo, o indivíduo ou empresa recebe um adiantamento que deve ser devolvido totalmente e acrescido de um valor calculado sobre o capital.

No Brasil, o número de pessoas com conta em bancos vem crescendo a cada ano, haja vista a facilitação por parte das instituições para a abertura das contas como, por exemplo, em casas lotéricas e correspondentes bancários, mesmos locais onde os clientes podem fazer saques, depósitos e pagar contas. Dados do CIAB FEBRABAN 2014 indicam que de 2008 a 2014 o número de contas correntes abertas no Brasil saltou de 130 milhões para 160 milhões, um crescimento continuado com uma evolução que se deve à disponibilidade de serviços bancários (MORA, 2015).

Uma corrente de investigação tem-se preocupado em compreender e analisar a contribuição do relacionamento bancário na

variação do valor da empresa e no seu desenvolvimento e crescimento. A investigação sobre o relacionamento bancário, entretanto, segue outras direções, abandonando a questão central do valor do relacionamento bancário para os seus intervenientes diretos (ALVES; SOARES, 2004).

O ambiente de negócios no país deve buscar liberdade de inovação e possuir regras bem claras e definidas na execução dos projetos de financiamento. A seguir ilustra-se (Quadro 1), alguns exemplos dos principais itens constituintes de um mercado de capitais desenvolvido e suas consequências positivas para um país:

Quadro 1 - Principais itens do mercado de capitais e suas consequências positivas para um país.

Classificação	Referências seminais
Financiamento da produção e novos negócios	Financiamento da produção e novos negócios, pois através da venda de ações as empresas obtêm recursos para expandir seu capital.
Recursos poupados como investimentos	Possibilidade de que os recursos poupados se tornem investimentos, proporcionando crescimento econômico e crescimento de produtividade com a inserção das poupanças nos setores produtivos.
Meio de crescimento das companhias	Constituição de um meio de crescimento das companhias, que podem aumentar sua participação no mercado através da distribuição de ações.
Redistribuição de renda	Auxílio na redistribuição de renda, à medida que proporciona a seus investidores ganhos decorrentes de valorizações das ações e distribuição de dividendos.
Aprimoramento dos princípios da Governança Corporativa	Aprimoramento dos princípios da Governança Corporativa, através de melhorias na administração e eficiência, visto que as companhias abertas precisam cumprir regras cada vez mais rígidas.
Possibilidade de inserção de pequenos investidores	Possibilidade de inserção de pequenos investidores, já que para investir em ações não há a necessidade de grandes somas de capital.
Mercado de Ações	O Mercado de Ações atua como indicador econômico, uma vez que é extremamente sensível e a cotação das ações pode refletir as forças do mercado.

Fonte: Adaptado de Vilson (1996).

Neste sentido, há que se considerar, no fornecimento de créditos para as empresas, a capacidade fomentadora das mesmas, em movimentação de capitais, do financiamento da produção e novos negócios, dos recursos poupados, dos meios de crescimento das companhias, da redistribuição de renda para toda a economia, do aprimoramento dos princípios da governança corporativa e das possibilidades de inserção de pequenos investidores no mercado de ações.

Com o exposto sobre os conceitos e tipologias dos créditos aborda-se na seção seguinte os modelos e metodologias utilizadas no processo de tomada de decisão.

CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS DE TOMADA DE DECISÃO

Os processos de tomada de decisão ou de problemas da decisão podem ser vistos como algo análogo a um jogo, onde a natureza escolhe um estado do conjunto de possíveis estados e um decisor, tomando proveito do que sabe sobre este estado, escolhe uma ação dentro do conjunto de ações, e, em função da escolha do decisor, e da natureza do processo em análise, tem-se um ganho expresso em termos de função utilidade, que é denotada por uma função que representa o conjunto das preferências que o decisor tem sobre um conjunto de possíveis consequências que podem advir das suas escolhas iniciais (KEENEY; RAIFFA, 1976).

Desta maneira a função que modela todas as possibilidades de combinações das variáveis do problema é denominada de função

utilidade de forma que mensura em uma escala cardinal as preferências que o decisor tem, de forma que estas hipóteses são formuladas através de axiomas de preferências.

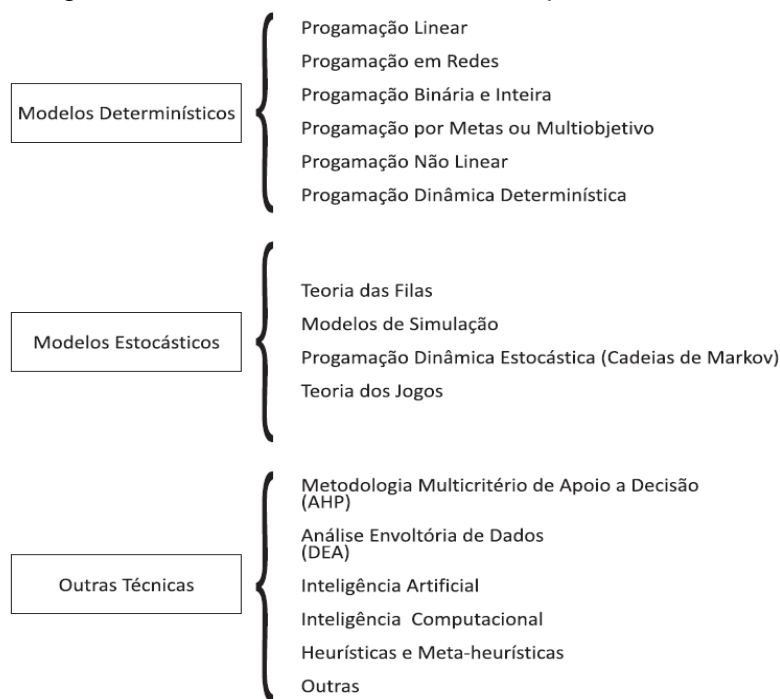
Ainda nesta mesma linha, o método TODIM utiliza-se de um modelo de decisão multicritério baseado em uma modelagem da utilidade multiatributo onde as preferências do decisor são modeladas com o objetivo de representar os múltiplos objetivos relativos ao problema de oferta de crédito (RAGSDALE, 2009).

Em ambos os modelos, o de pesquisa operacional, que se utiliza da função utilidade, seus atributos, pesos e o modelo de tomada de decisão, nos seus diversos métodos, inclusive o TODIM, pode-se construir modelos matemáticos bastante representativos dos respectivos sistemas dinâmicos em estudo, de forma que é possível aplicar as técnicas matemáticas de otimização para maximizar ou minimizar uma função previamente definida como função de utilidade, ou, como função específica, contínua ou discreta, em variáveis e resultados, visando sempre encontrar uma “solução ótima” do problema, isto é, que resulte no melhor desempenho possível do sistema, segundo este critério de desempenho previamente definido.

Assim, os métodos determinísticos e estocásticos utilizam-se da função de utilidade, inclusive com as suas variáveis e com os seus resultados contínuos, e os demais métodos, podem ou não se utilizar da mesma, desde que faça sentido a sua respectiva modelagem e as interpretações advindas dela (BRANDÃO, 2010).

Desta maneira, de uma forma geral, os métodos ou ferramentas utilizadas na pesquisa operacional podem ser elencadas na figura 3:

Figura 3 - Métodos ou ferramentas utilizadas no processo decisório.



Fonte: Adaptado de ANDRADE (2009).

Pode-se afirmar que, de uma forma geral, os métodos de apoio à decisão, que utilizam mais de um argumento ou processos decisórios, são denominados de métodos multicritérios, desta maneira, os métodos Multicritérios de Apoio a Decisão (MCDa) partem do pressuposto de que existe um dilema de objetivos conflitantes, o que dificulta a existência de uma “solução ótima”, mas compromete o facilitador a encontrar uma “solução de melhor compromisso” segundo o que nos mostra Bana e Costa e Vansnick (2008).

Os métodos multicritério de apoio à decisão foram propostos inicialmente na década de 1970 com fins de proposição de formas ou

técnicas para a solução de problemas de tomada de decisão, através de estratégias de cálculo com pesos e somatórios integrados aos mesmos. Estas técnicas possibilitaram a constituição de um lastro de argumentação com o uso de diversos pontos de vista, ou diversas variáveis que a princípio não teriam relação entre si, e em alguns casos de fato não têm, não obstante, possibilitam a incorporações de incertezas através de pesos com lastro numérico associado (GOMES, 2004).

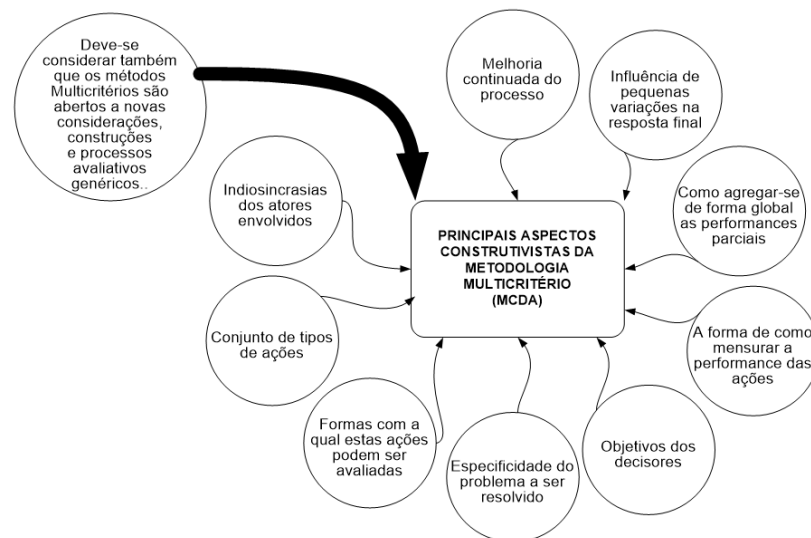
Com o exposto pode-se afirmar então que, formalmente, os métodos multicritério de apoio à decisão podem ser definidos como uma atividade, ou conjunto de atividades, em que o facilitador, de forma científica, objetiva a obtenção de elementos que respondam às questões levantadas pelos decisores em um processo decisório, de forma que estes elementos ajudem no processo de entendimento da sua decisão (ROY, 1993).

Neste caso em pesquisa tem-se um único ator e um único decisor em uma mesma pessoa, pois, trata-se do representante do banco que analisará as posições de créditos das respectivas organizações empresariais nas suas respectivas carteiras, podendo-se inclusive, em alguns casos, e o método posto, convocar-se mais de um decisor nas diversas carteiras das gerências indexadas ao atendimento das empresas.

Com isto, pode-se classificar três tipos de atores, a citar: os decisores, os representantes e o facilitador. Os **decisores** são aqueles a quem foi formalmente ou moralmente delegado o poder de decisão; o **representante**, que é aquele ator incumbido pelo decisor para representá-lo no processo de apoio à decisão; e, finalmente, tem-se o que é denominado de **Facilitador** e que também é um ator do processo decisório, uma vez que ele **nunca será neutro** no processo de apoio à decisão e, portanto, o influencia (SCHWARZ, 1994; ENSSLIN; NETO; NORONHA, 2001).

Este conjunto de características, bem como a factibilidade de melhoria contínua do método para cada problema em que o mesmo é aplicado pode ser melhor ilustrado na figura 4:

Figura 4 - Características da construção de um modelo multicritério de apoio à decisão (MCDA).



Fonte: Próprio Autor, 2016.

Além do exposto, deve-se considerar também a existência dos denominados *pontos de vistas fundamentais (PVF's)*, que são um conjunto que vai representar a *expertise* do facilitador e que refletem todo o aspecto da decisão real percebido como importante para a construção de um modelo de avaliação de ações existentes ou a construir. Deve-se observar que os PVF's são derivados e estão indexados a um conjunto dos sistemas de valores ou estratégias de intervenção de um decisor no processo de decisão (ENSSLIN; NETO; NORONHA, 2001).

Tais propriedades demandam de conceitos de inteligibilidade, de consensualidade, de operacionalidade e da isolabilidade, tal qual são apresentadas no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2 - Principais propriedades dos PVF's.

Adjetivação dos PVF's	Características
Inteligibilidade	Os PVF's devem ser adequados tanto como ferramenta que permita a modelação de preferências dos decisores, quanto como base de comunicação, argumentação e confrontação de valores e convicções entre eles;
Consensualidade	Os PVF's devem ser aceitos por todos os decisores como suficientemente importante;
Operacionalidade	Para que um PVF seja operacionalizável, este deve permitir a existência de uma escala de preferência local associada aos níveis de impacto de tal ponto de vista fundamental
Isolabilidade	Os PVF's devem ser isoláveis e, se possível, passíveis de avaliação considerando-se todos os demais PVF's como constantes ou inalteráveis;

Fonte: Adaptado de Bana e Costa (1986).

Desta maneira o uso das características das PVF's de forma concomitante permite que os mesmos reflitam de forma própria a percepção do facilitador naquele momento, refletindo-se a sua expertise e não desconsiderando-se o aprimoramento da mesma.

Além disso, são permitidos valores intermediários de contribuição bem como critérios do tipo qualitativo ou quantitativo com os valores de contribuição que podem ser definidos de forma diferente para cada um inclusive (BANA E COSTA; VANSNICK, 2008).

Deve-se registrar que, com o uso do método TODIM e por tratar-se de uma modalidade de método multicritério, têm-se como característica poder empregar em seus procedimentos de cálculos as informações, dados e preferências dos decisores o que auxilia o processo de decisão, recomendando ações ou cursos de ações a quem vai tomar a decisão que pode ser realizado por uma pessoa ou grupo de pessoas, ou até mesmo por um sistema eleito para estes procedimentos.

As relações entre o sistema bancário e as empresas tampouco se constituíram em uma base relevante e sólida de financiamento do investimento no Brasil. Desenvolveu-se um modelo de crédito, com forte participação do Estado, não apenas no que diz respeito à administração de taxas de juros e condições de crédito, mas também no fornecimento direto de financiamento. A participação do Estado foi muito além da presença de instituições especializadas.

Através da forte presença estatal no provimento de crédito de longo prazo, coube ao sistema bancário privado centrar-se em atividades creditícias voltadas a curto e médio prazo, como operações de capital de giro e antecipações de recebíveis, gerando um modelo de complementariedade de funções dentro do sistema bancário brasileiro.

MODELAGEM DAS LINHAS DE CRÉDITO

Para melhor entendermos as linhas de crédito, identificamos as características necessárias de cada linha. Buscou-se então construir um mapa com essas informações, baseado nas perguntas que são feitas aos clientes para que os gerentes possam, a partir das respostas, buscar a ou as linhas que se encaixam no perfil do cliente.

Atualmente isso é feito de forma manual. O Gerente visita o cliente, ou o cliente vai à agência e na conversa surge a necessidade de crédito. Acompanhando o trabalho desses gerentes, verificamos que as questões analisadas eram sempre as mesmas, descoberto isso, buscamos definir quais eram os conceitos-chave, as premissas sob as quais era decidido se um determinado cliente pode ter acesso ou não a determinada linha de crédito.

Desta maneira, as linhas de crédito adotadas na pesquisa, tem finalidades específicas que balizam a sua utilização e são assim denominadas (Quadro 3).

Quadro 3 - Linhas de Crédito e suas respectivas finalidades.

Linha de Crédito	Finalidade
Giro Rápido	Reforço de Capital de Giro
Antecipação de Crédito ao Lojista (ACL)	Antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cartões de crédito.
Cartão do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)	Financiar máquinas, equipamentos, bens de produção, bens de capital e outros bens.
Conta Garantida	Reforço de Capital de Giro
Desconto de Cheques	Antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cheques pré-datados custodiados no Banco.
Finame Empresarial	Financiar a aquisição, produção ou comercialização de máquinas, equipamentos, caminhões e ônibus nacionais e novos, credenciados no BNDES, para empresas dos setores de comércio, indústria e serviços.
Finame Empresarial PSI	Financiar a aquisição isolada e produção de máquinas, equipamentos novos, inclusive caminhões e ônibus chassi, caminhões tratores, carretas, cavalos mecânicos, reboques, semirreboques, incluindo tipo dolly, tanques e afins, novos, fabricados no país e cadastrados no BNDES.
Finame Modermaq	Financiar a aquisição de máquinas e equipamentos
Giro Empresa Flex	Reforço de Capital de Giro, financiamento para aquisição de bens e serviços (pagamento a fornecedores).
Giro Empresa Flex - Liberações Estruturadas	Reforço de Capital de Giro, financiamento para aquisição de bens e serviços (pagamento a fornecedores), crédito à exportação, bem como produção para insumos para exportação.
Giro Mix PASEP	Reforço de capital de giro
Giro Recebíveis	Reforço de capital de giro

Linha de Crédito	Finalidade
Proger Turismo Investimento	Apoio financeiro para investimentos ou investimentos com capital de giro associado a projetos, a micro e pequena empresa da cadeia produtiva do setor de turismo que proporcione geração ou manutenção do emprego e renda.
Proger Urbano Empresarial	Apoio financeiro para investimentos ou investimentos com capital de giro associado a projetos, a micro e pequena empresa que proporcione geração ou manutenção do emprego e renda.

Fonte: Registros dos Próprios Autores, 2020.

Como cada linha de crédito tem características peculiares e que as define como condições ou pré-requisitos para aderência da empresa às mesmas (Quadro 4), tem-se que estas características são construídas de forma híbrida, ou seja, com lastro na legislação positivada sobre cada temática, com base nas diretrizes dos incentivos governamentais da sua época de aplicação e com o viés de interesse da respectiva instituição bancária:

Quadro 4 - Características Principais de Cada Linha de Crédito.

Linha de Crédito	Características Principais
Giro Rápido	É ofertado nos bancos como auxílio de capital de giro, tendo como público-alvo micro empreendedor individual, empresário individual, eireli, micro e pequenas empresas com faturamento bruto anual menor ou igual a R\$ 5 milhões (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016a).
Antecipação de crédito ao lojista	Tem como finalidade a antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cartões de crédito. Seu público-alvo é composto por pessoa jurídica que desenvolva somente atividade comercial ou prestação de serviços, risco do cliente sendo A, B, C ou D, não se avalia o risco da operação (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016b).
Cartão BNDES	Tem a finalidade de financiar máquinas, equipamentos, bens de produção, bens de capital e outros bens (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016c).

Linha de Crédito	Características Principais
Conta Garantida	Tem por finalidade o auxílio de capital de giro, porém, o público-alvo é diferente da linha giro rápido, sendo composto por empresário Individual, micro e pequenas empresas com Faturamento Bruto Anual (FBA) mínimo de R\$ 10 milhões (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016a).
Desconto de Cheques	Semelhante à antecipação de crédito ao lojista que funciona com vendas realizadas com cartão de crédito, a linha de desconto de cheques tem como finalidade a antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cheques pré-datados custodiados no Banco e pode ser contratado por qualquer pessoa jurídica (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016b).
4.3.6. Finame Empresarial	Utilizada para financiar a aquisição, produção ou comercialização de máquinas, equipamentos, caminhões e ônibus nacionais e novos, credenciados no BNDES, para empresas dos setores de comércio, indústria e serviços (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016c).
Finame Empresarial PSI	Tem como finalidade financiar a aquisição isolada e produção de máquinas, equipamentos novos, inclusive caminhões e ônibus chassi, caminhões tratores, carretas, cavalos mecânicos, reboques, semirreboques, incluindo tipo dolly, tanques e afins, novos, fabricados no país e cadastrados no BNDES (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016c).
Finame Modernaq	Tem por finalidade de financiar a aquisição de máquinas e equipamentos, o público-alvo é composto de empresários individuais, micro, pequenas, médias e grandes empresas, fundações, associações, condomínios, sindicatos, cooperativas e assemelhadas (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016c).
Capital de Giro Empresa Flex	Tem por finalidades o reforço de capital de giro e também o financiamento para aquisição de bens e serviços (pagamento a fornecedores).
Empresa Flex - Liberação Estruturada	Além de reforço de capital de giro, financiamento para aquisição de bens e serviços (pagamento a fornecedores), esta linha também se destina ao crédito à exportação, bem como produção para insumos para exportação.
MIX - Pasep	Tem por finalidade reforçar o capital de giro da empresa que pode ser micro empreendedor individual, empresário individual, eireli, micro e pequenas empresas (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016a).

Linha de Crédito	Características Principais
Giro Recebíveis	Tem por finalidade o reforço de capital de giro com público-alvo composto de empresas dos segmentos Comércio, indústria ou serviços, com carteira de cobrança, custódia de cheques pré-datados ou agenda de cartão de crédito no Banco condicionando para contratação FBA acima de R\$ 500.000,00 (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016b).
Proger Turismo Investimento	Tem por finalidade o apoio financeiro para investimentos ou capital de giro associado a projetos, a micro e pequena empresa da cadeia produtiva do setor de turismo que proporcione geração ou manutenção do emprego e renda surge o Proger Turismo Investimento (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016c).
Proger Urbano Empresarial	Tem por finalidade o apoio financeiro para investimentos ou investimentos com capital de giro associado a projetos, para micro e pequena empresa que proporcione geração ou manutenção do emprego e renda. (PORTAL BANCO DO BRASIL, 2016c).

Fonte: Registros dos Próprios Autores, 2020.

PERFIL DOS CLIENTES EM ANÁLISE

Optou-se por adotar um conjunto com 5 perfis diferenciados de clientes em análise, de forma que cada perfil passe a representar um conjunto de clientes com a mesma categoria econômica e situacional.

Utilizando-se da estratégia de montagem algorítmica dos métodos multicritérios, onde se descreve cada possível classe de linhas de crédito e as suas respectivas condições ou direcionamentos para aderências às mesmas, conforme se observa na relação matemática e nos quadros a seguir, de acordo com questionamentos tradicionais que os gerentes encaminham para as pessoas jurídicas através dos seus representantes e sobre as questões fundamentais e inerentes ao pleito de crédito.

Neste sentido propõe-se a construção de uma função geratriz para o método TODIM, onde se tem o reflexo das variáveis utilizadas no problema em análise, bem como os seus pesos e valores normalizados. Esta função obedece às seguintes regras, a citar:

Equação 1 - Função de utilidade ou fórmula geratriz do método TODIM

$$Pontuação = \left[(F + PA + RC + RO + LCV + LR + CC)^{0.1} + \frac{(LL + G)^{(1,2,3,4,5)}}{5} \right] * 10 / 9 \quad (\text{Eq. 1})$$

onde as variáveis e notação podem ser entendidas como sendo: “F” a finalidade, “PA” o público-alvo, “RC” o risco cliente, “RO” o risco operação, “LCV” o limite de crédito vigente, “LR” a liberação de recursos, e o “CC” a afiliação Cielo, cobrança ou custódia, e o “LL” o limites da linha, e “G” as garantias; e, os valores em expoente nas relações das faixas discretas de variação são os seus pesos, totalizando-se assim uma pontuação máxima de 9, visto que as expressões já assumem a normalização destes valores com a divisão por seus valores máximos, tendo-se assim o máximo de pontos no total para cada análise. Desta forma tem-se a pontuação máxima em nove pontos e a normalização da mesma ao término dos cálculos em escala tradicional com o valor maximizado em dez unidades.

Como axioma da Equação 1 apresenta-se os condicionais:

Equação 2 Função de utilidade ou fórmula geratriz do método TODIM

$$Pontuação = \overbrace{\{F = 0 \vee PA = 0 \vee RC = 0 \vee RO = 0\} \vee \{LCV = 0 \vee LR = 0 \vee CC = 0 \vee LL = 0 \vee G\}}^{=0} = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

Ou seja, trata-se de uma equação lógica e que se impõe a nulidade da pontuação quando no processo decisório ocorre alguma das variáveis em análise como nula (por alguma das suas condições

próprias de nulidade preconizadas nas condições do Quadro 4) resulta-se por zerar os outros critérios.

Desta maneira torna-se necessário definir quando as variáveis são anuladas, assim tem-se o Quadro 5, a seguir, que evidencia estes cenários:

Quadro 5 - Critérios de nulidade.

Linha de Crédito	Critérios
Finalidade	Se a finalidade for nulo vai zerar toda a linha por que se a finalidade do crédito diverge da finalidade da linha, a linha não atende o critério da finalidade, inviabilizando a linha, por exemplo.
Público-alvo	Se público-alvo for nulo, vai zerar toda a linha por que para que uma linha seja elegível para o cliente ele tem que fazer parte do público-alvo da linha.
Risco do cliente	Caso a linha exija que o cliente tenha um risco no máximo B, na escala de A à E.
O risco da operação	Adota-se o mesmo princípio do Risco de Cliente, diferenciando-se apenas na variação da Escala é AA, A, B, C, D e E.
Limite de crédito Vigente	Se o cliente não tiver limite de crédito vigente ele não tem crédito então não pode pegar nenhum tipo de empréstimo.
Liberação do recurso	A liberação do recurso deve atender a exigência do cliente, se o cliente deseja que o recurso seja liberado em sua conta.
Cielo/Cobrança/custódia	Em algumas linhas são exigidos a afiliação do cartão ou a cobrança bancária com o banco ou a custódia com o banco que efetuará o empréstimo.

Fonte: Registros dos Próprios Autores, 2020.

Assim, com o exposto nos Quadros 4 e 5, se verifica o reflexo da *expertise* de análise das linhas de crédito com demanda de formação de quem vai analisar, em geral o próprio Gerente ou auxiliares com formação, e, se todos forem ou obtiverem, na análise do técnico em gerência, os seus respectivos valores máximos, obtêm-se a totalização com o somatório de todos os seus valores.

Além disto, utiliza-se uma expressão que determina uma média ponderada por classe e categoria de questionamentos, onde quando as

seis primeiras categorias são nulas, anula-se de imediato a pontuação total, ou seja, quando as finalidades, público-alvo, risco cliente, risco operação e o limite de crédito vigente configurem-se como nulas tem-se como nula toda a respectiva pontuação, o mesmo valendo também para as garantias de crédito, que, quando inexistentes, configura-se também toda a respectiva pontuação.

ANÁLISE DE PERFIS DE EMPRESAS HIPOTÉTICAS

A título de exemplificação e para não expor clientes reais optou-se por adotar um conjunto com cinco perfis diferenciados e hipotéticos de clientes em análise, de forma que cada perfil passe a representar um conjunto de clientes de pessoa jurídica (PJ) com a mesma categoria econômica e situacional.

DESCRIÇÃO DE CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS PARA ANÁLISE CREDITÍCIA

Assim o perfil idealizado para o Cliente 1 é com características de uma pequena empresa da área química que tem como atividade econômica a fabricação de produtos químicos e derivados e com FBA (Faturamento Bruto Anual) na ordem de quinze milhões o que se desdobra em um risco de operação na classificação “AA”, que se enquadra diretamente no que é preconizado nas regras em vigor.

O Cliente 2 representa uma empresa de médio porte na área de transportes que tem como atividade econômica o transporte de cargas em geral, não transportando passageiros de forma que o seu FBA da ordem de vinte e oito milhões de reais o que se desdobra na

análise de crédito vigente e seu risco é “B” com risco de operação na classificação de “AA”.

O Cliente 3 é considerado intermediário e representa um Posto de combustíveis, que tem como atividade econômica o comércio atacadista de álcool carburante, biodiesel, gasolina e demais derivados de petróleo com faturamento da ordem de seis milhões e meio de reais com análise de crédito e risco de categoria “C” o que se desdobra em risco de operação de “B”.

De maneira análoga o Cliente 4 representa uma indústria de médio porte com atividade principal a fabricação de embalagens de papelão e com FBA da ordem de trinta e cinco milhões de reais com análise de risco na categoria “A”.

Por fim o Cliente 5 representa empresa de médio porte com atividade principal o comércio atacadista com FBA na ordem de quatro milhões e meio de reais com risco do cliente “B” e risco da operação “B”.

PROCESSO DE PONTUAÇÃO E ADERÊNCIAS À ANÁLISE MULTICRITÉRIO

O processo de pontuação pode ser feito de maneira manual ou até aplicar-se em planilha eletrônica, conforme se ilustra na Figura 5, onde se tem um extrato de aplicação com as colunas de avaliação documental de cada cliente bem como as pontuações atribuídas e de competência do Gerente (e auxiliares) em conformidade às regras internas da instituição bancária. Este procedimento, quando consolidado em planilha eletrônica (ou software específico) acelera sobremaneira a análise do cliente ao tempo em que torna transparente as regras com barema de pontuação específica e que pode servir de elemento de rastreamento em dúvidas eventualmente externadas à gerência.

Figura 5 - Planilha com matriz de aderência de aplicação do método MCDA-TODIM.

Pontuação Normalizada por Linha	Linha de Crédito	Finalidade	Público Alvo	Risco Cliente	Risco Operação	Limite de Crédito Vigente	Liberação de Recursos	Limites da Linha	Afiliação Cielo, Cobrança ou Cus-tódia com o BB?	Garantias
0,00	Giro Rápido	Reforço de Capital de Giro	Microem-preendedor individual, em-presário indivi-dual, eireli, mi-cro e pequenas empresas com faturamento bruto anual < ou = R\$ 5 milhões	A, B	A, B	Sim	A cada nova liberação ocorre a repactua-ção do saldo de-vedor da operação.	De acordo com o limite de crédito	Não se aplica	Para Clientes A e B: Garantia fidejussória e/ou FGO Para clientes C: Garantia Real ou mecanismo de autoliquidez (cheques, títulos, etc.)
0,00	Antecipação de Crédito ao Lojista (ACL)	Antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cartões de crédito.	Pessoa jurídica que desenvol-va somente atividade comercial ou prestação de serviços.	A, B, C, D	Não se aplica	Sim	A qualquer momento mediante solicitação do cliente	De acordo com o limite de crédito	Não se aplica	Para Clientes A e B: Garantia fidejussória e/ou FGO Para clientes C: Garantia Real ou mecanismo de autoliquidez (cheques, títulos, etc.)
0,00	Cartão BNDES	Financiar máquinas, equipamen-tos, bens de produção, bens de capital e outros bens listados no PORTAL CAR-TÃO BNDES	Empresas com faturamento anual abaixo de R\$ 90 milhões	A, B	AA, A	Sim		Mínimo: R\$ 1.000,00 - Microempresa FBA* < ou = R\$ 1 milhão - Teto de até R\$ 50.000,00; Pequena empresa R\$ 1 milhão < FBA* < ou = R\$ 5 milhões - Teto de até R\$ 100.000,00;	Não se aplica	Garantia Real

9,11	Conta Garantida	Reforço de Capital de Giro	Empresário Individual, micro e pequenas empresas com Fat Anual mínimo de R\$ 10 milhões.	A,B	AA,A,B	Sim	A qualquer momento mediante solicitação do cliente	De acordo com o limite de crédito	Não se aplica	Para Clientes A e B: Garantia fidejussória e/ou FGO. Para clientes C: Garantia Real ou mecanismo de autoliquidez (cheques, títulos, etc.)
0,00	Desconto de Cheques	Antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cheques pré-datados custodiados no Banco.		A, B, C	AA,A,B	Sim	A qualquer momento mediante solicitação do cliente	De acordo com o limite de crédito	Não se aplica	Cessão de direitos creditórios dos cheques custodiados. Pode-se em conjunto ser feita a garantia fidejussória dos sócios.
0,0	Finame Empresarial	Financiar a aquisição, produção ou comercialização de máquinas, equipamentos, caminhões e ônibus nacionais e novos, credenciados no BNDES	Empresários Individuais Micro, pequenas, médias e grandes empresas, Fundações, Associações, Condomínios, Sindicatos, Cooperativas e assemelhados.	A,B	AA,A,B	Sim	Depósito na conta do fornecedor	De acordo com o limite de crédito	Não se aplica	garantia fidejussória dos sócios e alienação fiduciária do bem
0,0	Finame Empresarial PSI	Financiar a aquisição isolada e produção de máquinas, equipamentos novos, inclusive caminhões	Empresários Individuais Micro, pequenas, médias e grandes empresas, Fundações, Associações, Condomínios, Sindicatos, Cooperativas e assemelhados.	A,B	AA,A,B	Sim	Depósito na conta do fornecedor	até R\$ 200 milhões por grupo econômico	Não se aplica	garantia fidejussória dos sócios e alienação fiduciária do bem

0,00	Giro Rápido	Reforço de Capital de Giro	microempreendedor individual, empresário individual, eireli, -micro e pequenas empresas com faturamento bruto anual < ou = R\$ 5 milhões	A,B	A,B	Sim	A cada nova liberação ocorre a reapactuação do saldo devedor da operação, desde que pelo menos uma parcela	De acordo com o limite de crédito	Não se aplica	Para Clientes A e B: Garantia fidejussória e/ou FGO. Para clientes C: Garantia Real ou mecanismo de autoliquidez
0,00	Antecipação de Crédito ao Lojista (ACL)	Antecipação do valor líquido das vendas realizadas com cartões de crédito.	Pessoa jurídica que desenvolva somente atividade comercial ou prestação de serviços.	A,B, C, D	Não se aplica	Sim	A qualquer momento mediante solicitação do cliente	De acordo com o limite de crédito	Sim	Cessão de direitos creditórios das faturas visanet
0,00	Cartão BNDES	Financiar máquinas, equipamentos, bens de produção, bens de capital e outros bens listados no PORTAL CARTÃO BNDES	Empresas com faturamento anual abaixo de R\$ 90 milhões	A,B	AA, A	Sim		Mínimo: R\$ 1.000,00 - Microempresa FBA* < ou = R\$ 1 milhão - Teto de até R\$ 50.000,00; Pequena empresa R\$ 1 milhão < FBA* < ou = R\$ 5 milhões - Teto	Não se aplica	Garantia Real

Fonte: Registros dos Próprios Autores, 2020.

Com este cenário hipotético, verifica-se que no cenário do cliente 1, obtém-se uma pontuação de 7,37 em duas linhas de crédito, a citar, a “conta garantida” e o “giro empresa flex – liberação estruturada” e a pontuação de 7,17 em outras duas linhas, a citar, “giro empresa flex” e “giro mix pasep”. Dessa forma, entende-se que o cliente 1 enquadrou-se nas demandas e regras de cada uma das quatro linhas de crédito citadas acima, a diferença de pontuação nos indica que as duas primeiras são mais adequadas às necessidades do cliente 1 do que as duas últimas.

No caso do cliente 2 também verifica-se, no gráfico a seguir, que existe pontuação de 8,17 para três das linhas de crédito ofertadas, a citar, conta garantida, giro empresa flex, giro mix PASEP, a pontuação de 7,77 para a linha de crédito cartão BNDES e a pontuação de 7,17 para a linha de crédito giro empresa flex-liberação estruturada, o que possibilita uma variedade maior de opções pré-aprovadas de crédito, subjetivando-se assim um horizonte maior de possibilidades em função de particularidades específicas da empresa e do próprio banco.

Este cenário inclusive é sugestivo para a implementação de novos PVFs aos quesitos postos ou até mesmo a sugestão de implementação de novos quesitos, sejam eles formais ou, até mesmo, particulares e inerentes ao próprio decisor, pois, como novos PVFs ou novos quesitos, tem-se mais uma alternativa para as variabilidades das pontuações e conseqüentemente aumenta-se a probabilidade de não se obter pontuações iguais, o que torna mais fina a seletividade perseguida com a aplicação desta modalidade de MCDA neste problema.

Com relação às pontuações do cliente 3 observa-se também a habilitação do mesmo em cinco linhas de crédito, a citar, a antecipação de crédito ao lojista (ACL), o desconto de cheques e o giro recebíveis com pontuação de 8,17, giro empresa flex-liberação estruturada com pontuação de 7,97 e giro empresa flex com pontuação de 7,57. O que também oferta opções de escolha por parte do banco e também do respectivo cliente em função inclusive das suas conveniências para cada uma das linhas.

Para o cliente 4 verifica-se a habilitação com a mesma pontuação de duas linhas de crédito, a citar, finame empresarial e finame empresarial PSI com pontuação de 8,17 além de habilitação e pontuação alternativa para a linha de crédito denominada de cartão BNDES, com pontuação de 7,77, o que possibilita três alternativas de escolha para este cliente e para o Banco.

Por fim, na análise do cliente 5 verifica-se que o mesmo não apresenta nenhuma das condições e pré-requisitos para enquadramento nas linhas de crédito ofertadas, restando-se assim ao mesmo, providências para análise das tendências em resolução ou não das demandas para enquadramento em alguma das exigências postas. Nesse caso específico, verifica-se que o cliente obtém pontuação “zero” no quesito “limite de crédito vigente”, cliente 5. Isso indica que o cliente não pode se habilitar a nenhuma linha de crédito ofertada pelo Banco. O Gerente deve verificar o motivo do limite de crédito não estar vigente e, caso possível, rodar nova análise de crédito.

ANÁLISE DOS PERFIS DAS EMPRESAS CONSIDERADAS

Neste cenário se indaga sobre a viabilidade do uso de uma metodologia multicritério e o que se verifica de imediato é a praticidade da metodologia para prover análise com diversos itens pontuados, com regras que envolvem apresentação de documentação e suas respectivas validades e valores, tornando-se assim uma ferramenta que possibilita uma seleção rápida, eficiente e eficaz na habilitação de linhas de crédito empresarial bem como a sua factibilidade para análise concomitante de diversas linhas de crédito para diversos clientes, o que aumenta sobremaneira a sinergia entre a instituição e os clientes.

Além disto, as propostas de modelagens da análise das diversas linhas de crédito foram postas em função das suas regras internas, que inclusive podem alterar-se a cada momento, por uma edição de uma portaria interna do próprio banco, ou de um decreto governamental, ou, das regras do próprio mercado ou até mesmo pelos detalhes de edição dos documentos exigidos.

CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

Com o exposto, esta pesquisa verificou a historicidade dos processos de empréstimos, não apenas a pessoas físicas, mas também a empresas de uma forma geral, bem como a consolidação deste processo com os bancos, inclusive com a sua evolução. Além disto, os aspectos legais também foram abordados bem como de concessões de linhas de crédito e a sua consolidação na época da implementação da Revolução Industrial, onde se demandou estas operações por conta do surgimento das indústrias e empresas correlatas às mesmas.

Não se pode ignorar que o registro do surgimento destas linhas de crédito no Brasil foram abordados bem como o seu paralelismo com o Banco do Brasil, nas suas diversas aparições, desde o seu surgimento, suas crises iniciais, e o cenário atual do mesmo, até o momento atual onde o mesmo consolida-se como um dos operadores oficiais na oferta de linhas de crédito empresarial hoje no país, onde se tem na atualidade uma posição de destaque no varejo bancário, no mercado de capitais, na agricultura e no comércio exterior, solidificando-se como o maior grupo financeiro da América Latina e um dos maiores do mundo e com uma vasta carteira de clientes empresariais.

Neste sentido considera-se que existência de diversas metodologias para a habilitação e oferta de créditos empresariais, entretanto não é verídica a unanimidade de um método específico

para a concessão de créditos empresariais, demandando-se assim de alternativas para escolha de linhas crédito em função do processo seletivo de cada uma delas e das condições da empresa em pleito de determinada linha de crédito, em especial para as pessoas jurídicas, onde as exigências e condições muitas vezes não dependem efetivamente do banco e sim de linhas de crédito previamente legalizadas pela união, pois a mesma foca não apenas o financiamento em si, mas em elementos de cunho social, indexados às mesmas, tais como a priorização de geração de empregos e renda, incentivos das diversas ordens e fiscalização de pagamento de impostos e tributos.

O fato é que os objetivos foram modelados e comparados em uma escala numérica normalizável e isto foi posto em planilha específica que o próprio gerente das contas pode utilizar, indica uma consolidação do objetivo principal do trabalho em consonância com os objetivos específicos, ou seja, com a aplicação da metodologia multicritério e as suas regras, além do mapeamento das instruções normativas de cada linha de financiamento, o que consolidou-se em uma revisão de literatura sobre os temas que abordam o trabalho, ou seja, os conceitos de crédito, a metodologia MCDA e a aplicação disto no dia a dia da gerência de contas de pessoas jurídicas do Banco do Brasil.

As contribuições desta pesquisa perpassam por ofertar-se mais um instrumento de avaliação creditícia, mais uma estratégia de argumentação para a indicação hierarquizada destas mesmas linhas para a área empresarial bem como um instrumento de normalização de padrões de ação de uma mesma gerência no Banco do Brasil.

Recomenda-se a criação de mecanismos internos no Banco do Brasil para que se crie uma normatização em que sempre que houver alguma alteração nas instruções normativas que gerem as regras de seleção das linhas de crédito, que seja de forma automática encaminhado uma respectiva alteração para a DITEC (Diretoria de Tecnologia do Banco do Brasil) para que a mesma possa efetuar

a alteração na planilha e encaminhar uma nova planilha para os Gerentes que atuem com as mesmas.

Recomenda-se também que sejam criados procedimentos e planilhas análogas para outras áreas, como as áreas rurais e de microcrédito, por exemplo, além da implementação de aplicativos para celulares, de forma que o mesmo seja feito de maneira automatizada e que seja disponibilizado nestes aparelhos para que os gerentes de cada área possam dar a resposta imediata ao cliente durante as visitas *in loco*.

Além disto, oferta-se também um legado de tentativa de utilização de mais uma variante de métodos multicritério, neste caso o TODIM, onde se consolida um instrumento que pode ser ofertado para o empresário como um resultado quantitativo das eventuais análises da sua organização empresarial em confronto com as regras posto para cada linha de crédito.

Neste sentido é recomendado, para trabalhos futuros, um aprofundamento do uso de regras creditícias, suas bases legais, análises de tendências e megatendências bem como uma revisão de literatura na área de forma mais aprofundada e com fins de abarcar-se mais linhas de crédito de forma a criar-se um modelo normalizável e que sirva como instrumento apoio à tomada de decisão, não apenas para a área de pessoa jurídica mas, para outras áreas como o crédito rural, para o banco, mas também, e sobretudo, para o empresário e gestor organizacional, bem como o aprimoramento do modelo.

REFERÊNCIAS

ALVES, S. D. S.; SOARES, M. M. *Democratização do crédito no Brasil: atuação do Banco Central*. Banco Central do Brasil, 2004. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 02 Jan. 2016.

ANDRADE, E. L. *Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões*. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

BANA E COSTA, C. A. *Apoio à Tomada de Decisão segundo Critérios Múltiplos*. IST/CESUR. Lisboa, 1986.

BANA E COSTA, C.A.; VANSNICK, J.C., *A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP*, *European Journal Operational Research*. 2008. Disponível em: <https://www2.math.upenn.edu/~kazdan/210/LectureNotes/Saaty/Saaty-Bana..pdf>. Acesso em: 20 mai 2020.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. Disponível no site <https://www.bcb.gov.br/pre/composicao/bm.asp>. Acessado em 12 jul 2020.

BRANDÃO, M. A. L. *Estudo de alguns métodos determinísticos de otimização irrestrita*. Uberlândia, 2010. 87 p. Dissertação (Mestrado em Matemática), Universidade Federal de Uberlândia, 2010.

BRESSER-PEREIRA, L. C. *A reforma do estado dos anos 90: lógica e mecanismos de controle*. *Lua Nova: Revista de Cultura e Política*, São Paulo, n. 45, p.49-95, 1998. Disponível em: <http://www.clad.org.ve/fulltex/0030101.html>. Acesso em: 28 ago. 2016.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. *Metodologia Científica*. 6ª ed. São Paulo, Makron Books, 2011.

CORRÊA, C. E. *Construção de um Modelo Multicritério de Apoio ao Processo Decisório*. Florianópolis - Brasil, 1996. Dissertação de Mestrado. Depto. De Engenharia de Produção, Universidade de Santa Catarina.

COSSETE, P., AUDET, M., *Mapping of na idiosyncratic schema*. *Journal of Management Studies*, v.29, n.3, pp. 325-348, 1992.

COSTA NETO, Y. C. *Bancos oficiais do Brasil: origem e aspectos do seu desenvolvimento*. Brasília: Banco Central do Brasil, 2004. 82 p.

ENSSLIN, L; NETO, G. M.; NORONHA, S. M. *Apoio à Decisão - Metodologia para Estruturação de Problemas e Avaliação Multicritério de Alternativas*. Florianópolis: Insular, 2001.

GOLDSMITH, R. W. *Brasil 1850-1984: desenvolvimento financeiro sob um século de inflação*. São Paulo, Harper & Row, 1986.

GOMES, L. F. A M.; LIMA, C. F. S.; *Tomada de Decisão Gerencial: Enfoque Multicritério*. 3ª. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Atlas, 1992.

GOMES, L. F. A. M. *Teoria da Decisão*. São Paulo: Thomson Learning, 2004.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H.; *Decision with Multiple Objectives: Preferences and Value Trade-offs*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. John Wiley & Sons, 1976.

LEVY, M. B. *História dos bancos comerciais no Brasil*. Rio de Janeiro, IBMEC, 1972.

MORA, M. *A Evolução do Crédito no Brasil entre 2003 e 2010*. 2015. Disponível em <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/3537>. Acesso em 11 jan. 2016.

PASSOS A.C.; TEIXEIRA M.G.; GARCIA K.C.; CARDOSO, A.M.; GOMES, L.F.A.M., *Using the TODIM-FSE method as a decision-making support methodology for oil spill response*. Computers and Operations Research, Internal Research Reports. no 25. Publisher: MAXWELL / LAMBDA-DEE (Sistema Maxwell / Laboratório de Automação de Museus, Bibliotecas Digitais e Arquivos). 2013. Disponível em: <http://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/>. Acesso em: 20 mai 2020.

PORTAL BANCO DO BRASIL. *Empresas: produtos e serviços de crédito - obter capital e giro*. 2016a. Disponível em: http://www.bb.com.br/pbb/paginainicial/empresas/produtos-e-servicos/credito/obter-capital-de-giro#/. Acesso em: 1 dez. 2016.

PORTAL BANCO DO BRASIL. *Empresas: produtos e serviços de crédito - antecipar as vendas*. 2016b. Disponível em: http://www.bb.com.br/pbb/paginainicial/empresas/produtos-e-servicos/credito/antecipar-as-vendas#/>.

PORTAL BANCO DO BRASIL. *Empresas: produtos e serviços de crédito - financiar um investimento*. 2016c. Disponível em: http://www.bb.com.br/pbb/pagina-inicial/empresas/produtos-eservicos/credito/financiar-um-investimento#/. Acesso em: 1 dez. 2016.

RAGSDALE, C.T. *Modelagem e análise de decisão*. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

ROY, B. Decision science or decision-aid science. *European Journal of Operational Research* 66. p. 184-203, 1993.

ROY, B. VANDERPOOTEN, D. The European School of MCDA: Emergence, basic features and current works. *Journal of Multicriteria Decision Analysis*, v. 5, pp. 22-38, 1996.

RUIZ, J. A. *Metodologia científica: guia para eficiência nos estudos*. 9ª. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

SCHWARZ, R. M. *The Skilled Facilitator*. San Francisco: Jossey-Bass, 1994.

VILSON, R. A. *Responsabilidade dos Estabelecimentos Bancários*. Campinas: Bookseler, 1996.



4

*Thaise Campos Alves
Xisto Lucas Travassos
Paulo Soares Figueiredo
Cristiano Vasconcellos Ferreira*

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE UM VEÍCULO ELÉTRICO SIMPLIFICADO À BATERIA

DOI: 10.31560/pimentacultural/2021.707.112-137



RESUMO:

A preocupação ambiental tem se tornado um tema de pesquisa emergente por parte da indústria. Acredita-se que os impactos das atividades econômicas no meio ambiente devem ser reduzidos para preservar os recursos naturais do planeta. Veículos elétricos têm potencial para reduzir o efeito das mudanças climáticas e melhorar a qualidade de vida nas metrópoles. No entanto, esta solução necessita de numerosos desenvolvimentos para que se torne tão atrativa quanto os veículos com base na combustão interna. Além disso, é preciso quantificar qual é o grau de melhoria no ponto de vista ambiental. Este trabalho tem por objetivo estudar os impactos da produção e uso de veículos elétricos e de seus componentes adicionais comparados com os componentes de veículos com combustão interna e suas consequências para o meio ambiente. Como estudo de caso, um veículo elétrico simplificado com dois tipos de baterias foi utilizado. Baseado nos materiais e processos empregados na construção do veículo o estudo de ciclo de vida foi realizado respeitando hipóteses e limitações do modelo.

PALAVRAS-CHAVE: Ciclo de vida; Veículo elétrico; Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Atualmente o fator ambiental é uma das principais preocupações mundiais, o transporte rodoviário, por exemplo, é responsável por uma parcela significativa e crescente das emissões globais de CO₂ (OFFER *et al.*, 2010). Dentre as inúmeras possibilidades de melhoria de mobilidade urbana, o desenvolvimento de veículos elétricos tem sido apresentado como uma das soluções mais viáveis para redução dos impactos ambientais. Logo, a disseminação e a aceleração do desenvolvimento de veículos elétricos (VEs) é cada vez maior.

Os VEs, além de um sistema de transporte eficiente e inteligente, oferecem zero emissão de gases de efeito estufa durante seu funcionamento (KUMAR; REVANKAR, 2017; BAUER *et al.*, 2015; OFFER *et al.*, 2010). Esta tecnologia é anunciada como potencial solução de longo prazo para a mobilidade sustentável, já que possibilitam muitas vantagens em relação ao veículo convencional de motor com combustão interna (VCI), como ausência de emissões, alta eficiência, independência do petróleo e operação silenciosa (EHSANI *et al.*, 2005; MA *et al.*, 2012).

Existem diferentes tipos de veículos que utilizam motores elétricos na sua propulsão. Basicamente, os tipos de VEs incluem híbridos (VEHs) e à bateria (VEB) (EHSANI *et al.*, 2005). Atualmente, estima-se que veículos elétricos à bateria (VEBs) devem superar as vendas de veículos elétricos híbridos (VEHs) a longo prazo devido à complexidade de manutenção, alto custo e duplo sistema de propulsão dos VEHs (BNEF, 2017). As Baterias usadas em VEHs e VEBs são referidas como baterias de tração. Os avanços na tecnologia de acumuladores tornaram a bateria de íon de lítio a preferida entre as opções (ELLINGSEN *et al.*, 2013).

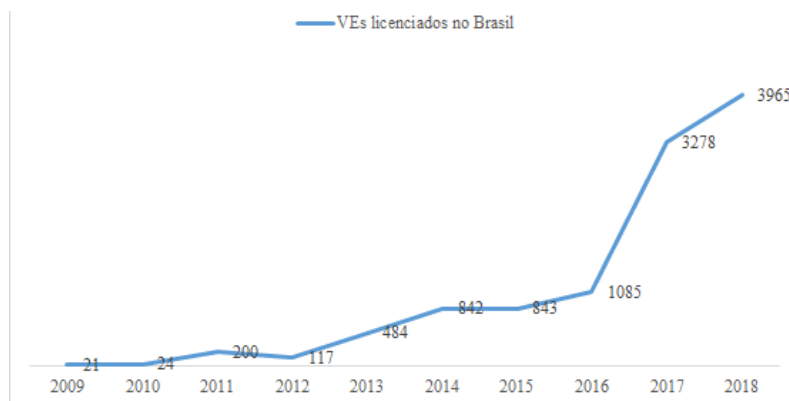
As desvantagens dos VEs estão principalmente associadas ao custo dos veículos, à capacidade de alcance e ao maior uso de metais como o lítio, o manganês, o cobalto ou os metais de terras raras, como o neodímio (EGEDE *et al.*, 2015). Esses componentes especiais podem ter potencial maior de impacto ao meio ambiente do que os componentes utilizados na produção de um VCI (NORDELÖF *et al.*, 2014).

No Brasil, a indústria automobilística está em constante crescimento. O PIB brasileiro industrial, em 2018 fechou 0,6% maior que o ano de 2017, este é o segundo ano consecutivo de resultado positivo desde 2013. A maior influência para que este resultado fosse obtido foi do setor de veículos automotores, reboques e carrocerias com crescimento de mais de 17,2% (IBGE, 2018; 2019).

Segundo dados do Sindicato Independente de Fornecedores de Autopeças (SINDIPEÇAS, 2019) a frota de automóveis está aumentando gradativamente ao longo dos anos. Da mesma forma, a frota global de veículos de passageiros cresceu anualmente cerca de 5%, atingindo cerca de 900 milhões de veículos em 2013 e consumindo mais de 20 milhões de petróleo bruto por dia. Espera-se que esta frota aumente para 1,7 bilhões de veículos em 2035 (IEA, 2017).

Quando se analisa a frota por combustível, os veículos flex (gasolina e álcool) detêm 67,1% da frota total, gasolina 22,2% seguido de diesel 10%. Os híbridos e elétricos já apresentam representatividade sendo atualmente 0,025% da frota total (SINDIPEÇAS, 2019). De acordo com dados da Associação Nacional de Fabricantes de Automotores (ANFEVA), o número de VEs cresce a cada ano (Figura 1) evidenciando que as iniciativas adotadas no país, mesmo que mínimas, já refletem positivamente no cenário nacional.

Figura 1 - VEs licenciados no Brasil.



Fonte: ANFEVA (2019).

No cenário atual, o estoque global de VEs excedeu 5 milhões de unidades em circulação, isto é reflexo da alta aceitação desta tecnologia e supera as expectativas dos órgãos reguladores atuais (IEA, 2019). Além disso, existe uma forte tendência a um aumento significativo dos modelos de veículos elétricos comercializados no mercado e é provável que até 2020 existam mais de 120 modelos diferentes para comercialização. Portanto, considera-se que a demanda de VEs aumentará devido ao aumento das opções de compra (BNEF, 2017).

Contudo, o potencial dos veículos elétricos, do ponto de vista ambiental, precisa ser demonstrado levando em conta o ciclo de vida completo, incluindo sua fabricação, uso e fim de vida, assim como, o fornecimento de energia. A matriz energética, os padrões de uso e a composição dos materiais dos veículos são exemplos de importantes fatores que influenciam os resultados da avaliação do ciclo de vida (ACV) de veículos.

Para garantir um desenvolvimento sustentável são necessários métodos e ferramentas capazes de medir e comparar os impactos ambientais das atividades humanas. Os impactos ambientais são

aqueles provenientes das emissões para o meio ambiente ou através do consumo de recursos (REBITZER *et al.*, 2004).

A ACV é uma ferramenta capaz de avaliar todos os impactos ambientais e os recursos utilizados ao longo do ciclo de vida de um produto, ou seja, desde a aquisição de matérias-primas até a gestão de resíduo (FINNVEDEN *et al.*, 2009). Realizar a avaliação de todo ciclo de vida é considerado essencial para análise correta do impacto ambiental, já que nem sempre o impacto está ligado apenas na fase de uso, fazendo com que análises pontuais se tornem enganosas. Cada produto tem uma “vida”, começando pelo design e desenvolvimento do produto, seguido de extração de recursos, produção, uso/consumo e, finalmente, atividades referentes à gestão de resíduos. Todas as atividades ou processos, na vida de um produto, resultam em impactos ambientais devido ao consumo de recursos, emissões de substâncias no ambiente natural e outras trocas ambientais (REBITZER *et al.*, 2004).

Atualmente, a estrutura metodológica da ACV é descrita pela International Organization for Standardization (ISO), da série ISO 14000 e as suas similares brasileiras ABNT/ISO são a Norma internacional ISO 14040 – Princípios e estrutura geral (ABNT, 2009a) e a norma internacional ISO 14044 – Requerimento e diretrizes (ABNT, 2009b), bases para este trabalho. O procedimento de ACV consiste em quatro etapas sucessivas: a definição de objetivo e escopo, a análise de inventário, a avaliação de impacto e a interpretação dos resultados.

O principal objetivo deste estudo é realizar a avaliação do ciclo de vida de um veículo elétrico à bateria tripulado representado de modo simplificado por meio de um kart elétrico.

Na literatura, existem diversos trabalhos publicados, porém, poucos apresentam a realidade brasileira (SOUZA *et al.*, 2018). Além disso, na maioria dos estudos, apenas a emissão de gases de efeito estufa (GEE) é utilizada como indicador ambiental (SAMARAS;

MEISTERLING, 2008; MA *et al.*, 2012; FARIA *et al.*, 2013; ONAT; KUNCUKVAR; TATARI, 2015).

Desta forma, este trabalho apresentará os resultados a partir da matriz elétrica brasileira e abordará outros indicadores de impacto relevantes em estudos ambientais automobilísticos. Este capítulo está dividido em quatro seções. Na primeira, a motivação e introdução do tema são discutidas. Na segunda seção, resume-se a fundamentação teórica utilizada na pesquisa e, na sequência, são discutidos os resultados. A última seção contempla as conclusões do presente estudo.

FUNDAMENTAÇÃO METODOLÓGICA

A ACV nesta pesquisa foi aplicada com orientação das normas NBR ISO 14040 ABNT (2009a) e NBR ISO 14044 ABNT (2009b) aliadas às bases de dados internacionais e de um software específico com o objetivo de mensurar os principais impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida do kart elétrico respeitando os limites do sistema.

A aplicação da ACV no kart elétrico tem como objetivo encontrar resultados que possam ser disponibilizados para o entendimento de qual fase do ciclo de vida se encontram os maiores impactos ambientais. Buscando que, na concepção de um novo veículo, tenha-se identificado quais tipos de materiais e processos podem ser trocados ou aplicadas alternativas.

Uma vez definido o objetivo e o escopo deste ACV, a etapa de coleta de dados foi relacionada aos dados do kart elétrico analisado e seus componentes. Os dados primários são coletados através dos fabricantes de cada componente, recebidas por correio eletrônico ou obtidas em catálogos técnicos. Já os dados secundários serão coletados a partir da literatura ou de acordo com a base de dados Ecoinvent®.

A base de dados do Ecoinvent® é uma das maiores e mais consistentes bases de inventário mundial acerca do ciclo de vida de produtos. Portanto, o inventário terá como base o levantamento primário, com o objetivo de reconhecer e mensurar quanto material de um determinado componente é necessário para completar a unidade funcional estabelecida no estudo. E, o levantamento secundário, com o objetivo de realizar o complemento das informações de aquisição do material através de banco de dados disponíveis. Este processo é fundamental e amplamente utilizado, por isso, são disponibilizadas ACV de diversos produtos e serviços que já foram realizadas com a finalidade de viabilizar estudos em todo mundo.

Esta situação acontece devido à falta de laboratórios disponíveis para realização e captação das emissões e impactos gerados no meio ambiente. Além disso, segundo Egede *et al.*, (2015) questões de confidencialidade, cadeias de fornecimento complexas, uma variedade de possíveis padrões de uso e desenvolvimentos futuros desconhecidos aumentam o desafio de reunir os dados necessários para executar uma ACV de um VE. Portanto, bases de dados, como Ecoinvent®, são essenciais dentro de estudos de ACV.

A avaliação ambiental deste artigo concentra-se nos quatro principais componentes do kart elétrico: estrutura, pneu, motor elétrico e bateria. Quanto à bateria, foram utilizados dois tipos diferentes de bateria, com intuito de analisar e comparar os impactos ambientais de ambas.

A Avaliação dos Impactos do Ciclo de Vida (AICV) será realizada através do software SimaPro®, um programa da empresa holandesa *Pré Sustainability* especializado em ciclo de vida. A licença foi adquirida pelo Grupo de Pesquisa em Avaliação do Ciclo de Vida (CICLOG) do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Este software permite que o usuário modele o objeto em estudo envolvendo todas as etapas do ciclo de vida do produto. Nesta ferramenta, serão lançadas as informações pertinentes aos dados

do produto analisado e gerados os gráficos de impactos ambientais, sobre os critérios de contribuição dos processos e caracterização.

A função selecionada para este estudo foi: “utilização do kart elétrico à bateria para produzir um deslocamento de um passageiro por km (quilômetro)”. A definição da Unidade Funcional está relacionada com a escolha de uma função de um Produto ou Serviço. Portanto, a unidade funcional estabelecida para o estudo é de um km, ou seja, o deslocamento de um passageiro no kart elétrico por um km. A principal motivação para esta escolha é a facilidade para a comparação entre os diferentes estudos de ACV automotivo, independente da vida útil do automóvel.

A etapa de coleta de dados está relacionada aos dados técnicos do veículo analisado, seus componentes e processos industriais associados. Os dados do veículo e o perfil energético estão descritos na seção seguinte e foram detalhados para os todos os componentes desde a produção até o final de vida. As informações foram fornecidas pelo fabricante ou estimadas quando necessário.

SISTEMA DE PRODUTO E FRONTEIRA DE SISTEMA

O sistema de produto foi definido com base no projeto realizado no Laboratório de Sistemas Embarcados (LSE) da UFSC. Considera-se um veículo elétrico simplificado em forma de kart como sistema de produto e os seus processos elementares de aquisição de matérias-primas, uso e disposição final (Figura 2). Este veículo é classificado como veículo elétrico à bateria (VEB) para transporte de 1 passageiro. As especificações técnicas estão listadas na Tabela 1.

Figura 2 - Kart Elétrico.

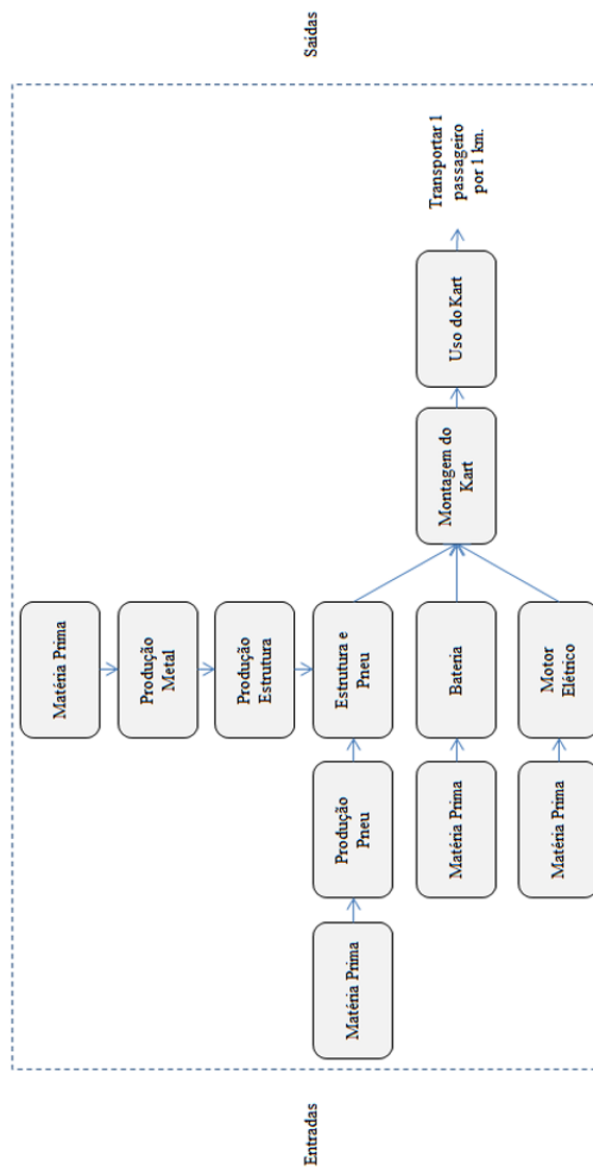


Tabela 1 - Especificações Kart Elétrico.

Descrição	Características do Kart Elétrico
Capacidade de carga (kg)	1 pessoa até 90kgs
Chassis	Aço Cromo-Molibdênio
Rodas (mm)	127 mm
Pneus	Inflável (composto duro)
Carenagem	PEAD (Polietileno de Alta Densidade)
Motor	ME0708 da Motenergy Inc - 48Vx100A
Baterias	117 células tipo Samsung ICR18650 - 54,6Vx30A
Tração	Rodas traseiras
Freios	Mecânico, nas rodas dianteiras
Local de utilização	Utilizado em pista preparadas para corrida ou teste.

Conforme a NBR ISO 14040 ABNT (2009a) e NBR ISO 14044 ABNT (2009b), as fronteiras do sistema determinam quais unidades do processo devem ser incluídas na ACV. A partir deste fundamento, a Figura 2, apresenta o sistema de produto considerado neste artigo.

Figura 2 - Sistema de produto do estudo.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os modelos de avaliação de impactos ambientais, a análise dos resultados da ACV foi realizada a partir dos gráficos que são gerados através do software. Após o lançamento dos dados de cada componente, é realizada a simulação a partir do método de avaliação e da solicitação de processamento.

Este estudo foi aplicado de acordo com a norma ISO 14044 utilizando o método ReCiPe® V1.12 e o software SimaPro® 7.0.1 garantindo a execução dos cálculos, análises e comparações dos impactos ambientais nos cenários analisados.

As principais categorias de impacto de ponto médio que foram utilizadas para realizar a avaliação dos impactos ambientais são: potencial de depleção da camada de ozônio, potencial de mudança climática e potencial de toxicidade humana. A justificativa para esta seleção é que essas categorias representam os principais impactos ambientais do setor automotivo. Vários autores que realizaram estudos de ACV de automóveis, como Souza *et al.*, (2018), Hawkins *et al.* (2012) e Faria *et al.* (2013), optaram por estas categorias.

Neste estudo foram analisadas 3 (três) configurações diferentes de kart: o kart acoplado de uma bateria de lítio com vida útil de 500 ciclos (Cenário 1), kart acoplado de uma bateria de lítio com vida útil de 299 ciclos (Cenário 2) e por fim, o kart acoplado de uma bateria de chumbo-ácido (Cenário 3).

DEPLEÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

A depleção da camada de ozônio (DCO) refere-se à diminuição da camada de ozônio na atmosfera e é medida através da emissão de clorofluorcarbonos (CFC's) que são substâncias artificiais disseminadas no meio ambiente. Cada substância de Clorofluorcarbono -CFC possui o seu fator de potencial de destruição da camada de ozônio que multiplicado pela quantidade de toneladas permite a obtenção do valor de consumo do país em CFC-11 eq. (MMA, 2008). Segundo Souza *et al.*, (2018), os impactos deste indicador na produção de veículos são causados pelas emissões de compostos halogenados utilizados e liberados durante a produção de materiais como aço, chumbo, alumínio, zinco, cobre, platina, lítio, níquel, plásticos, borrachas e acrilonitrila butadieno estireno (ABS). Sendo materiais que foram bastante utilizados para a manufatura do kart elétrico deste estudo.

O kart acoplado na bateria de chumbo-ácido é o que mais contribui para a DCO, representando 67% quando comparado aos outros dois cenários. O kart acoplado na bateria de lítio com 299 ciclos de carga representa 18% e o kart acoplado na bateria de lítio com 500 ciclos de carga representa 15%.

Em ambos os cenários, a bateria é o componente com maior contribuição ao impacto ambiental, sendo responsável por 34,3% no cenário 1, 46,6% no cenário 2 e 80,8% no cenário 3. Para que fosse possível o funcionamento do kart com a bateria de chumbo-ácido, foi necessária uma proporção maior de material de bateria. Se comparamos em peso, as baterias de lítio pesam cerca de 7kgs e a bateria de chumbo-ácido pesa cerca de 13kgs cada, sendo necessário utilizar 4 baterias de chumbo para 1 kart.

A maior porcentagem dessas emissões é resultado do uso do cobre como componente do anodo utilizado na bateria. Sua produção é responsável mais de 15% das emissões de CFC-11– eq./km. Além disso, a extração e o processamento do material policloreto de vinila (usado na embalagem das baterias) também foi impulsor dos impactos em DCO.

Por fim, quando são comparadas isoladamente as fases de manufatura, utilização e final de vida do kart são apresentados os benefícios ambientais trazidos pela reciclagem, que são provenientes principalmente da economia de recursos e energia na produção. O grande benefício da reciclagem para a categoria DCO é apresentado pelo Cenário 1 seguido pelo Cenário 2. O cenário 3 não apresenta benefícios nesta categoria, porém vale ressaltar que obteve em outras categorias, como no potencial de mudanças climáticas, depleção de metal, depleção fóssil e outras.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A categoria de mudanças climáticas (MC) mostra os impactos potenciais do objeto de estudo sobre as mudanças climáticas em termos de kg de CO₂ eq que é uma medida utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa (MMA, 2008). O kart acoplado na bateria de chumbo-ácido é o que mais contribui para a MC, representando 52% quando comparado aos outros dois cenários. O kart acoplado na bateria de lítio com 299 ciclos de carga representa 48% e o kart com bateria de lítio com 500 ciclos de carga representa menos que 1% nesta categoria.

No estudo de Hawkins *et al.*, (2012), nesta mesma categoria, a produção de baterias contribui com 35% a 41% da fase de produção de EV, enquanto o motor elétrico contribui com 7% a 8%. Estes números são bas-

tante próximos do que foi encontrado neste estudo, visto que os impactos da bateria variaram de 29,4% a 41,2% e do motor de 13,9% a 10,5%.

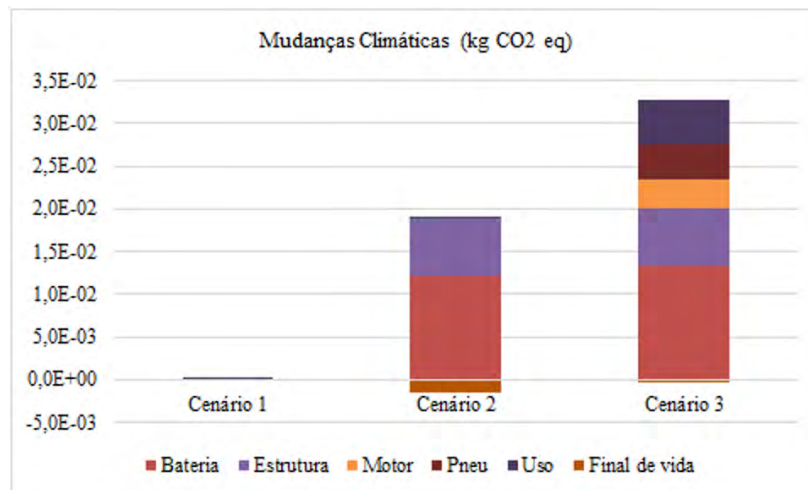
Utilizando a matriz brasileira de eletricidade que é baseada principalmente em fontes renováveis, o impacto da fase de utilização do kart foi mais evidente no cenário 1 e menos evidente no cenário 3. É relevante também que a fase de uso do kart causa menor impacto do que a fabricação dos componentes. Porém, isto está relacionado com o tipo de energia utilizada, já que as emissões causadas por um EV dependem em grande parte da matriz energética aplicada na produção de eletricidade.

Na Tabela 2 e Figura 3, além de contabilizar os impactos ambientais por fase, também foram identificados os benefícios ambientais trazidos pela reciclagem. O maior benefício da reciclagem para a categoria MC é apresentado pelo Cenário 3, seguido do cenário 1 e 2. Importante ressaltar que as baterias de chumbo-ácido são altamente passíveis de reciclagem.

Tabela 2 - Resultados do impacto ambiental em mudanças climáticas por fase de montagem, utilização de descarte.

Cenário	Unidade	Total	Bateria	Estrutura	Motor	Pneu	Uso	Final de vida
1	kg CO2 eq	2,2E-06	6,4E-07	6,0E-07	3,0E-07	3,7E-07	4,2E-07	-1,5E-07
2	kg CO2 eq	3,0E-02	1,2E-02	6,7E-03	3,0E-07	3,7E-07	4,2E-07	-1,4E-03
3	kg CO2 eq	3,2E-02	1,3E-02	6,7E-03	3,4E-03	4,1E-03	5,1E-03	-3,7E-04

Figura 3 - Comparação das fases do ciclo de vida na categoria mudanças climáticas.



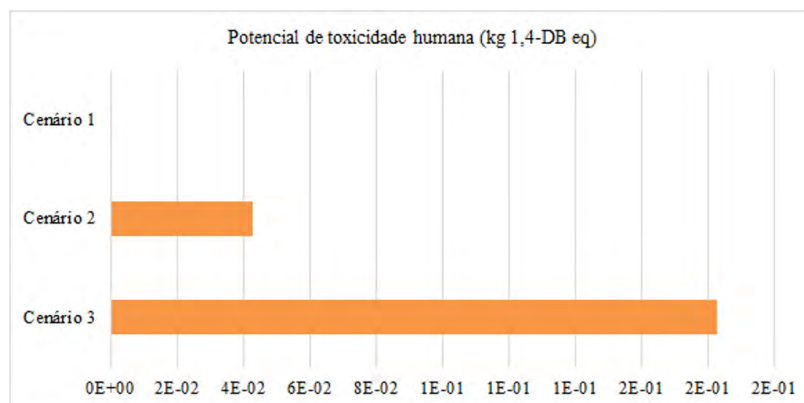
A composição da energia utilizada para o abastecimento do VEB é um fato relevante e que pode influenciar negativamente os resultados. A utilização de eletricidade, proveniente da matriz elétrica brasileira, é praticamente mais de 70% considerada renovável e ainda sim, detém de um impacto significativo nesta categoria.

POTENCIAL DE TOXICIDADE HUMANA

O potencial de toxicidade humana (PTH) representa possíveis impactos na saúde humana devido às emissões tóxicas para a atmosfera de benzeno, etileno, butadieno, fenóis, dioxinas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, metais pesados e outros. Para cada substância tóxica, os PTHs são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno/kg de emissão (kg 1,4-DB eq). Nesta categoria, segundo Hawkins *et al.*, (2012), os impactos na fase de produção dos VEs derivam principalmente da utilização do cobre.

O kart acoplado na bateria de chumbo-ácido é o que mais contribui para a PTH, representando 81% quando comparado aos outros dois cenários (Figura 4). O kart acoplado na bateria de lítio com 299 ciclos de carga representa 18% e o kart com bateria de lítio com 500 ciclos de carga representa menos de 1%.

Figura 4 - Participação do impacto na categoria potencial de toxicidade humana.



Em ambos os cenários, pode-se verificar que os impactos maiores são causados pela produção da bateria e do motor elétrico. Estes componentes possuem cobre, chumbo e ácido sulfúrico em sua composição e as emissões tóxicas da cadeia de produção desses metais ocorrem principalmente na disposição dos resíduos de minas sulfídricas.

Na avaliação geral (Tabela 3), a contribuição da reciclagem tem maior evidência nesta categoria sendo de aproximadamente 2% do total dos impactos ambientais.

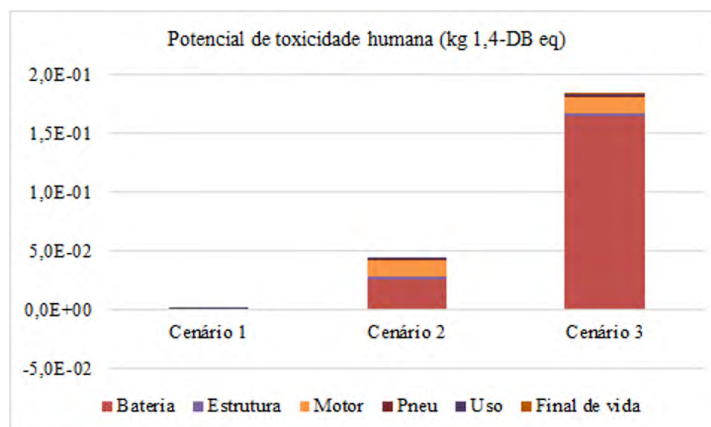
Tabela 3 - Resultados do impacto ambiental em potencial de toxicidade humana por fase de montagem, utilização e descarte.

Cenário	Unidade	Total	Bateria	Estrutura	Motor	Pneu	Uso	Final de vida
1	kg 1,4-DB eq	5,2E-05	2,4E-05	4,0E-06	2,2E-05	1,8E-06	2,1E-06	-1,4E-06
2	kg 1,4-DB eq	4,3E-02	2,5E-02	2,5E-03	1,4E-02	1,1E-03	1,3E-03	-7,1E-04
3	kg 1,4-DB eq	1,8E-01	1,6E-01	2,5E-03	1,4E-02	1,1E-03	1,5E-03	2,5E-04

A produção de baterias tem participação mais significativa para essa categoria de impacto (Figura 5), devido à alta presença de substâncias tóxicas liberadas durante a fase de produção. No futuro, espera-se que com a evolução da tecnologia, a energia e materiais economizados pela reciclagem reduzirão significativamente as emissões de substâncias nocivas à saúde humana, contribuindo para reduzir em média 10% do total dos impactos ambientais (SOUZA *et al.*, 2018). Neste contexto, os valores de energia específica projetados por Gerssen-Gondelach e Faaij (2012) para 2025 considerando baterias de lítio é de 110% maiores que os atuais.

Vargas (2016) adiciona que os piores resultados para toxicidade humana são apresentados devido aos processos de decomissionamento e obtenção de metais pesados presentes na produção de baterias.

Figura 5 - Comparação das fases do ciclo de vida na categoria potencial de toxicidade humana.



OUTROS IMPACTOS POTENCIAIS

Outras categorias estão disponíveis para análise, além das MC, DCO e PTH, como: Acidificação terrestre (AC), Eutrofização de água doce (EAD), Eutrofização marinha (EM), formação de oxidantes fotoquímicos (FOF), formação de material particulado (FMP), ecotoxicidade terrestre (ET), ecotoxicidade de água doce (EAD), ecotoxicidade marinha (EM), radiação ionizante (RI), ocupação de terras agrícolas (OTA), ocupação de terra urbana (OTU), transformação de terras naturais (TTN), depleção de água (DA), depleção de metal (DM) e depleção de fósseis (DF).

Em todas as categorias o cenário 3 tem maior impacto ambiental, sendo necessário a introdução de VEs baseados em baterias mais eficientes energeticamente, como as de lítio. Além disso, as categorias EAD e EM são as que mais contribuem para o impacto ambiental. A eutrofização é a categoria responsável por todos os impactos potenciais de níveis ambientais quanto ao enriquecimento de nutrientes que pode causar um aumento no crescimento das plantas aquáticas e a mudança na composição de espécies em ecossistemas aquáticos e terrestres.

Logo, as cadeias de suprimentos envolvidas na produção de motores elétricos e baterias de tração contribuem significativamente para os impactos ambientais da produção de veículos. Para algumas categorias de impacto ambiental, emissões menores durante a fase de uso compensam a carga adicional causada durante a fase de produção dos VEs, dependendo da combinação de eletricidade. No entanto, nem sempre funciona dessa forma.

Diante disso, a introdução de VEs reforça que o governo precisa de programas de subsídios, isenções fiscais, investir no desenvolvimento da infraestrutura de postos de recarga dos VEs e, principalmente, investir em programas de pesquisa e desenvolvimento para criar parcerias com indústrias que incentivem a difusão de VEs.

CONCLUSÕES

Em um momento onde a conscientização ambiental se fortalece torna-se importante entender qual é o impacto ambiental das novas soluções para mobilidade urbana. Dentre tantas possibilidades, a tração elétrica tem recebido vultuosos investimentos.

No entanto, somente a utilização de VEs não garante a diminuição dos impactos ambientais. É necessária a realização de uma ACV buscando avaliar se os benefícios esperados não seriam observados somente na fase de uso e entender se os impactos evitados nesta fase não seriam transferidos para outra fase do ciclo de vida.

Entre os impactos mais significativos desta ACV, tem-se que a transformação de terras naturais, potencial de toxicidade humana e ecotoxicidade marinha devido ao consumo de materiais e da consequência deles quando lançados ao meio ambiente. Neste trabalho foi utilizado um veículo simplificado para entender o compromisso ambiental da utilização da propulsão elétrica na realidade local.

A estrutura do kart elétrico é essencialmente composta de metais ferrosos, seguida por metais pesados, polímeros, metais não ferrosos e elastômeros, desta forma, apresentou-se um cenário de oportunidade para incentivar a reciclagem de todos estes materiais. A reutilização foi um parâmetro importante e trouxe os benefícios em todo ciclo de vida do kart elétrico.

As possíveis medidas e avanços tecnológicos que podem tornar o VEB melhor para todas as categorias de impacto incluem as melhorias no gerenciamento de resíduos sulfídricos e a redução de materiais específicos para bateria e motor elétrico já foram às fases mais contribuintes. Estas medidas associadas à geração de energia

elétrica em Santa Catarina e na maior parte do Brasil tornam a opção VEB interessante do ponto de vista ambiental.

O perfil de geração elétrica do país contribui com os resultados da ACV, pois atualmente ainda é considerada em sua maior parte como renovável. Este ponto é específico do Brasil e difere na maioria dos estudos discutidos na revisão da literatura.

No entanto, ressalta-se que há vários outros impactos ambientais durante o ciclo de vida destes veículos e através de estudos específicos, como este, podem ser descobertos para contribuir no desenvolvimento do projeto de produto de um novo veículo. Sendo assim, os materiais ou fases de maior impacto poderão ser aperfeiçoados com novas tecnologias buscando enriquecimento e tornando-o cada vez mais amigável do ponto de vista ambiental.

Por fim, como limitação, o uso de dados não específicos do Brasil, para produção de veículos, processos de background e os parâmetros médios de uso de veículos, contribuem para as incertezas deste trabalho e podem ser tratados em estudos futuros. Além disso, o veículo simplificado utilizado como base para este estudo ser diferente dos VEBs usados atualmente e no futuro é também uma limitação importante.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem Henrique R. Antunes de Souza Jr. e ao grupo de pesquisa CICLOG pela disponibilidade das ferramentas que nortearam este trabalho, além do suporte, dicas e orientações assim como ao Adriano Martins de Oliveira e ao Luiz Eduardo Rosa que contribuíram com participação e auxílio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. *et al.* Indirect methodologies to estimate energy use in vehicles: Application to battery electric vehicles. *Energy Conversion And Management*, [s.l.], v. 124, p.116-129, set. 2016. Elsevier BV. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.07.014>. Acesso em: 07/06/2021.

ANFEVA. Anuário da Indústria Automobilística Brasileira 2019. São Paulo, 2019. 150 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14040*: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. [S.l.], 2009. p. 22.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14044*: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. [S.l.], 2009. p. 51.

BARTOLOZZI, I.; RIZZI, F.; FREY, M. Comparison between hydrogen and electric vehicles by life cycle assessment: A case study in Tuscany, Italy. *Applied Energy*, [s.l.], v. 101, p.103-111, jan. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.03.021>. Acesso em: 07/06/2021.

BAUER, C. *et al.* The environmental performance of current and future passenger vehicles: Life cycle assessment based on a novel scenario analysis framework. *Applied Energy*, [s.l.], v. 157, p.871-883, nov. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.019>. Acesso em: 07/06/2021.

BINGHAM, C.; WALSH, C.; CARROLL, S. Impact of driving characteristics on electric vehicle energy consumption and range. *Intelligent Transport Systems*, [s.l.], v. 6, n. 1, p.29-35, 2012. *Institution of Engineering and Technology (IET)*. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-its.2010.0137>. Acesso em: 07/06/2021.

BNEF. Long-Range EV market is set to get more crowded by 2020. [S.l.], 2017. Disponível em: <https://about.bnef.com/blog/long-range-ev-market-set-get-crowded-2020/>. Acesso em: 03 jul. 2017.

CHOMA, E. F.; UGAYA, C. M. L. Environmental impact assessment of increasing electric vehicles in the Brazilian fleet. *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], v. 152, p.497-507, maio 2017. Elsevier BV.

EGEDE, P. *et al.* Life Cycle Assessment of Electric Vehicles – A Framework to Consider Influencing Factors. *Procedia Cirp*, [s.l.], v. 29, p.233-238, 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.185>. Acesso em: 07/06/2021.

ELLINGSEN, L. A. *et al.* Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Vehicle Pack. *Journal Of Industrial Ecology*, [s.l.], v. 18, n. 1, p.113-124, 1 nov. 2013. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/jiec.12072>. Acesso em: 07/06/2021.

EHSANI, M. *et al.* *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*. Estados Unidos, USA: Crc Press Llc, 2005.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2018. Relatório Síntese: Ano base 2017. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 07/06/2021.

FARIA, R. *et al.* A sustainability assessment of electric vehicles as a personal mobility system. *Energy Conversion And Management*, [s.l.], v. 61, p.19-30, set. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.02.023>. Acesso em:07/06/2021.

_____. Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 24, p.271-287, ago. 2013. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.063>. Acesso em:07/06/2021.

FINNVEDEN, G. *et al.* Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, v. 91, n. 1, p. 1–21, 2009.

GERSSEN-GONDELACH, S. J.; FAAIJ, . P. c.. Performance of batteries for electric vehicles on short and longer term. *Journal Of Power Sources*, [s.l.], v. 212, p.111-129, ago. 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.03.085>. Acesso em:07/06/2021.

HAWKINS, T. R. *et al.* Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal Of Industrial Ecology*, [s.l.], v. 17, n. 1, p.53-64, 4 out. 2013. Wiley. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>. Acesso em: 07/06/2021.

_____.; GAUSEN, O. M.; STRØMMAN, A. H. Environmental impacts of hybrid and electric vehicles—a review. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [s.l.], v. 17, n. 8, p.997-1014, 31 maio 2012. Springer Nature. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0440-9>. Acesso em: 07/06/2021.

HUO, H. *et al.* Hong et al. life-cycle assessment of greenhouse gas and air emissions of electric vehicles: A comparison between china and the u.s. *Atmospheric Environment*, v. 108, p. 107–116, 2015.

IBAMA. *Relatório de Pneumáticos*: Resolução Conama nº 416/09: 9: 2017 (ano base 2016). Brasília: Diretoria de Qualidade Ambiental, 2017. 77 p.

IBGE. *Após três anos de queda, indústria cresce puxada por setor automotivo*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/19856-apos-tres-anos-de-queda-industria-cresce-puxada-por-setor-automotivo.html>>. Acesso em: 14 fev. 2018.

_____. *PIB cresce 1,1% em 2018 e fecha ano em R\$ 6,8 trilhões*. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23886-pib-cresce-1-1-em-2018-e-fecha-ano-em-r-6-8-trilhoes>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

IEA, 2017 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Tracking clean energy progress 2017*. [S.l.], 2017.

IEA, 2019 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *Global EV Outlook 2019*. <https://www.iea.org/gevo2019/>, 2019. Acesso em: 07/06/2021.

KE, W. *et al.* Well-to-wheels energy consumption and emissions of electric vehicles: Mid-term implications from real-world features and air pollution control progress. *Applied Energy*, [s.l.], v. 188, p.367-377, fev. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.011>. Acesso em: 07/06/2021.

KUMAR, M. S.; REVANKAR, S. T. Development scheme and key technology of an electric vehicle: An overview. *Renewable and sustainable energy reviews*. Elsevier BV, v. 70, p. 1266–1285, 2017.

LAZZARI, M. A. de. *Avaliação Ambiental De Um Veículo Elétrico Coletor De Resíduos Sólidos Urbanos Recicláveis*. 2010. 247 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

MA, H. *et al.* A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. *Energy Policy*, [s.l.], v. 44, p.160-173, maio 2012. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.034>. Acesso em: 07/06/2021.

MAJEAU-BETTEZ, G.; HAWKINS, T. R.; STRØMMAN, A. H. Life Cycle Environmental Assessment of Lithium-Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug-In Hybrid and Battery Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, [s.l.], v. 45, n. 10, p.4548-4554, 15 maio 2011. American

Chemical Society (ACS). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/es103607c>. Acesso em: 07/06/2021.

MOTTA, F. G. A Cadeia de Destinação dos Pneus Inservíveis - O Papel da Regulação e do Desenvolvimento Tecnológica. *Ambiente e Sociedade*, Campinas, v. 11, p.167-184, 2 abr. 2008.

MMA, 2008 MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano Nacional de Eliminação de CFCs - PNC [S.I.], 2019. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

NORDELÖF, A. *et al.* Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, [s.l.], v. 19, n. 11, p.1866-1890, 21 ago. 2014. Springer Nature. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-014-0788-0>. Acesso em: 07/06/2021.

NOTTER, D. A. *et al.* Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. *Environmental Science & Technology*, [s.l.], v. 44, n. 17, p.6550-6556, set. 2010. American Chemical Society (ACS). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/es903729a>. Acesso em: 07/06/2021.

OFFER, G.J. *et al.* Comparative analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system. *Energy Policy*, [s.l.], v. 38, n. 1, p.24-29, jan. 2010. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.08.040>. Acesso em: 07/06/2021.

ONAT, N. C; KUCUKVAR, M; TATARI, O. Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States. *Applied Energy*, [s.l.], v. 150, p.36-49, jul. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.001>. Acesso em: 07/06/2021.

RAFIQUE, R. M. U. *Life Cycle Assessment of Waste Car Tyres at Scandinavian Enviro Systems*. 2012. 47 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Innovative And Sustainable Chemical Engineering, Department Of Chemical And Biological Engineering, Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden, 2012.

REBITZER, G. *et al.* Life cycle assessment part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment International*, v. 30, n. 5, p. 701–720, 2004.

SAMARAS, C.; MEISTERLING, K. Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy. *Environmental Science & Technology*, [s.l.], v. 42, n. 9, p.3170-3176, maio 2008. American

Chemical Society (ACS). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/es702178s>. Acesso em: 07/06/2021.

SAMSUNG, S. Co. Ltd. Safety data sheet: *Model ICR18650-30A*, jul, 2015.

SINDIPEÇAS. *Relatório da Frota Circulante 2019*. São Paulo, 2019. 13 p.

SOUZA, L. La P. de *et al.* Comparative environmental life cycle assessment of conventional vehicles with different fuel options, plug-in hybrid and electric vehicles for a sustainable transportation system in Brazil. *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], v. 203, p.444-468, dez. 2018. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.236>. Acesso em: 07/06/2021.

TORRETTA, V. *et al.* Treatment and disposal of tyres: Two EU approaches. A review. *Waste Management*, [s.l.], v. 45, p.152-160, nov. 2015. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.018>. Acesso em: 07/06/2021.

VARGAS, J. E. V. *Análise da competitividade ambiental de veículos elétricos no Brasil no cenário atual e futuro*. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

YUAN, X. *et al.* Method for evaluating the real-world driving energy consumptions of electric vehicles. *Energy*, [s.l.], v. 141, p.1955-1968, dez. 2017. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.134>. Acesso em: 07/06/2021.

ZACKRISSON, M.; AVELLÁN, L.; ORLENIUS, J.. Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues. *Journal Of Cleaner Production*, [s.l.], v. 18, n. 15, p.1519-1529, nov. 2010. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.06.004>. Acesso em: 07/06/2021.



5

*Bruno Leonardo Santos Menezes
Renelson Ribeiro Sampaio
Valter de Senna
Marcio Nakayama Miura*

UM MODELO DE APOIO PARA TOMADAS DE DECISÕES ESTRATÉGICAS EM INSTITUIÇÕES DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO UTILIZANDO A METODOLOGIA ANP

RESUMO:

Esta pesquisa propõe um modelo, baseado na metodologia *Analytic Network Process* (ANP), aplicado ao processo decisório de Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTs). A instituição objeto deste estudo, localizada em Salvador no Estado da Bahia, produz pesquisas e inovações para o desenvolvimento da indústria. A metodologia é relevante na redução da subjetividade em decisões com multicritérios. Inovar gera avanços na sociedade, este é um fator fundamental para o desenvolvimento dos sistemas produtivos de nações desenvolvidas, apresentando correlação com a produtividade destas instituições.

PALAVRAS-CHAVE: Teoria Decisão; Análise Multicritério; Analytic Network Process.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a Lei Federal no 10.973, artigo 2º no parágrafo V, define Instituições de Ciência, Tecnologia e Inovação (ICTs) como o órgão que inclua em sua missão institucional ou em seu objetivo social ou estatutário a pesquisa básica ou aplicada de caráter científico ou tecnológico ou o desenvolvimento de novos produtos, serviços ou processos. Para Benevides, Bresciani, e Santos Junior (2016), redes de inovação são de grande importância para o desenvolvimento regional, estas interligações complexas auto organizam-se e integram-se, ao ponto de possuírem aprendizagem constante, aplicando conhecimento para o desenvolvimento de tecnologias.

Mamede *et al.* (2016) consideraram o Sistema Nacional de Inovação (SNI) brasileiro complexo com baixa diversificação e composto essencialmente por instituições públicas. Andrade (2015) afirma que a integração das ICTs aos sistemas de inovação dos países geram desenvolvimento com consequências econômicas e sociais positivas na sociedade. A inovação gerou avanço na sociedade, mesmo quando não gerida de forma adequada (BERS *et al.*, 2009). Segundo Ferrão (2016), muitos autores consideram inovação um fator fundamental que permite o desenvolvimento efetivo de economias. A produtividade das ICTs apresenta correlação positiva com sistemas produtivos de nações desenvolvidas. O método ANP, tem destaque como uma metodologia relevante para reduzir a subjetividade humana e auxiliar em tomadas de decisões complexas com multicritérios.

Este estudo foca no conceito de inovação aplicado a uma ICT localizada em Salvador – BA, que produz pesquisas e inovações para o desenvolvimento da indústria, ou seja, conhecimento novo e produtivo gerado de pesquisas por intermédio de pesquisa básica e/ou aplicada de caráter tecnológico ou científico. Esta pesquisa

propõe uma contribuição para o modelo de Andrade (2015), baseado na metodologia ANP para auxiliar no processo decisório estratégico de ICTs com foco em seu ambiente externo. O método conhecido como *Analytic Network Process* (ANP), tem destaque como uma metodologia relevante para reduzir a subjetividade humana e auxiliar em tomadas de decisões complexas com multicritérios. Andrade (2015) afirma que para gerir estrategicamente uma ICT é necessário integrar a estratégia organizacional ao ambiente externo da empresa. Isto significa considerar a capacidade de influência da área que a ICT estiver inserida sobre as decisões internas de seus dirigentes.

AMBIENTE DAS ICTS

O ambiente externo das ICT pode ser dividido em geral, setorial e operacional. Com a fragmentação do ambiente externo é possível ter visão de futuro do mercado, considerando os fatores que geram influências no mesmo e como os concorrentes reagem a estes aspectos. Andrade (2015) divide o macro ambiente em elementos que considera críticos: político (sistema formal e informal), econômico (mudanças estruturais e cíclicas), social (demografia: tamanho da população, estrutura etária, distribuição geográfica, complexo étnico e níveis de renda), estilo de vida (formação domiciliar, trabalho, educação, consumo e lazer), valores sociais (políticos, de socialização, tecnológicos e econômicos) e tecnológico (pesquisa ou invenção, desenvolvimento ou inovação e operações ou difusão).

Cada um dos itens críticos a serem analisados, pode variar de acordo com as características de cada ICT e o ambiente que estão inseridas, esta dinâmica pode ser explicada pela complexidade do mercado. Andrade (2015), Goularte e Silveira-Martins (2016) afirmam que para investigar o ambiente setorial é salutar a utilização das ferramentas conhecidas como “as cinco forças de Porter” e “análise

de grupos estratégicos”. De acordo com Porter (1979; 1991), a essência da formulação de uma estratégia competitiva é relacionar a organização ao seu ambiente. Seu modelo teórico está centrado na ideia de que a estrutura das indústrias apresenta forte influência nas regras da competição e nas estratégias desenvolvidas pelas organizações. O conjunto das cinco forças competitivas é o que caracterizará a competição de um determinado setor: rivalidade entre as empresas existentes, ameaça de novos entrantes, poder de negociação dos compradores, ameaça de produtos ou serviços substitutos e poder de negociação dos fornecedores.

Beinhauer e Wenzel (2016) definiram os grupos estratégicos um conjunto de empresas que seguem estratégias iguais e/ou similares, para analisar um grupo estratégico é necessário levar em consideração os seguintes aspectos: integração horizontal e vertical, segmentação do mercado geográfico, estrutura de propriedade, tamanho das empresas, utilização da capacidade, estrutura de custos, canais de vendas, atividades de marketing, propriedade da marca, diversidade de produtos, qualidade do produto e capacidade de realizar pesquisa e desenvolvimento. Cada um dos aspectos anteriores é fundamental para a análise do ambiente externo da organização, podendo ser contextualizados como Fatores Externos de Inovação (FEI). Quais seriam as categorias de decisões? Estes fatores devem ser avaliados quanto a sua importância em rede na metodologia ANP.

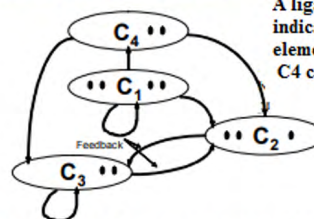
ANALYTIC NETWORK PROCESS – ANP

Saaty (2013) desenvolveu o ANP como uma generalização do *Analytic Hierarchy Process*. Afirma que muitos problemas de decisão não podem ser estruturados hierarquicamente, porque envolvem a interação e a dependência de elementos de nível superior com elementos de nível inferior. ANP representa processos decisórios em redes,

com possíveis estruturas de retroalimentação (*feedback*), com ciclos conectando seus componentes a si mesmos ou a outros elementos, não podendo ser chamados de níveis, pois a retroalimentação conecta componentes a si mesmo. A metodologia ANP utiliza uma escala de julgamentos para realizar as comparações pareadas e calcular os autovalores, associada com os pesos é calculada a inconsistência. O Índice de Consistência (IC) de uma matriz é também dado por Razão Consistência (RC), obtido pela formação de um Índice Randômico (IR). Recomenda-se IR menor ou igual a 0,10. Uma hierarquia linear é composta de um objetivo, níveis de elementos e conexões entre os elementos. Essas conexões são orientadas apenas para elementos em níveis inferiores. Uma rede (figura 1) pode apresentar agrupamentos (*clusters*) de elementos, com os elementos de um *cluster* conectados a elementos em outro *cluster* ou no mesmo *cluster* (SAATY, 2013).

Figura 1 - Rede com retroalimentação.

Rede com feedback e componentes com Dependência Interna e Externa entre Seus Elementos



A ligação do componente C4 até C2 indica a dependência externa dos elementos em C2 nos elementos em C4 com respeito a um propriedade.

Retroalimentação em um componente indica dependência interna dos elementos nesse componente em relação a uma propriedade comum.

Fonte: Saaty (2013).

Uma hierarquia pode ser considerada uma rede com conexões indo apenas em uma direção, níveis correspondem a *clusters* em uma rede. A representação em rede apresenta dois tipos de influência (externa e interna): externa (compara-se a influência de elementos em um *cluster* com elementos de outro *cluster* em relação a um critério de controle) e interna (compara-se a influência dos elementos de agrupamentos de elementos em relação a cada um deles mesmo). ANP trata prioridades

derivadas de matrizes de comparação pareadas, inseridas como partes das colunas de uma supermatriz (figura 2), que representa a prioridade de influência de um elemento à esquerda da matriz em um elemento no topo da matriz em relação a um determinado critério de controle.

Figura 2 - Supermatriz de uma rede.

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & & C_2 & \dots & C_N \end{matrix} \\ \begin{matrix} C_1 \\ \vdots \\ C_2 \\ \vdots \\ C_N \end{matrix} & \begin{bmatrix} \begin{matrix} e_{11} e_{12} \dots e_{1n_1} \\ W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \begin{matrix} e_{21} e_{22} \dots e_{2n_2} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2N} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \begin{matrix} e_{N1} e_{N2} \dots e_{Nn_N} \\ W_{N1} & W_{N2} & \dots & W_{NN} \end{matrix} \end{matrix} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Fonte: Saaty (2013).

A figura 3 representa uma supermatriz que gera o componente C1 da figura 2, inclui todos os vetores de prioridade (W_{ij} por exemplo) derivados para nós que são nós que se conectam no *cluster* C1.

Figura 3 - Detalhe de um componente da supermatriz de uma rede.

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_{i1}^{(j_1)} & W_{i1}^{(j_2)} & \dots & W_{i1}^{(j_{n_j})} \\ W_{i2}^{(j_1)} & W_{i2}^{(j_2)} & \dots & W_{i2}^{(j_{n_j})} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ W_{in_i}^{(j_1)} & W_{in_i}^{(j_2)} & \dots & W_{in_i}^{(j_{n_j})} \end{bmatrix}$$

Fonte: Saaty (2013).

Saaty (2013) completa que na metodologia ANP é necessário encontrar prioridades de estado estável a partir de uma supermatriz limite. Para obter a supermatriz limite basta elevar a mesma a sua potência su-

cessivas vezes até convergir para uma matriz estocástica com colunas iguais. O resultado do ANP é complexo e não linear. O limite pode não convergir, a menos que a matriz seja estocástica quanto a suas colunas, ou seja, a soma dos elementos de cada uma das colunas é igual a um.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Baseado no trabalho de Menezes *et al.* (2014), foi realizado um levantamento bibliográfico da área para estruturar o problema a ser solucionado, no qual foram identificados e classificados os Fatores Externos de Inovação (FEIs) com apoio teórico de um especialista na área. Esse apoio se deu por meio do envio dos FEIs identificados antecipadamente e reuniões presenciais com o objetivo de classificação. Considerando os estudos de Beinhauer e Wenzel (2016), Andrade (2015), Menezes *et al.* (2013, 2014), Schneider *et al.* (2009), Aaker (2007), Van Der Panne, Van Beers e Kleinknecht (2003) e Silva (1988) é possível utilizar as *Cinco Forças de Porter* (1979; 1991) e Análise dos Grupos Estratégicos para estabelecer os FEIs a serem avaliados por especialista, porém são um ponto de partida para construção da rede que deve responder o questionamento: Qual a influência do setor que a ICT está inserida sobre as decisões internas dos seus gestores?

O objeto do estudo em questão, está localizado em Salvador – BA, tem como foco a pesquisa e inovação para o desenvolvimento da indústria. A instituição apresenta vasta experiência na execução de projetos, destacando-se na realização de pesquisas, desenvolvimento e inovação em parcerias com organizações nacionais e internacionais, elevados indicadores de propriedade intelectual, patentes e recursos captados. Além disso, como Centro Universitário é considerado a melhor instituição de ensino superior em engenharia do Norte – Nordeste, com cursos de graduação e pós-graduação *lato e stricto*

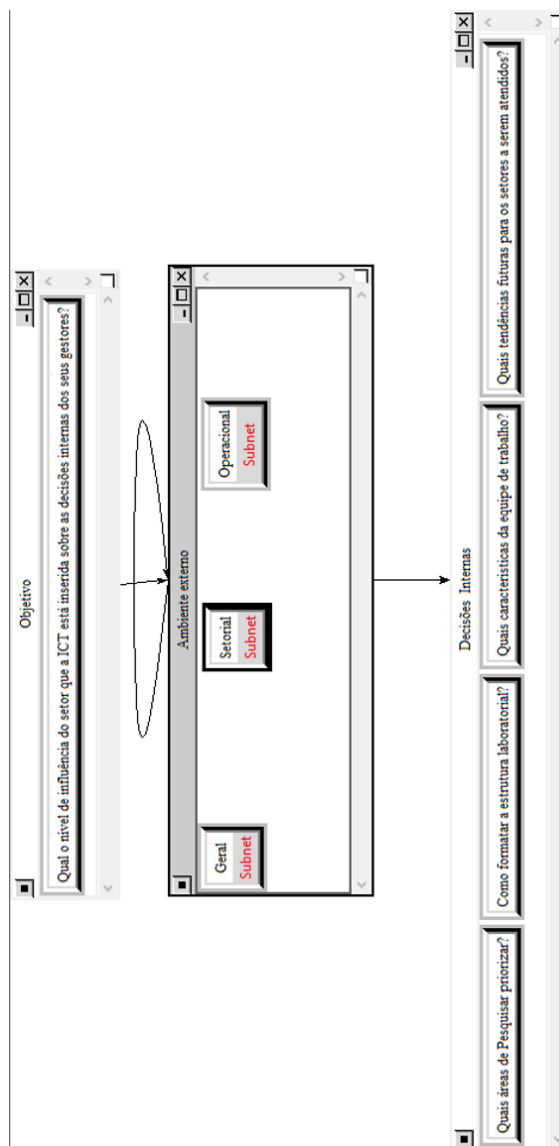
sensu. Os FEIs foram identificados e classificados em três grupos (anexo A), com as seguintes variáveis: Macroambiente (político, econômico, social e tecnológico); Ambiente Setorial (rivalidade dos concorrentes, poder de negociação dos clientes, poder de negociação dos fornecedores, ameaça de entrada de novos concorrentes, ameaça de produtos substitutos e fatores estratégicos) e Análise Operacional (objetivos atuais, objetivos futuros, estratégia atual e capacidade). Em seguida, foi construída a rede com o apoio do *software Super Decisions* também com um especialista do setor no sentido de determinar como cada aspecto de complexidade e dinâmica influenciam nos FEIs, bem como indicar a influência de cada um deles por meio de comparações pareadas. ANP foi desenvolvida para que um ou mais especialistas realizem análise dos fatores em decisões com multicritérios, de forma que a quantidade de especialistas não comprometa os resultados obtidos. Foram definidas quatro alternativas de possíveis decisões internas que são influenciadas pelo ambiente externo das ICT (Quais áreas de pesquisa priorizar? Como formatar a estrutura laboratorial? Quais características da equipe de trabalho? e Quais tendências futuras para os setores a serem atendidos?) e por último foram construídas as ligações das redes que caracterizam o problema estudado.

Posteriormente, foram reavaliadas as etapas anteriores com objetivo principal de evitar a medição dobrada de variáveis e eliminar outros erros no processo, ou seja, a verificação da consistência dos julgamentos. As alterações foram debatidas e revisadas com especialistas, produzindo o resultado final.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ambiente externo (figura 4) exerce influência em todas as alternativas, retroalimentando-se com os ambientes setorial e operacional influenciando no geral ou macroambiente.

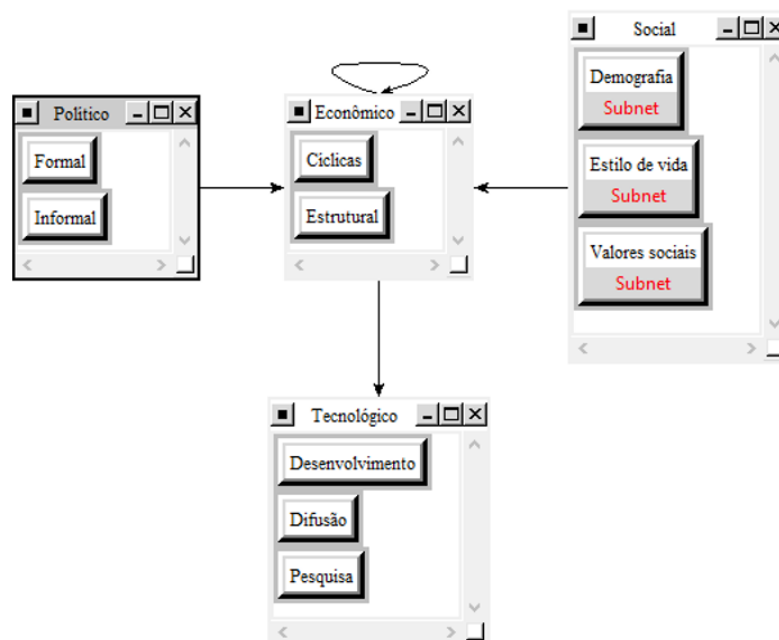
Figura 4 - Rede Geral do Ambiente Externo.



Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a figura 5, dentro do *cluster* geral, mudanças estruturais na economia influenciam nas variações econômicas cíclicas, gerando retroalimentação no mercado econômico, que influencia nos aspectos tecnológicos fundamentais para empresas por intermédio das mudanças cíclicas da economia, que exercem influência no desenvolvimento e na difusão de tecnologias. Os sistemas políticos formal e informal influenciam nas mudanças cíclicas e estruturais do mercado econômico, que é influenciado pela demografia, estilo de vida e valores da sociedade.

Figura 5 - *Cluster* Geral ou Macroambiente.

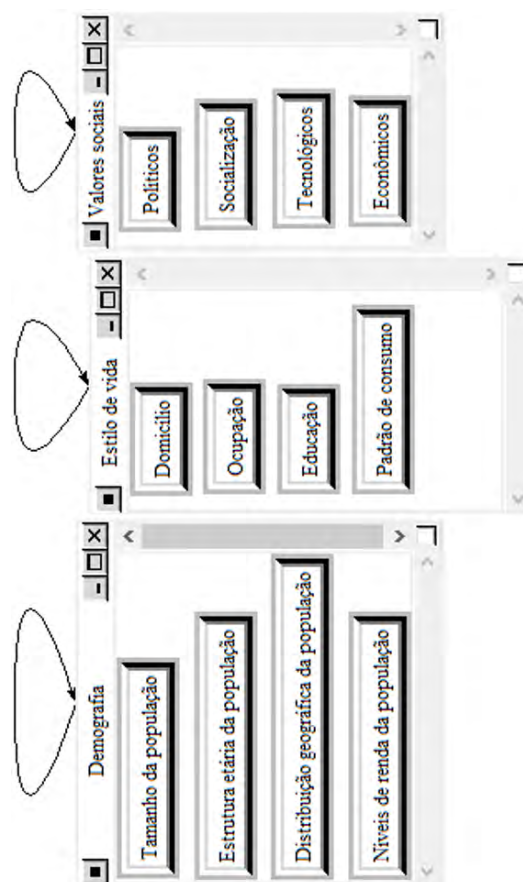


Fonte: Dados da pesquisa.

Analisando o *subcluster* demografia dentro do *cluster* social (figura 6), tamanho da população interfere nos níveis de renda da população, gerando retroalimentação, que também está presente nos *clusters* estilo de vida e valores sociais, com educação interferindo no domicílio e no padrão de consumo. Valores sociais políticos exercem influências nos va-

lores sociais econômicos e na socialização, que influencia nos valores sociais tecnológicos que é influenciado pelos valores sociais econômicos.

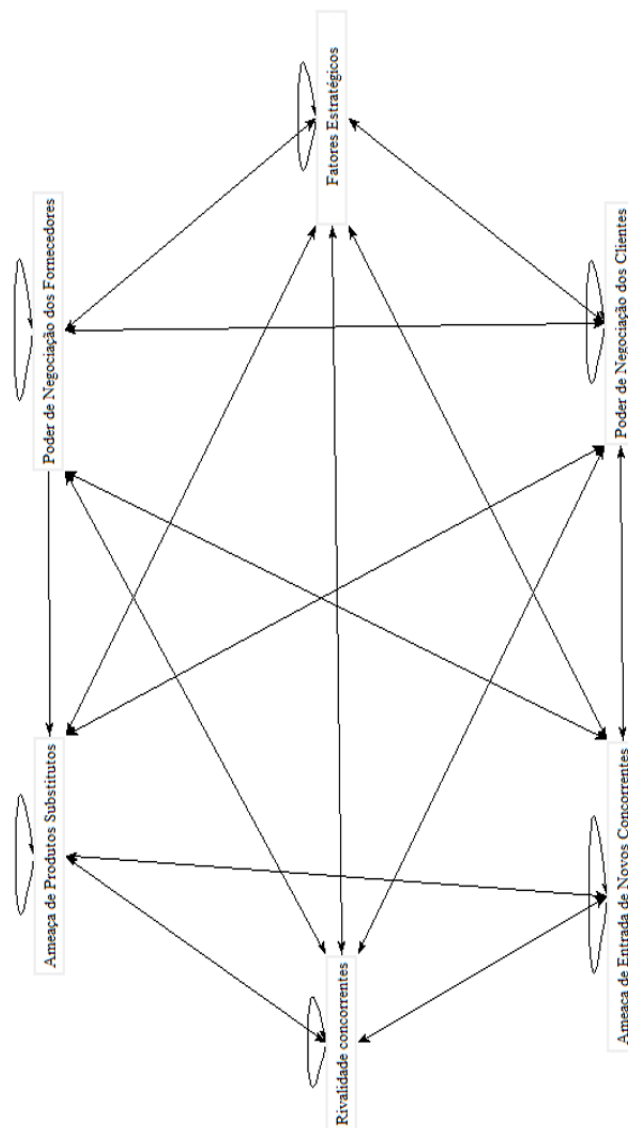
Figura 6 - Cluster Social.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na figura 7 todos os fatores do ambiente setorial se conectam e se retroalimentam.

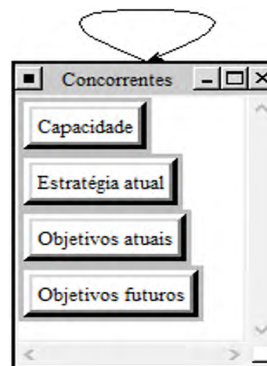
Figura 7 - Cluster Ambiente Setorial.



Fonte: Dados da pesquisa.

Na figura 8, estratégia atual influencia nos objetos atuais (interage com capacidade e a estratégia atual) e nos objetivos futuros ligados à capacidade e à estratégia atual.

Figura 8 - *Cluster Ambiente Operacional*.



Fonte: Dados da pesquisa.

A tabela 1, indica as prioridades dos nós do *cluster* geral (normalizado por *cluster*) e em relação a toda rede (limite), cíclicas com a maior prioridade, seguido por desenvolvimento, estrutural, pesquisa e difusão.

Tabela 1 - Prioridades revisadas do ambiental geral.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Cíclicas	0.68031	0.404870
Estrutural	0.31969	0.190260
Formal	0.00000	0.000000
Informal	0.00000	0.000000
Demografia	0.00000	0.000000
Estilo de vida	0.00000	0.000000
Valores sociais	0.00000	0.000000
Desenvolvimento	0.61441	0.248757
Difusão	0.11722	0.047459
Pesquisa	0.26837	0.108654

Fonte: Dados da pesquisa.

No *cluster* social (tabela 2), níveis de renda da população seguido da distribuição geográfica da população continuam prioritários na demografia.

Tabela 2 - Prioridades revisadas do *cluster* social/demografia.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Distribuição geográfica da população	0.25000	0.25000
Estrutura etária da população	0.00000	0.00000
Níveis de renda da população	0.75000	0.75000
Tamanho da população	0.00000	0.00000

Fonte: Dados da pesquisa.

Domicílio e padrão de consumo ainda são prioritários na demografia (tabela 3).

Tabela 3 - Prioridades revisadas do *cluster* social/estilo de vida.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Domicílio	0.80000	0.80000
Educação	0.00000	0.00000
Ocupação	0.00000	0.00000
Padrão de consumo	0.20000	0.20000

Fonte: Dados da pesquisa.

Os aspectos tecnológicos, socialização e econômicos em relação aos valores sociais (tabela 4).

Tabela 4 - Prioridades revisadas do *cluster* social/valores sociais.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Econômicos	0.43750	0.43750
Políticos	0.00000	0.00000
Socialização	0.06250	0.06250
Tecnológicos	0.50000	0.50000

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a tabela 5, continuam merecendo destaque: a análise econômica, crescimento industrial, custo de produção com relação a preço e venda, nível de diferenciação do produto, ameaça de integração com os fornecedores e integração por concorrentes, quantidade de concorrentes e participação no mercado, capacidade de integração dos clientes, segmentação do mercado geográfico, barreiras de entrada, políticas governamentais, atividades de marketing, número de fornecedores, capacidade de pesquisa e desenvolvimento, grau de diferenciação dos produtos, marca e economia de escala.

Tabela 5 - Prioridades revisadas do *cluster* setorial.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Acesso aos canais de distribuição	0.02166	0.003502
Barreiras de entrada	0.19134	0.030941
Capital	0.11337	0.018333
Custos	0.21217	0.034309
Economia de escala	0.13207	0.021356
Marca	0.11470	0.018548
Políticas governamentais	0.16660	0.026941
Vantagens absolutas de custo	0.04809	0.007777
Nível de diferenciação do produto	0.38137	0.056515
Poder de barganha do consumidor	0.06065	0.008987

Qualidade	0.08519	0.012624
Relação preço/renda	0.47280	0.070064
A estrutura de custos	0.05849	0.011754
A qualidade do produto	0.19788	0.039766
A utilização da capacidade	0.00000	0.000000
Atividades de Marketing	0.15981	0.032115
Canais de Vendas	0.04764	0.009574
Capacidade de pesquisa e desenvolvimento	0.13649	0.027428
Diversidade de produtos	0.01708	0.003433
Estrutura de propriedade	0.02567	0.005158
Integração horizontal e vertical	0.03931	0.007899
Propriedade da marca	0.04817	0.009681
Segmentação do mercado geográfico	0.22218	0.044649
Tamanho da empresa	0.04728	0.009502
Análise econômica	0.66250	0.073768
Capacidade de integração dos clientes	0.24978	0.027813
Dimensão dos consumidores.	0.01431	0.001593
Fluxo de informação do consumidor	0.01070	0.001191
Preço total de compra	0.00608	0.000677
Produtos substitutos	0.05663	0.006306
Ameaça de integração com fornecedores	0.34481	0.059893
Custo de produção com	0.41868	0.072726
Grau de diferenciação	0.07811	0.013567
Número de fornecedores	0.15840	0.027515
Barreiras para saída do mercado	0.04509	0.009202
Crescimento industrial	0.43524	0.088829
Diversidade de concorrentes	0.06421	0.013105
Fluxo de informações	0.01298	0.002649
Grau de diferenciação dos produtos	0.13736	0.028035

Fonte: Dados da pesquisa.

Na tabela 6, estratégia atual e objetivos futuros continuam com a mesma prioridade, seguidos por capacidade e objetivos atuais.

Tabela 6 - Prioridades revisadas do cluster operacional.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Capacidade	0.12500	0.125000
Estratégia atual	0.37500	0.375000
Objetivos atuais	0.12500	0.125000
Objetivos futuros	0.37500	0.375000

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com a tabela 7 continua merecendo destaque como prioridade no modelo, seguido do setorial e por último o operacional. Considerando as decisões: tendências futuras para os setores, áreas que devem ser priorizadas, aspectos da equipe de trabalho e o formato de estrutura laboratorial ainda são prioritários respectivamente.

Tabela 7 - Prioridades revisadas do modelo.

Nome	Normalizado por Cluster	Limite
Geral	0.71375	0.409642
Operacional	0.08702	0.049944
Setorial	0.19923	0.114344
Como formatar a estrutura laboratorial?	0.04831	0.020584
Quais características da equipe de trabalho?	0.13961	0.059485
Quais tendências futuras para os setores?	0.53764	0.229071
Quais áreas de pesquisar priorizar?	0.27444	0.116930

Fonte: Dados da pesquisa.

No macroambiente as mudanças econômicas cíclicas e estruturais se retroalimentam e são influenciadas pelos *clusters* político e social, exercendo influência de 40,48% e 19,02% respectivamente. Considerando que os aspectos tecnológicos são influenciados pelos econômicos no ambiente geral, o desenvolvimento tecnológico representa 24,87%. Pesquisa registra 10,86%, seguida de difusão com 4,74%. O cenário social exerce influência na economia do setor, níveis de renda da população e distribuição geográfica da população representam 75,00% e 25,00% respectivamente. No *subcluster* estilo de vida, domicílio representa 80,00% e padrão de consumo 20,00%. No *subcluster* que representa os valores sociais, aspectos tecnológicos, econômicos e de socialização equivalem a 50,00%, 43,75% e 6,25%.

No ambiente setorial, dentro do *cluster* rivalidade dos concorrentes, sendo influenciado por ameaça de produtos substitutos, ameaça de novos concorrentes e poder de negociação dos clientes. Crescimento industrial 8,88%, quantidade de concorrentes e participação no mercado 6,22% e número de fornecedores 2,75%. O poder de negociação dos clientes é ligado à ameaça de produtos substitutos, rivalidade de concorrentes, ameaça de entrada de novos concorrentes, poder de negociação dos fornecedores e análise de grupos estratégicos. Análise econômica representa 7,37% e capacidade de integração dos clientes 2,78%. Poder de negociação dos fornecedores apresenta retroalimentação e recebe influência do poder de negociação dos clientes, rivalidade de concorrentes, ameaça de entrada de novos concorrentes com custo de produção com relação a preço e venda. Análise econômica registrou 7,27%, ameaça de integração com os fornecedores e integração por concorrentes 5,98%, grau de diferenciação dos produtos 2,80%. Ameaça de produtos substitutos se retroalimenta e recebe influência de todos os *clusters* do ambiente setorial. Nível de diferenciação do produto registra 5,65%. Análise de grupo estratégico apresenta retroalimentação e é influenciado por todos os demais *clusters* do ambiente setorial. Segmentação do mercado geográfico apresenta 4,46%, capacidade de pesqui-

sa e desenvolvimento 2,74% e atividades de marketing 3,21%. Ameaça de entrada de novos concorrentes se retroalimenta. Barreiras de entrada 3,09%, políticas governamentais 2,69% e economia de escala 2,13%. No cluster, com retroalimentação, ameaça de entrada de novos concorrentes é influenciado por todos os outros clusters. Marca registra 1,85%.

No ambiente operacional o *cluster* concorrentes se retroalimenta. Estratégia atual e objetivos futuros apresentam influência de 37,50%, capacidade e objetivos atuais registram 12,50%.

O ambiente externo das ICT apresenta retroalimentação, influenciando as decisões internas dos gestores. Ambiente geral apresenta influência de 40,96%, setorial 11,43% e operacional 4,99%. As tendências futuras para os setores a serem atendidos registra 22,90%, áreas de pesquisa a serem priorizadas 11,69%, características da equipe de trabalho 5,94% e a formação da estrutura laboratorial 2,05%. As variáveis externas de mercado exercem influência relativa de 40,96% nas decisões internas. Merecendo destaque os aspectos que afetam economicamente a ICT e seus consumidores. Mudanças permanentes e de longo prazo na estrutura econômica apresentam influência relativa de 19,02%, mudanças transitórias na economia 40,48%. As orientações e condições tecnológicas afetam consideravelmente com o processo de concretização do conhecimento a partir da produção de novos saberes representando 24,57%, a criação e melhoria dos métodos para garantir o funcionamento dos dispositivos da produção, consumo e atividades das pesquisas 10,86%, capacidade de transformar conhecimentos em ferramentas úteis para a sociedade corresponde a 4,74%. A dinâmica social de uma determinada população deve ser considerada, principalmente as remunerações dos fatores de produção dos indivíduos e o número de indivíduos, registrando influência de 75,00% e 25,00% respectivamente. A sedimentação de um determinado grupo social por fatores comportamentais é relevante, com domicílio apresentando influência relativa de 80,00% e os modelos específicos a que o consumo

obedece 20,00%. Os aspectos que uma determinada sociedade elege como desejáveis são fundamentais, sendo a aceitação dos hábitos característicos de uma população influenciando em 6,25%, visão de uma determinada sociedade acerca do conhecimento técnico e científico 50,00% e as noções de um grupo social acerca da economia 43,75%.

No ambiente setorial merecem destaque os fatores de concorrência entre organizações dentro da mesma área ou não, desenvolvimento das atividades no mercado registrou 8,88%, quantidade de concorrentes e o percentual correspondente à organização em algum aspecto do mercado representam 6,22% e à quantidade de fornecedores 2,75%. A capacidade dos consumidores de negociarem mudanças nas organizações em que consomem produtos e/ou serviços é de fundamental importância, com a análise de indicadores econômicos fundamentais representa 7,37% e a possibilidade de integrar os consumidores aos processos organizacionais 2,78%. A margem de negociação de seus produtos e/ou serviços frente a seus clientes precisa ser levada em consideração, com gastos ligados ao processo produtivo em relação ao valor cobrado ao consumidor de seus produtos e/ou serviços registrando 7,27%, possibilidade de seus fornecedores integrarem suas atividades com fornecedores 5,98% e aspectos específicos que tornam seus produtos e/ou serviços, mas atrativos que seus concorrentes 2,80%. Os produtos e/ou serviços parecidos ou idênticos aos existentes que chegam ao mercado através da concorrência e atendem aos consumidores são importantes, principalmente em relação aos aspectos específicos que tornam seus produtos, mais atrativos que seus concorrentes, que representando 5,65%. Os locais e variáveis das localidades onde as empresas atuam, 4,46%, sendo a possibilidade de gerar conhecimento e aplicar este saber em suas atividades e no mercado com 2,74% e ações de conhecimento do cliente por parte da empresa, que orientaram fluxos de produtos e serviços da produção para consumidores 3,21%. Existe a possibilidade da entrada de novas empresas no mercado, com os aspectos que dificultam a empresa iniciar sua atuação em um mercado registrando 3,09%, ações

e variáveis políticas do público que podem interferir nos negócios 2,69%, oportunidade de redução do gasto médio de um produto pela diluição dos gastos fixos em uma quantidade maior de produção por unidade 2,13% e representação da imagem de uma empresa no mercado 1,85%.

No operacional, o que a ICT pretende fazer atualmente para alcançar objetivos e a previsão futura das metas que a organização deseja atingir representam cada um 37,50%. Os fatores de produção, que a organização dispõe para fornecer produtos e/ou serviços e os propósitos que a empresa deseja chegar ao momento equivalem cada um a 12,50%.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados no macroambiente indicam que é fundamental que a estratégia da ICT deve ter como foco realizar análises e previsões do ambiente externo pelo ponto de vista econômico, considerando que a política do país e os aspectos sociais influenciam a economia. Salienta-se que a orientação econômica do Governo altera o desenvolvimento tecnológico, pesquisa e difusão do conhecimento. Na área de atuação da ICT é relevante a observação, análise e otimização das atividades internas. Outro fator que merece destaque é o conhecimento e monitoramento dos processos internos e crescimento dos concorrentes e fornecedores da área, com objetivo de não reduzir a participação no mercado. Melhorar atividades internas pode gerar consequências positivas no nível de serviço prestado aos seus consumidores.

No ambiente setorial os resultados indicam que a observação dos concorrentes e fornecedores podem gerar indicadores de áreas de investimentos em desenvolvimento tecnológico, pesquisa e difusão do conhecimento. Clientes podem alterar a capacidade, processos organizacionais e gerar indicadores econômicos de áreas de investimentos, diante disso, convém frisar que um canal aberto de

comunicação e integração dos consumidores pode ser estratégico para a instituição. Os recursos humanos formados na ICT, devem ser integrados à organização. São itens críticos às relações e aos valores cobrados dos consumidores pelos produtos e/ou serviços. Da mesma forma, processos internos devem ser enxutos e gerar integração com os fornecedores, possibilitando operar ao menor custo possível sem perder a qualidade. Neste setor, concorrentes podem oferecer produtos e/ou serviços similares e proporcionar um diferencial aos consumidores é importante para os objetivos da ICT. Assim como uma localização acessível e que os conhecimentos gerados tenham aplicabilidade direta no mercado, com o acompanhamento de como estes saberes estão sendo utilizados. Novas organizações podem surgir e acompanhar a dinâmica do setor como também os fatores políticos e da sociedade, podem alterar processos internos, no qual trabalhar a imagem da ICT para esta comunidade pode ser relevante.

Os resultados apresentados no ambiente operacional indicam que a estratégia operacional deve alcançar objetivos e metas futuras, sem negligenciar a gestão dos fatores de produção para atingir propósitos a curto prazo, prevendo e agindo de acordo com as tendências futuras dos setores estratégicos para o crescimento industrial do país, conhecendo o padrão de investimentos e escolher quais as áreas críticas a serem priorizadas.

As prioridades do modelo indicam a possibilidade de formar e buscar recursos humanos capazes de atender às demandas dessas áreas prioritárias e por fim determinar qual estrutura física necessária para suprir as necessidades de geração de desenvolvimento tecnológico, pesquisa e difusão de conhecimento.

Considerando a perspectiva de modelar e analisar decisões complexas em rede, esta proposta metodológica pode proporcionar que gestores de ICT tenham uma visão não linear (rede) das possíveis consequências das suas decisões.

REFERÊNCIAS

AAKER, D. A. *Administração estratégia de mercado*. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

ANDRADE, L. P. C. S. *Modelo e método para tomadas de decisões estratégicas de uma instituição de ciência, tecnologia e inovação*. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos, 2015.

BEINHAUER, R.; WENZEL, R. *Strategy-Train Small Enterprise Strategic Development Training*. Módulo III - Análise Estratégica - Unidade 2 - Fundamentos da Gestão Estratégica, 2016. Disponível em: st.merig.eu/uploads/media/Download_Unidade_2.pdf. Acesso em: 10 jun. 2020.

BENEVIDES, G.; BRESCIANI, L. P. SANTOS JUNIOR, D. A dinâmica da inovação: Mecanismos de articulação na região metropolitana de Campinas. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 12, n. 1, p. 410-437, 2016.

BERS, J. A. *et al.* Accelerated radical innovation: Theory and application. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 76, n. 1, p. 165-177, 2009.

FERRÃO, J. F. Inovar para desenvolver: O conceito de gestão de trajetórias territoriais de inovação. *Interações-Revista Internacional de Desenvolvimento Local*, v. 3, n. 4, p. 17-26, 2016.

GOULARTE, G.; SILVEIRA-MARTINS, E. A diferenciação como estratégia Porteriana: Uma análise sobre o transporte de soja em contêiner. *Revista Eletrônica Científica do CRA-PR*, v. 3, p. 14-25, 2016.

HITT, M.; IRELAND, R. D.; HOSKISSON, R. E. *Administração estratégica*. São Paulo: Thompson, 2002.

JERÓNIMO, A. B. *ANP - Cálculo de las supermatrices original, poderada y límite*. Universitat Politècnica de València – UPV. Disponível em: <http://www.upv.es/visor/media/d44eb00f-d93d-624d-9c11-4ac1b469e06a/v>. Acesso em: 14 jun. 2020.

MAMEDE, M. *et al.* Sistema Nacional de Inovação: Uma análise dos sistemas na Alemanha e no Brasil. *Navus-Revista de Gestão e Tecnologia*, v. 6, n. 4, p. 6-25, 2016.

MATIAS-PEREIRA, J.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão de inovação: A lei de inovação tecnológica como ferramenta de apoio às políticas industrial e tecnológica do Brasil. *RAE Eletrônica*, v. 4, n. 2, p. 1-21, 2005.

MENEZES, B. L. S. *et al.* Um modelo de localização baseado na metodologia Analytic Hierarchy Process (AHP) para fornecedores de autopeças da cadeia automotiva do Estado da Bahia. *Revista Economia & Gestão*, v. 14, n. 37, p. 80-103, 2014.

_____. Fatores de decisão quanto à localização de fornecedores no setor automotivo nacional. *Ciências Sociais em Perspectiva*. v. 12, p.1-22, 2013.

PORTER, M. How competitive forces shape strategy. *Harvard Business Review*, v. 57, n. 2, p. 137-145, 1979.

_____. *Estratégia competitiva: Técnicas para análise de indústrias e da concorrência*. 7. ed., Rio de Janeiro: Campus, 1991.

SAATY T. L. Analytic Network Process. In: Gass S. I., FU, M. C. (eds) *Encyclopedia of operations research and management science*. Boston: Springer, p. 1-40, 2013.

SCHNEIDER, A. B. *et al.* Estratégia competitiva: Michael Porter 30 anos depois. *Revista de Administração da UFSM – REA*. v. 2, n. 2, p. 298-326, 2009.

SILVA, W. R. Estratégia competitiva: Uma ampliação do modelo de Porter. *Revista de Administração de Empresas – RAE*. v. 28, n. 2, p. 33-41, 1988.

VAN DER PANNE, G.; VAN BEERS, C.; KLEINKNECHT, A. Success and failure of innovation: A literature review. *International Journal of Innovation Management*. v. 7, n. 3, p. 309-338, 2003.

ANEXO A

0. AMBIENTE GERAL: análise macro ambiental, orientada para o futuro, sendo o ambiente e maior amplitude, envolvendo atividades humanas e diversos aspectos, podendo gerar impactos significativos nas empresas.

1. Político: Organização e mecanismos (formais ou informais) que definem o funcionamento da política.
 - 1.1. Sistema Formal: a Constituição, leis, organizações e cargos regulamentados e formalizados juridicamente. Exemplo: partidos políticos, câmaras legislativas, Senado, Prefeituras.
 - 1.2. Sistema Informal: condutas, normas e relações formadas em geral na própria sociedade. Exemplo: costumes de um povo é uma forma de expressão jurídica, sendo levado em consideração para a elaboração de leis.
2. Econômico: o mercado de uma forma geral, aspectos que afetam economicamente as empresas e consumidores. Exemplo: renda, inflação, política monetária e fiscal.
 - 2.1. Mudanças Estruturais: mudanças permanentes e de longo prazo na estrutura econômica. Exemplo: globalização.
 - 2.2. Mudanças Cíclicas: mudanças que são apenas transitórias. Exemplo: crise financeira.
3. Social: investigação de uma determinada população.
 - 3.1. Demografia: dinâmica de uma determinada população. Exemplo: natalidade, produção econômica, migração e etc.
 - 3.1.1. Tamanho da população: número de indivíduos.

- 3.1.2. Estrutura etária da população: idades dos indivíduos.
- 3.1.3. Densidade da população: número de indivíduos por unidade de área.
- 3.1.4 Níveis de renda da população: remunerações dos fatores de produção dos indivíduos.
- 3.2. Estilo de vida: sedimentação de um determinado grupo social por fatores comportamentais, hábitos, consumo, e etc.
 - 3.2.1. Domicílio: casa, apartamento, cômodo e etc.
 - 3.2.2. Ocupação: atividade em que se trabalha.
 - 3.2.3. Educação: nível de educação formal.
 - 3.2.4. Padrão de consumo: modelos específicos a que o consumo obedece.
 - 3.2.5. Lazer: o que é realizado no tempo livre.
- 3.3. Valores Sociais: aspectos que uma determinada sociedade elege como desejáveis.
 - 3.3.1. Políticos: ações em relação às preferências de um grupo. Exemplo: Interesse público e privado.
 - 3.3.2. Socialização: aceitação dos hábitos característicos de uma população.
 - 3.3.3. Tecnológicos: visão de uma determinada sociedade acerca do conhecimento técnico e científico.
 - 3.3.4. Econômicos: noções de um grupo social acerca da economia.
- 4. Tecnológico: aspectos, orientações e condições tecnológicas que afetam as empresas.

- 4.1. Pesquisa: processo de concretização do conhecimento a partir da produção de novos saberes.
- 4.2. Desenvolvimento tecnológico: criação e melhoria dos métodos para garantir o funcionamento dos dispositivos da produção, consumo e atividades das pesquisas.
- 4.3. Difusão do conhecimento: capacidade de transformar conhecimentos em ferramentas úteis para a sociedade.
0. 1. AMBIENTE SETORIAL: análise dos setores, entender dos aspectos e condições que influenciam na lucratividade, envolve aspectos setoriais e fatores que afetam empresas do setor.
 1. Rivalidade dos Concorrentes: fator de concorrência entre organizações dentro da mesma área ou não.
 - 1.1. Quantidade de concorrentes: número de concorrentes.
 - 1.2. Participação no mercado: percentual correspondente a organização em algum aspecto do mercado.
 - 1.3. Crescimento industrial: desenvolvimento das atividades no mercado.
 - 1.4. Diversidade de concorrentes: variedades de concorrentes.
 - 1.5. Fluxo de informações: canais para obter informações estratégicas da concorrência.
 - 1.6. Diferenciação dos produtos e/ou serviços: formas de tornar produtos e/ou serviços mais atrativos que a concorrência.
 - 1.7. Barreiras para saída do mercado: ameaças que impedem a saída do mercado.

2. Poder de Negociação dos Clientes: capacidade dos consumidores de negociarem mudanças nas organizações em que consomem produtos e/ou serviços.
 - 2.1. Análise econômica: análise de indicadores econômicos fundamentais.
 - 2.2. Preço total de compra: valor monetário que cobre os custos associados a aquisição de uma mercadoria, serviço ou patrimônio.
 - 2.3. Fluxo de informação do consumidor em relação ao produto: canal de comunicação dos clientes com informações de serviços e/ou produtos ofertados.
 - 2.4. Produtos substitutos: substituem os produtos existentes.
 - 2.5. Dimensão dos consumidores: percepção dos clientes em relação aos produtos e/ou serviços como pacotes de atributos.
 - 2.6. Capacidade de integração dos clientes: possibilidade de integrar os consumidores aos processos organizacionais.
3. Poder de Negociação dos Fornecedores: margem de negociação de seus produtos e/ou serviços frente a seus clientes.
 - 3.1. Grau de diferenciação: aspectos específicos que tornam seus produtos e/ou serviços, mas atrativos que seus concorrentes.
 - 3.2. Custo de produção com relação ao preço de venda: gastos ligados ao processo produtivo em relação ao valor cobrado ao consumidor de seus produtos e/ou serviços.
 - 3.3. Ameaça integração com fornecedores por concorrentes: possibilidade de seus fornecedores integrarem suas atividades com fornecedores.

- 3.4. Número de fornecedores: quantidade de fornecedores envolvidos.
- 4. Ameaça de Entrada de Novos Concorrentes: possibilidade da entrada de novas empresas no mercado.
 - 4.1. Barreiras de entrada: aspectos que dificultam a empresa iniciar sua atuação em um mercado.
 - 4.2. Acesso aos canais de distribuição: acesso a meios que podem representar, distribuir e vender o que é produzido.
 - 4.3. Capital: bens econômicos que podem ser utilizados na produção de bens e/ou serviços.
 - 4.4. Políticas governamentais: ações e variáveis políticas do público que podem interferir nos negócios.
 - 4.5. Marca: representação da imagem de uma empresa no mercado.
 - 4.6. Vantagens absolutas de custos: capacidade de produzir a um preço mais baixo.
 - 4.7. Economia de escala: oportunidade de redução do gasto médio de um produto pela diluição dos gastos fixos em uma quantidade maior de produção por unidade.
 - 4.8. Custos: gasto necessário para produzir e/ou prestar produtos e/ou serviços.
- 5. Ameaça de Produtos Substitutos: produtos e/ou serviços parecidos ou idênticos aos existentes que chegam no mercado através da concorrência e atendem aos consumidores.
 - 5.1. Relação preço/renda: quanto o preço dos produtos e/ou serviços compromete a renda dos clientes.
 - 5.2. Nível de diferenciação do produto: aspectos específicos que tornam seus produtos, mas atrativos que de seus concorrentes.

- 5.3. Poder de barganha do consumidor: capacidade dos consumidores de influenciar no mercado, através da demanda por produtos e/ou serviços.
- 5.4. Qualidade: possibilidade dos produtos e/ou serviços ofertados atenderem ou superarem as expectativas dos clientes.
6. Fatores Estratégicos: conjunto de empresas que seguem estratégias iguais e/ou similares.
 - 6.1. Integração horizontal: capacidade das empresas de aquisição de concorrentes diretos.
 - 6.2. Integração vertical: possibilidade das organizações de integrar-se outras infraestruturas, bens e empresas da mesma área.
 - 6.3. Segmentação do mercado geográfico: locais e variáveis das localidades onde as empresas atuam.
 - 6.4. Estrutura de propriedade: posse de ações pelos dirigentes e conselheiros das empresas.
 - 6.5. Tamanho das empresas: porte das organizações.
 - 6.6. Utilização da capacidade: nível de atividade das empresas que estão produzindo.
 - 6.7. Estrutura de custos: quanto custam todas as organizações.
 - 6.8. Canais de vendas: recursos utilizados pelas organizações para encaminhar seus produtos e/ou serviços até os consumidores e finalizar uma venda.
 - 6.9. Atividades de Marketing: ações de conhecimento do cliente por parte das empresas, que orientaram fluxos de produtos e serviços da produção para consumidores.

- 6.10. Propriedade da marca: conjunto de direitos sobre a simbologia utilizada para identificar e diferenciar produtos e/ou serviços das empresas.
- 6.11. Diversidade de produtos: variedade de produtos e/ou serviços oferecidos pelas organizações.
- 6.12. Qualidade do produto: possibilidade dos produtos e/ou serviços ofertados pelas empresas para atenderem ou superarem as expectativas dos clientes.

Capacidade de realizar pesquisa e desenvolvimento: possibilidade das empresas de gerarem conhecimento e aplicar estes saberes em suas atividades e no mercado.

- 0. 3. ANÁLISE OPERACIONAL: análise da concorrência, prever as dinâmicas das atividades do cotidiano, reações e intenções da concorrência, aspectos imediatos dessas organizações.
 - 1. Concorrentes: empresas que produzem e/ou oferecem serviços com características semelhantes.
 - 1.1. Objetivos Atuais: propósitos que as empresas desejam chegar no momento.
 - 1.2. Objetivos Futuros: previsão futura das metas que as organizações desejam atingir.
 - 1.3. Estratégia Atual: o que as empresas pretendem fazer atualmente para alcançar objetivos.
 - 1.4. Capacidade: possibilidade, levando em considerando os fatores de produção, que as organizações dispõem para fornecer produtos e/ou serviços.



6

*Antonio César do Prado Rosa Junior
Marcelo A. Moret*

EQUAÇÕES NÃO LINEARES DE *FOKKER-PLANCK*: APLICAÇÕES A SISTEMAS COMPLEXOS

DOI: 10.31560/pimentacultural/2021.707.170-193

RESUMO:

Sistemas complexos que evoluem segundo uma dinâmica estocástica de natureza não *markoviana* podem ser modelados por formas não lineares da equação de *Fokker-Planck*, com destaque àquelas cujas soluções maximizam formas entrópicas *não aditivas*, pois definem um escopo teórico promissor para a modelagem de sistemas dinâmicos fora do equilíbrio. Neste contexto, apresentamos uma introdução aos fundamentos teóricos desse formalismo e discutiremos os principais resultados oriundos do nosso trabalho de pesquisa, a partir do qual desenvolvemos modelos estocásticos não-aditivos para a caracterização da *não extensividade* em sistemas astrofísicos, processos corrosivos em dutos de água e o comportamento *super-Arrhenius* em sistemas formadores de vidros.

PALAVRAS-CHAVE: Não markoviana; *Fokker-Planck*; Não aditivas; Não extensividade; Super-Arrhenius.

INTRODUÇÃO

A relação entre as propriedades globais de um sistema complexo e a interação local entre as suas unidades constituintes – reais ou abstratas – não pode ser descrita por meio de uma *teoria reducionista*¹, dado que a evolução no tempo de tal sistema ocorre por uma sucessão de estados macroscópicos de não equilíbrio, que são produzidos tanto por interações não lineares entre as unidades componentes do sistema, quanto por interações com o ambiente externo (ROSA JR., 2015). Em consequência disso, sistemas dinâmicos complexos apresentam uma variedade de propriedades comumente associadas a uma dinâmica estocástica de natureza não markoviana, tais como auto-afinidade, não extensividade ou memória de longo prazo (ROSA JR., 2015).

Neste contexto, a teoria dos processos estocásticos tem se mostrado um mecanismo promissor para a modelagem de propriedades macroscópicas de sistemas complexos, seja por meio de equações diferenciais estocásticas que descrevem a evolução temporal das propriedades dinâmicas do sistema, ou através de equações de continuidade cujas soluções correspondem às densidades de probabilidade que caracterizam o macroestado do sistema (RISKEN, 1996; FRANK, 2005). Tendo em vista o segundo caso, uma abordagem baseada em *modelos estocásticos não-aditivos* (ROSA JR., 2015) tem se revelado promissora para o estudo de dinâmicas estocásticas que não correspondem a um processo linear de *Markov* (RISKEN, 1996).

Os modelos estocásticos não-aditivos são caracterizados por uma classe de equações de continuidade que correspondem às for-

¹ O conceito elementar do reducionismo é que “*o todo é conjunto das suas partes*”. Desse modo, o estudo das propriedades de um sistema a partir das propriedades de seus constituintes básicos, a explicação de um fenômeno natural através de alguns poucos princípios de uma teoria científica, ou mesmo a crença de que todos os fenômenos da natureza podem ser explicados cientificamente, constituem ideias reducionistas (ROSA JR., 2015).

mas não lineares da *Equação de Fokker-Planck* (FRANK, 2005), cujas soluções características, transientes ou estacionárias, descrevem densidades de probabilidade do tipo *cauda longa* (do inglês *long tail*) que extrapolam o comportamento gaussiano, em decorrência das correlações espaço-temporais de longo alcance inerentes ao sistema, e maximizam formas entrópicas não-aditivas, a exemplo da entropia de Tsallis (TSALLIS, 2009). Esta abordagem tem sido empregada com sucesso na construção de modelos para a difusão anômala (PLASTINO; PLASTINO, 1995), sistemas não extensivos (SCHWÄMMLE *et al.*, 2007; 2009), fontes astrofísicas (MORET *et al.*, 2010, ROSA *et al.*, 2013), manchas solares (MORET, 2014), corrosão por pites em um sistema de tubulação de água (ROSA *et al.*, 2015) e processos difusivos em líquidos superesfriados (ROSA *et al.*, 2016; 2019; 2020).

O nosso objetivo neste artigo é apresentar os resultados mais relevantes obtidos através do trabalho de pesquisa que desenvolvemos nos últimos anos, no qual aplicamos equações não lineares de *Fokker-Planck* para a modelagem física de sistemas complexos e processos não markovianos. Para isso, discutiremos nas seções subsequentes os fundamentos teóricos que embasam os modelos estocásticos não-aditivos, os resultados obtidos na modelagem de sistemas astrofísicos, de processos corrosivos em dutos e dos mecanismos de formação de vidros, e apresentaremos nossas conclusões e perspectivas futuras sobre o tema.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Processos de *Markov* e a equação de *Fokker-Planck*

Considere um processo estocástico caracterizado por uma variável aleatória e unidimensional x dependente do tempo t . Caso $P(x, t)$ seja a densidade de probabilidade associada ao espaço de

fase da variável aleatória, a probabilidade de encontrar x no intervalo $x_1 \leq x \leq x_1 + dx_1$ para o instante de tempo t_1 é dada por $P(x_1, t_1)dx_1$, supondo existente a média,

$$P(x_1, t_1) = \int \delta(x - x_1)P(x, t_1)dx \quad (1)$$

onde $\delta(x)$ é a função delta de Dirac (ROSA Jr., 2015). Por sua vez, a probabilidade de encontrar o valor de x no intervalo $x_1 \leq x \leq x_1 + dx_1$ para o instante de tempo t_1 e x no intervalo $x_2 \leq x \leq x_2 + dx_2$ para o instante $t_2 > t_1$ é dada por $P(x_2, t_2; x_1, t_1) dx_2 dx_1$, de modo que (ROSA Jr., 2015),

$$P(x_2, t_2; x_1, t_1) = \int \delta(x' - x_2)(\int \delta(x'' - x_1)P(x', t_2; x'', t_1)dx'')dx' \quad (2)$$

Seguindo este raciocínio, a probabilidade de encontrar x no intervalo $x_1 \leq x \leq x_1 + dx_1$ para o instante de tempo t_1 , x no intervalo $x_2 \leq x \leq x_2 + dx_2$ para o instante $t_2 > t_1$, ... e x no intervalo $x_n \leq x \leq x_n + dx_n$ para o n-ésimo instante de tempo $t_n > t_{n-1} > \dots > t_1$ corresponde a $P(x_n, t_n; \dots; x_1, t_1)dx_n \dots dx_1$. Desta forma, o processo estocástico é completamente caracterizado por meio de uma hierarquia de densidades de probabilidade:

$$P(x_1, t_1); P(x_2, t_2; x_1, t_1); \dots; P(x_n, t_n; x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1); \dots \quad (3)$$

A condição de normalização $\int P(x, t)dx=1$ permite relacionar as diferentes ordens da hierarquia por uma equação do tipo (ROSA Jr., 2015),

$$P(x, t; \dots; x', t') = \int P(x, t; x'', t''; \dots; x', t')dx'' \quad (4)$$

onde a integral se estende a todos os valores possíveis de x'' . Por outro lado, as diferentes ordens da hierarquia estão interconectadas por

meio de uma densidade de probabilidade condicional, representada aqui na forma $W(x, t | x', t')$, capaz de descrever a probabilidade do sistema evoluir para um estado x no instante t , se fixado o estado x' para o instante de tempo $t' < t$. Desse modo, temos:

$$\begin{aligned} P(x_2, t_2; x_1, t_1) &= W(x_2, t_2 | x_1, t_1)P(x_1, t_1), \\ P(x_3, t_3; x_2, t_2; x_1, t_1) &= W(x_3, t_3 | x_2, t_2; x_1, t_1)P(x_2, t_2; x_1, t_1), \\ P(x_n, t_n; x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1) &= W(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1)P(x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1) \end{aligned} \quad (5)$$

As Eqs. (5) evidenciam que a natureza das correlações presentes no processo estocástico depende da forma funcional de W . Se o sistema apresenta memória de curto prazo, de modo que um estado futuro dependa apenas de seu estado atual, a densidade de probabilidade condicional corresponde a,

$$W(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1) = W(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}) \quad (6)$$

o que caracteriza um *processo linear de Markov* (RISKEN, 1996; ROSA JR., 2015). Dadas as equações (4), (5) e (6), obtemos a equação de *Chapmann-Kolmogorov* (RISKEN, 1996; ROSA JR., 2015):

$$W(x, t | x', t') = \int W(x, t | x'', t'')W(x'', t'' | x', t')dx'' \quad (7)$$

A Eq. (7) define W como uma probabilidade de transição para o estado x no instante t , tendo o sistema passado pelo estado x' no instante $t' < t$, independente de quais tenham sido os estados intermediários x'' para o intervalo de tempo $\Delta t = t - t'$. A partir de qualquer condição inicial, a densidade de probabilidade $P(x, t)$ satisfaz a equação,

$$P(x, t) = \int W(x, t | x', t')P(x', t')dx' \quad (8)$$

A Eq. (8) permite a construção de uma equação dinâmica para a densidade de probabilidade $P(x,t)$, porém limitada a processos markovianos. Para tanto, considere a transformada de Fourier (RISKEN, 1996) da probabilidade de transição:

$$G(s, x', t, t') = \int e^{is(x-x')} W(x, t | x', t') dx$$

(9)

Expandindo em série de potências a função exponencial na Eq. (9) e supondo conhecidos os momentos centrais da probabilidade de transição (RISKEN, 1996; ROSA Jr., 2015), a transformada inversa de Fourier fornece a expressão:

$$W(x, t | x', t') = \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{\partial}{\partial x} \right)^n \frac{M_n(x', t, t')}{n!} \right] \delta(x - x')$$

(10)

Com base no último resultado e feitas as substituições $t \rightarrow t' + \tau$ e $t' \rightarrow t$, ao dividir a Eq. (8) por τ e tomando o limite $\tau \rightarrow 0$, obtemos a expansão de *Kramers-Moyal* (RISKEN, 1996; ROSA Jr., 2015),

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{\partial}{\partial x} \right)^n [D_n(x, t)P(x, t)]$$

(11)

sendo $D_n(x, t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} [M_n(x, t + \tau, t)/(\tau n!)]$. Conforme o teorema Pawula (ROSA Jr., 2015), a Eq. (11) pode se restringir aos dois primeiros termos da série, correspondendo a forma generalizada da *Equação de Fokker-Planck* (EFP) (RISKEN, 1996; ROSA JR., 2015). Para o caso unidimensional, a EFP tem a forma geral,

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [D_1(x, t)P(x, t)] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} [D_2(x, t)P(x, t)]$$

(12)

onde $D_1(x, t)$ e $D2(x, t)$ são, respectivamente, os coeficientes de atrito e difusivo – em analogia ao *movimento browniano* (ROSA JR., 2015) – e guardam informação sobre as tendências sistemáticas e a dispersão presentes na distribuição de probabilidade associada à variável estocástica x . Equações de *Fokker-Planck* podem ser aplicadas tanto para sistemas em equilíbrio dinâmico, quando a densidade de probabilidade é determinada pela solução estacionária da EFP, como para sistemas fora do equilíbrio, sendo a densidade de probabilidade caracterizada pelas soluções transientes da EFP.

PROCESSOS NÃO LINEARES DE MARKOV

Sistemas cuja dinâmica estocástica guarda memória dos estados passados, a princípio, não podem ser descritos por um processo linear de *Markov*, uma vez que a Eq. (6) não contém informação sobre correlações espaço-temporais de longo alcance presentes nas variáveis dinâmicas do sistema. Neste contexto, uma abordagem alternativa consiste na definição de um *processo não linear de Markov* (FRANK, 2005; ROSA JR., 2015), cuja hipótese fundamental é dada pela condição,

$$W(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}; \dots; x_1, t_1; u(x)) = W(x_n, t_n | x_{n-1}, t_{n-1}; u(x)) \quad (13)$$

onde $u(x) = \mathcal{P}(x, t_0; u(x))$ é uma densidade de probabilidade inicial. A equação de Chapman-Kolmogorov associada é dada por,

$$W(x, t | x', t'; u) = \int W(x, t | x'', t''; u) W(x'', t'' | x', t'; u) dx'' \quad (14)$$

e reescrevendo a Eq. (14) em termos da expansão de Kramers-Moyal obtemos,

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \sum_{n=1}^{\infty} \left(-\frac{\partial}{\partial x}\right)^n [D_n(x, t; u)W(x, t; u)]$$

(15)

sendo os coeficientes da expansão dados por:

$$D_n(x, t; u) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau n!} \int (x - x')^n W(x, t + \tau | x', t; u) dx$$

(16)

Uma vez que o teorema de Pawula se aplica a Eq. (15), obtemos uma classe de equações não lineares do tipo Fokker-Planck (ENFP) em termos de $W(x, t | x', t'; u)$ e, como a Eq. (8) continua válida neste caso, $P(x, t; u)$ também é solução da ENFP. Por fim, dado que a densidade de probabilidade está univocamente relacionada a u e que t_0 é arbitrário, a ENFP pode ser escrita como:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} [D_1(x, t; P)P(x, t)] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} [D_2(x, t; P)P(x, t)]$$

(17)

onde os coeficientes de arrasto e difusão generalizados são agora formas funcionais da densidade de probabilidade $P(x, t)$ e a forma explícita de cada coeficiente generalizado depende dos mecanismos que conduzem a evolução dinâmica do sistema a ser modelado. A Eq. (17) provê soluções, tanto transientes quanto estacionárias, que englobam uma gama mais geral de densidades de probabilidade, em comparação com a Eq. (12).

MODELOS ESTOCÁSTICOS NÃO ADITIVOS

Modelos estocásticos não aditivos têm por base uma classe de equações não lineares de *Fokker-Planck* cujas soluções,

principalmente para o regime estacionário, definem densidades de probabilidade que maximizam formas entrópicas não aditivas (ROSA JR., 2015), a exemplo da entropia de Tsallis, que correspondem a generalizações da entropia clássica de Shannon-Boltzmann-Gibbs (TSALLIS, 2009; ROSA JR., 2015). Neste contexto e considerando o caso unidimensional, a ENFP é dada pela expressão,

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left[-\left(\frac{dU}{dx}\right) P^m \right] + \frac{\Gamma}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} [P^n]$$

(18)

onde $U(x)$ equivale a um potencial generalizado, Γ é uma constante positivo definida e valem as condições $m, n > 1$ e $m \neq n$. Os coeficientes generalizados correspondem a:

$$D_1(x, t; P) = -\left(\frac{dU}{dx}\right) P^{m-1}$$

(19)

$$D_2(x, t; P) = \frac{\Gamma}{2} P^{n-1}$$

(20)

Quando o sistema dinâmico converge para um estado de equilíbrio, que pode ser estável ou metaestável, no limite de tempos longos, a densidade probabilidade correspondente não varia mais no tempo, ou seja, $P(x, t) \rightarrow P_s(x)$. Nestas condições e considerando que a densidade de probabilidade se anula para $x \rightarrow \pm\infty$, a equação (18) tem como solução,

$$P_s(x) = A \left[1 - B \frac{(n-m)}{n} U(x) \right]^{\frac{1}{n-m}}$$

(21)

onde A é a constante de normalização e $B = 2 \Gamma^{-1} A^{m-n}$ é o fator de escala. A Eq. (21) é uma função rapidamente decrescente

para a condição $m \neq n$ e converge para uma função exponencial no limite $n - m \rightarrow 0$.

Se $U(x)$ é um potencial quadrático, ou seja $U(x) \propto x^2$, a Eq. (18) descreve processos estocásticos do tipo Oerstein-Unlenbeck (PLASTINO; PLASTINO, 1995; ROSA JR, 2015) e, por consequência, a Eq. (21) corresponde a uma forma generalizada da distribuição gaussiana, esta última associada à maximização da entropia de Shanon-Boltzmann-Gibbs. Em particular, dados $m = 1$ e $n = 2 - q$ (ROSA JR, 2015), obtemos a distribuição de probabilidade que maximiza a entropia de Tsallis, denominada *q-gaussiana*, sendo o expoente q o índice entrópico.

Esta abordagem tem sido aplicada com sucesso na caracterização de propriedades físicas em sistemas dinâmicos complexos, produzindo modelos em diversas áreas de conhecimento, desde a ciência dos materiais até a astrofísica. Na próxima seção, discutiremos os modelos e principais resultados derivados a partir do nosso trabalho de pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

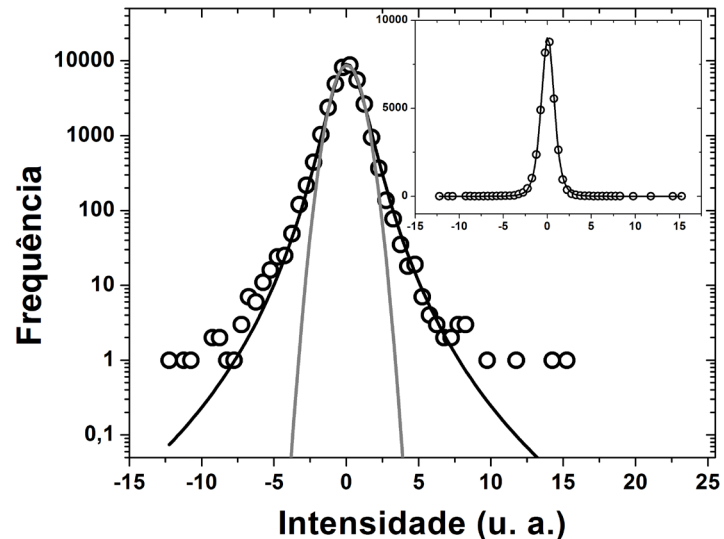
Sistemas astrofísicos

Não extensividade em fontes astrofísicas de raios-X

A emissão de fótons de raios X por sistemas astrofísicos, sejam sistemas binários de estrelas ou galáxias de núcleo ativo, está associada a processos difusivos de partículas atômicas, a velocidades relativísticas, modulados pelos campos gravitacionais intensos de tais sistemas (ROSA *et al.*, 2013). Apesar das propriedades físicas que distinguem as diferentes fontes astrofísicas, os processos de emissão correspondem a uma dinâmica de natureza não markoviana, refletida na propriedade de autoafinidade presente nas séries temporais de curvas de luz de raio X, sendo este um comportamento universal (ROSA *et al.*, 2013).

Neste contexto, determinamos que tais sistemas apresentam um comportamento não extensivo, caracterizado por uma estatística generalizada correspondente à entropia de Tsallis. Para tanto, analisamos as distribuições de intensidade de 142 fontes astrofísicas de raios X dentre galáxias, supernovas remanescentes, pulsares, variáveis cataclísmicas e blasares, coletados pelo instrumento All Sky Monitor (ASM), a bordo do satélite Rossi X-ray Time Explorer (RXTE) (ROSA *et al.*, 2013; ROSA JR, 2015), conforme exemplifica a Figura 1 que considera dados coletados da supernova remanescente Puppis A.

Figura 1 - Ajuste da q-gaussiana para a supernova remanescente Puppis A. Os círculos representam o histograma da intensidade de raio-X, a curva em preto é a q-gaussiana ajustada e a curva em cinza corresponde ao ajuste da distribuição de Gauss. O índice entrópico obtido é $q = 1,34$. (ROSA *et al.*, 2013; ROSA JR., 2015).



As densidades de probabilidade extraídas dos histogramas de intensidade de raio X correspondem à distribuição q-gaussiana, cujo índice entrópico apresenta um comportamento universal – $q = 1.418 \pm$

0.007 é o valor esperado para as 142 fontes (ROSA *et al.*, 2013). Este resultado é relevante, por um lado em decorrência da diversidade de fontes cósmicas e dos processos de produção de raios X, por outro porque a condição $q \neq 1$, observada para todos os casos analisados, evidencia a não extensividade de tais fontes (ROSA *et al.*, 2013). O comportamento não extensivo é uma consequência dos campos autogravitantes destes sistemas astrofísicos. Ao mesmo tempo, verificamos uma tendência linear entre a entropia de Tsallis e o índice entrópico q associado, indicando que quanto mais entrópico o sistema astrofísico for, menos extensivo o sistema será (ROSA *et al.*, 2013).

AUTOAFINIDADE E NÃO EXTENSIVIDADE DE MANCHAS SOLARES

A mancha solar consiste em uma região da fotosfera na qual a intensa atividade magnética inibe a convecção, formando áreas com temperatura superficial reduzida, que podem ser observadas da Terra sem a necessidade de um telescópio (MORET, 2014). A população de manchas solares corresponde a uma série temporal ruidosa que apresenta um comportamento cíclico, com período de aproximadamente 11 anos, no qual o número de manchas cresce rapidamente e cai mais lentamente.

Neste contexto, demonstramos que a geração de manchas solares obedece a um processo difusivo complexo e não linear, consequente do comportamento não extensivo associado à atividade magnética do sol, este último um sistema autogravitante (MORET, 2014). Para tanto, analisamos o comportamento autoafim da série temporal através do método DFA (do inglês “Detrended Fluctuation Analysis”) (PENG *et al.*, 1994), o qual permite verificar a presença de correlações de longo alcance em séries não estacionárias, e caracterizamos a densidade de probabilidade associada à distribuição do número de manchas.

A análise por DFA permite concluir a presença de uma dinâmica não markoviana, porém, a lei de potência correspondente à série temporal desaparece para valores maiores que aproximadamente 11 anos, o que está relacionado ao comportamento cíclico da série, indicando que não há correlação entre dois ciclos consecutivos de manchas solares (MORET, 2014). Por sua vez, a distribuição das manchas solares obedece a uma função rapidamente decrescente similar a Eq.(21), mas que foi tratada no contexto da estatística de Tsallis (TSALLIS, 2009). Assim, os resultados obtidos sugerem que o processo difusivo em que manchas solares são acumuladas na coroa solar é bem descrito por uma ENFP (MORET, 2014).

MODELO NÃO MARKOVIANO PARA O ESTUDO DE CORROSÃO POR PITES

Os processos corrosivos são as principais fontes de falhas em equipamentos e estruturas que compõem uma planta industrial, sendo a corrosão por *pites* (do inglês *pit*, “poço” ou “cova”) a principal fonte de ruptura em dutos ou tubulações, essenciais para o transporte de combustíveis, de resíduos químicos, na composição de sistemas de refrigeração, entre outras finalidades (ROSA *et al.*, 2015). Também denominado de *pitting*, é um tipo de corrosão localizada que tem por característica a formação de poços com pequena extensão superficial, mas com uma profundidade significativa se comparada à espessura do duto. A taxa de crescimento da profundidade do pite é modulada por um processo de reação-difusão que induz uma corrente iônica no interior do poço (ROSA *et al.*, 2015).

Neste contexto, mostramos que a evolução no tempo de uma distribuição de valores de profundidade de poços é adequadamente descrita por um modelo baseado em uma ENFP. Para isso, analisamos dados de inspeções realizadas em uma seção de uma linha de serviço

regular de água em usinas nucleares de reatores de água pressurizada (PWR), conforme ilustrado na Figura 2. A distribuição q-gaussiana apresenta um melhor ajuste aos dados experimentais em comparação a modelos markovianos e como a evolução da profundidade dos poços se dá por um processo quase estacionário, a solução estacionária da ENFP se aplica à modelagem dos dados experimentais (ROSA *et al.*, 2015). Sendo a q-gaussiana uma distribuição do tipo *cauda longa*, o modelo permite avaliar com mais precisão a ocorrência de poços de maior profundidade, sendo estes os que representam o maior risco para a ruptura da parede do duto (ROSA *et al.*, 2015).

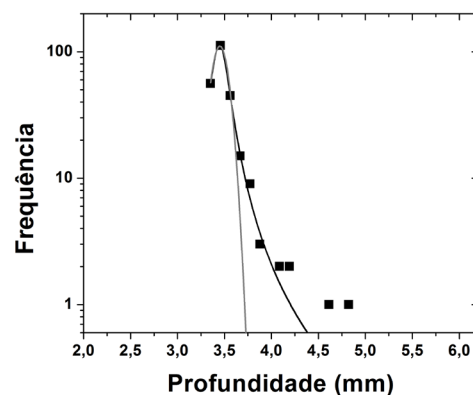
SISTEMAS FORMADORES DE VIDROS

Em virtude das suas propriedades físico-químicas, os vidros são de grande interesse na pesquisa em novos materiais e encontram aplicação tecnológica para os mais variados fins, abrangendo campos tais como a eletrônica, a biotecnologia, a óptica, a radioproteção, energias renováveis e as telecomunicações. A vitrificação ocorre quando uma substância em estado líquido é submetida a um processo de rápido resfriamento, alcançando um estado metaestável denominado de *superesfriamento*, no qual atinge temperaturas inferiores a sua temperatura de fusão, mas sem solidificar. Se mantida a taxa de resfriamento, a substância atinge a sua *temperatura de transição vítrea* (T_g) e o vidro é formado (ROSA JR, 2015).

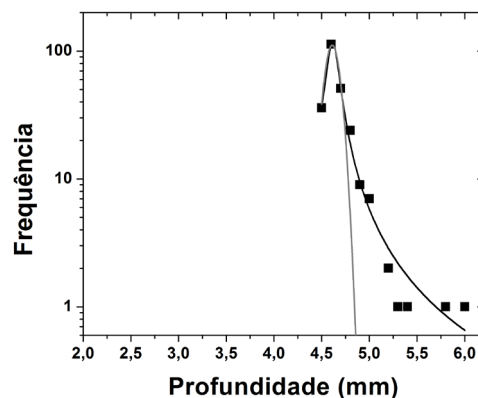
À medida que a substância se aproxima da transição vítrea, torna-se altamente viscosa, de modo que o arranjo molecular no estado vítreo é similar ao do líquido superesfriado imediatamente antes da transição. Basicamente, a viscosidade de um fluido corresponde a um efeito dissipativo em escala macroscópica, resultante das interações locais entre as moléculas em movimento e sua vizinhança imediata, tendendo a ser mais intenso à medida que a temperatura da substância diminui.

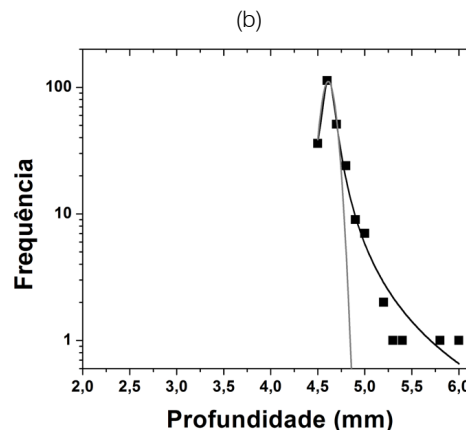
Em líquidos superesfriados, a viscosidade corresponde a um processo termicamente ativado, seguindo o comportamento padrão de *Arrhenius* para alguns sistemas (ROSA JR, 2015; ROSA *et al.*, 2019), nos quais a energia da ativação viscosa permanece constante durante o processo de vitrificação. No entanto, diversos líquidos formadores de vidros apresentam curvas de viscosidade que correspondem a funções não exponenciais com a temperatura, indicando um aumento da energia de ativação viscosa a medida que o sistema resfria (ROSA *et al.*, 2019).

Figura 2 - Distribuição das profundidades dos pites após (a) seis, (b) nove e (c) doze anos de serviço. Os pontos representam os dados experimentais, a linha cinza o ajuste da distribuição gaussiana e a curva em preto o ajuste da distribuição q-gaussiana. Parâmetros de ajuste disponíveis nas referências (ROSA *et al.*, 2015).



(a)





(c)

Tal condição também foi observada em curvas experimentais de difusividade em função da temperatura, medidas através de processos difusivos em líquidos superesfriados na eminência da transição vítrea (ROSA *et al.*, 2016). Neste contexto, a interpretação física do comportamento *não Arrhenius* em líquidos superesfriados é essencial para a compreensão dos mecanismos de formação de vidros, tornando-se objeto do nosso estudo. Seguindo essa premissa, modelamos curvas experimentais de difusividade em função da temperatura, caracterizando a evolução dinâmica da concentração do líquido superesfriado por uma equação similar a Eq. (18) (ROSA *et al.*, 2016). Por hipótese, consideramos o coeficiente de difusão proporcional à concentração e o fator de escala proporcional ao inverso da temperatura, este último para o regime estacionário (ROSA *et al.*, 2016). Dessa forma e dadas as Eqs. (20) e (21), a dependência da difusividade com a temperatura T pode ser escrita como,

$$(22) \quad D_2(T) = D_0 \left[1 - (2 - m) \frac{E}{\kappa T} \right]^{\frac{1}{2-m}}$$

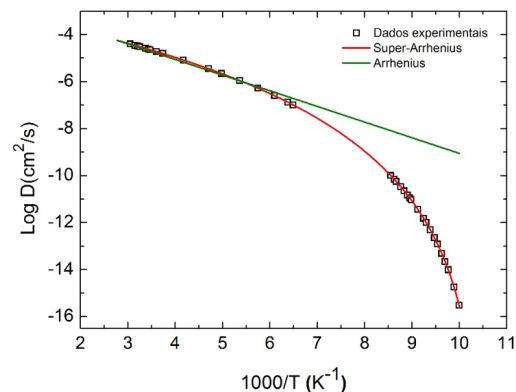
sendo D_0 o coeficiente de difusão no limite de altas temperaturas, κ uma constante de proporcionalidade e E uma barreira de potencial

associada ao processo difusivo (ROSA *et al.*, 2016). A Eq. (22) apresenta um ajuste satisfatório aos dados experimentais, conforme ilustra a Figura 3, caracterizando o comportamento do tipo *super Arrhenius*, no qual o processo dissipativo é regido por fenômenos de transporte clássicos (ROSA *et al.*, 2019). A partir da Eq. (22) derivamos a energia de ativação generalizada (E_G) cuja dependência com a temperatura é dada pela expressão (ROSA *et al.*, 2016):

$$(23) \quad E_G = E \left[1 - (2 - m) \frac{E}{\kappa T} \right]^{-1}$$

A condição limite $m \rightarrow 2$ recupera o comportamento padrão de Arrhenius, de modo que a Eq. (22) converge para um decaimento exponencial e $E_G \rightarrow E$ tornando-se a energia de ativação clássica (ROSA *et al.*, 2016). O modelo proposto não apenas permite uma interpretação física para o comportamento *super-Arrhenius* observado em processos difusivos de líquidos superesfriados, mas também fornece insights sobre os mecanismos relacionados a fenômenos *não Arrhenius* em um contexto mais amplo, abrangendo uma vasta gama de processos dissipativos não exponenciais.

Figura 3 - Resultados experimentais para a medida de difusividade em líquidos superesfriados em função da temperatura (quadrados abertos). A linha em verde corresponde ao modelo usual de Arrhenius. A linha em vermelho corresponde ao ajuste da Eq. (22) (ROSA JR., 2015; ROSA *et al.*, 2016).

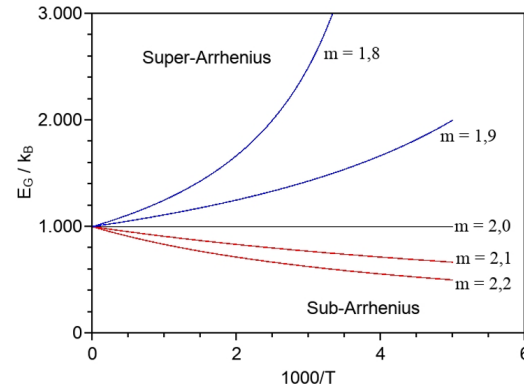


Neste sentido, desenvolvemos um formalismo para processos de reação-difusão que nos permitiu reinterpretar a Eq. (18) como uma classe de equações de continuidade não homogêneas, onde o coeficiente de arrasto generalizado contém informação sobre processos dissipativos ou de troca, a exemplo de uma reação química, enquanto o coeficiente de difusão corresponde a uma versão generalizada da *lei de Fick*, aplicável a processos de difusão anômala (ROSA *et al.*, 2019; 2020). Além de fornecer um escopo teórico mais consistente para as Eqs. (22) e (23), derivamos do formalismo a dependência explícita da viscosidade η com a temperatura (ROSA *et al.*, 2019),

$$(24) \quad \eta(T) = \eta_{\infty} \left[1 - (2 - m) \frac{E}{k_B T} \right]^{\gamma}$$

sendo η_{∞} a viscosidade no limite de altas temperaturas, $\gamma = (m - 1)/(2 - m)$ e k_B a constante de Boltzmann. A partir da Eq. (24), determinamos a dependência da energia de ativação viscosa com a temperatura, obtendo uma expressão similar a Eq. (23), a qual tem seu comportamento ilustrado na Figura 4 para diferentes valores do expoente m (ROSA *et al.*, 2019). Desse modo, estabelecemos um critério de classificação entre os diferentes tipos de processos *não Arrhenius*, ou seja, enquanto a condição $m < 2$ descreve os processos *super-Arrhenius*, a condição $m > 2$ remete ao comportamento do tipo *sub-Arrhenius*, nos quais efeitos quânticos não locais predominam sobre o processo dissipativo (ROSA *et al.*, 2019). Além disso, determinamos a temperatura limite $T_{\text{lim}} = (2 - m)E/k_B$, correspondente ao regime de divergência da viscosidade e da energia de ativação para o comportamento *super-Arrhenius* (ROSA *et al.*, 2019).

Figura 4 - Energia de ativação generalizada em função do inverso da temperatura. Simulamos a Eq. (23), onde substituímos κ por k_B e consideramos $E/k_B = 1000$. As curvas para $m < 2$ (linhas azuis) definem o comportamento *super-Arrhenius*, as curvas para $m > 2$ (linhas vermelhas) definem o comportamento *sub-Arrhenius* e a curva para $m = 2$ descreve o comportamento padrão de *Arrhenius* (ROSA et al., 2019).



As Eqs. (22) e (23) fornecem uma versão generalizada da relação de Stokes-Einstein (gSE) para processos *não Arrhenius*, de maneira que a condição $m \rightarrow 2$ remete a versão clássica da relação (ROSA et al., 2019). No limite de baixas temperaturas, a gSE tende a zero para processos *super-Arrhenius*, consequência do limiar de temperatura T_{lim}^* , e tende a um comportamento independente da temperatura para processos *sub Arrhenius*, sendo este um critério físico robusto para a diferenciação entre regimes clássicos e quânticos em processos dissipativos (ROSA et al., 2019).

Em nosso trabalho mais recente (ROSA et al., 2020), caracterizamos as principais propriedades associadas à medida de viscosidade em *líquidos frágeis*, denominação usual para líquidos superesfriados do tipo *super-Arrhenius*. Dentre os principais resultados obtidos, estabelecemos uma expressão para o *índice de fragilidade* (ROSA et al., 2019; 2020), que mensura o quão acentuado é o desvio de linearidade da curva de viscosidade em relação ao comportamento padrão de *Arrhenius* e, em nosso modelo, corresponde à medida da

energia de ativação viscosa para a temperatura de transição vítrea T_g (ROSA *et al.*, 2020). Estabelecemos uma relação unívoca entre o índice e o expoente γ (ver Eq. (24)), sendo o último um indicador eficaz do grau de fragilidade do sistema formador de vidro. Dessa maneira, fomos capazes de simular o *gráfico de Angell* (ROSA *et al.*, 2020), recurso mais usual para a construção de uma escala de fragilidade entre líquidos superesfriados. Por fim, caracterizamos a curva de transição *frágil-para-forte* (SHI, 2018), na qual a viscosidade de um líquido frágil converge para um comportamento padrão de *Arrhenius* — típico de um líquido forte — à medida que se aproxima da transição vítrea (ROSA *et al.*, 2020), sendo tal fenômeno comum em líquidos formadores de vidros metálicos ou sistemas do tipo água (ROSA *et al.*, 2020). Em nosso modelo, as mudanças produzidas nas variáveis dinâmicas do sistema, em decorrência desta transição, implicam na variação da barreira de potencial E durante o processo de vitrificação.

Concluimos dos nossos resultados que o comportamento não-exponencial observado nos processos difusivos em líquidos superesfriados é consequência da natureza não markoviana inerente a dinâmica destes sistemas. Desse modo, o modelo proposto fornece uma interpretação física consistente acerca das propriedades dinâmicas de sistemas formadores de vidros, além de abrir caminho para a modelagem da dependência da viscosidade de não equilíbrio com a composição química e história térmica em líquidos superesfriados.

CONCLUSÕES

Apresentamos aqui uma discussão introdutória sobre os fundamentos teóricos das equações não lineares de *Fokker-Planck*, sua relação com uma dinâmica estocástica não markoviana e sua conexão com formas entrópicas não aditivas, sendo tais elementos cruciais para a modelagem de sistemas dinâmicos fora do equilíbrio

e suscetíveis à memória de longo prazo. Também demonstramos a aplicabilidade deste formalismo para a modelagem de sistemas complexos, através dos resultados obtidos por meio do trabalho de pesquisa que desenvolvemos nos últimos anos.

Em específico, demonstramos que o comportamento não extensivo de fontes astrofísicas de raios X, para as quais a densidade de probabilidade que caracteriza as distribuições de intensidade é a q-gaussiana, o índice entrópico q apresenta um comportamento universal e este último escala linearmente com as medidas de entropia de Tsallis indicando que, quanto mais entrópico o sistema astrofísico, menor a sua não extensividade (ROSA *et al.*, 2013). O acúmulo de manchas solares na coroa solar é consequência de um processo difusivo não markoviano e corresponde a uma ENFP, sendo este comportamento limitado a ciclos de 11 anos, não havendo indícios de correlação entre ciclos consecutivos (MORET, 2014). Saindo dos domínios da Astrofísica, modelamos o processo de corrosão por pites em dutos de água, caracterizando a distribuição de profundidade dos poços em termos da solução estacionária de uma ENFP, cujo comportamento do tipo cauda longa permite mapear com maior precisão a ocorrência de poços mais profundos, justamente os que implicam em maior risco de colapso da tubulação (ROSA *et al.*, 2015). No contexto da pesquisa em novos materiais, construímos um modelo capaz de fornecer uma interpretação física robusta para o comportamento *não Arrhenius* observado nos processos difusivos em líquidos superesfriados, sendo este um caminho promissor para a pesquisa em materiais amorfos e compreensão dos seus mecanismos de formação (ROSA *et al.*, 2016; 2019; 2020).

É importante salientar que analisamos sistemas cujos estados, ou remetem a uma condição de equilíbrio ou, em primeira aproximação, evoluem por processos de quase-equilíbrio, o que permitiu a construção de modelos baseados na forma estacionária da ENFP,

cuja solução pode ser obtida por métodos analíticos. No entanto, um processo estocástico pode ser simulado a partir das soluções transientes da ENFP, o que corresponde a mapear, em tempo real, a evolução dinâmica do sistema por uma sucessão de macroestados fora do equilíbrio. Alternativamente, a mesma simulação pode ser construída a partir de equações diferenciais estocásticas, existindo formas generalizadas associadas a ENFP (FRANK, 2005).

Por fim, os modelos estocásticos não aditivos dependem dos valores assumidos pelos expoentes e do potencial generalizado que caracterizam os coeficientes de arrasto e difusivo da ENFP, de maneira que a escolha de tais parâmetros dependem do sistema a ser modelado e definem as propriedades das distribuições de probabilidade obtidas, revelando o grande potencial deste formalismo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colaboradores que, em diferentes momentos, deram contribuições cruciais para o andamento do trabalho de pesquisa e figuram como co-autores dos nossos artigos. Em especial, agradecemos ao Grupo de Informação Quântica e Física Estatística (GRIQUE), da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), cuja parceria foi crucial para o desenvolvimento dos nossos trabalhos mais recentes.

REFERÊNCIAS

FRANK, T. D. *Nonlinear Fokker-Planck Equations: Fundamentals and Applications*. BERLIN: Springer, 2005.

MORET, M. A. *Self-affinity and nonextensivity of sunspots*. Phys. Lett. A 378, 494, 2014.

MORET, M. A. et al. *X-ray binary systems and nonextensivity*. Physica. A 389, 854-858, 2010.

PENG, C. K. et al. *Mosaic organization of DNA nucleotides*. Phys. Rev. E 49, 1685, 1994.

PLASTINO, A. R. ; PLASTINO, A. *Non-extensive statistical mechanics and generalized Fokker-Planck equation*. Physica A, 222:347–354, 1995.

RISKEN, H. *The Fokker-Planck Equation: Methods of Solutions and Applications*. BERLIN: Springer, 2nd ed., 1996.

ROSA, A. C. P et al. *A model for diffusive systems: Beyond the Arrhenius mechanism*. Physica A 450, 317-322, 2016.

_____. *Characterization of the non-Arrhenius behavior of supercooled liquids by modeling nonadditive stochastic systems*, Phys. Rev. E 100, 022139, 2019.

_____. *Non-Arrhenius behavior and fragile-to-strong transition of glass-forming liquids*. Phys. Rev. E 101, 042131, 2020.

_____. *Nonextensivity and entropy of astrophysical sources*. Physica A 392, 6079-6083, 2013.

_____. *Non-Markovian model for the study of pitting corrosion in a water pipe system*. International Journal of Modern Physics C 26 : 10, 1550119, 2015.

ROSA JR., A. C. P. *Sistemas complexos não-aditivos: Aplicações em Astrofísica, Química e Engenharias*. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial / Centro Universitário CIMATEC. Salvador. 2015.

SCHWÄMMLE, V. et al. *A general Fokker-Planck equations and its associated entropy*. European Journal of Physics B 58, 159-165, 2007.

_____. *Dynamics of normal and anomalous diffusion in nonlinear Fokker-Planck equations*. European Physical Journal B 70, 107-116, 2009.

SHI, R. et al. *Origin of the emergent fragile-to-strong transition in supercooled water*. to-strong transition in supercooled water, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 115, 9444-9449, 2018.

TSALLIS, C. *Introduction to Nonextensive Statistical Mechanics: Approaching a Complex World*. NEW YORK: Springer, 2009.



7

*André Souza Oliveira
Renelson Ribeiro Sampaio
Cristiano Vasconcellos Ferreira
Enrique López Droguett
Rodrigo Santiago Coelho
Luiz Miguel Sergani Costa
Paulo Henrique Ferreira*

MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO VISANDO PRODUTOS SUSTENTÁVEIS

RESUMO:

No ambiente social e econômico, a sustentabilidade vem ganhando mais importância. Neste contexto, a introdução de produtos sustentáveis é um importante caminho para esta transição, ressaltando a complexidade do processo decisório que envolve dimensões como a ambiental, a social e a econômico. Para dar suporte às estratégias a serem tomadas, existem distintos métodos de apoio à tomada de decisão, como o método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*). Igualmente, existem abordagens como a LCE (*Life Cycle Engineering*), que é uma disciplina científica aplicada ao desenvolvimento de produtos e para seleção de tecnologia e, que neste artigo, incorpora a confiabilidade e a maturidade tecnológica como variáveis de análise. Este trabalho apresenta o emprego destes conceitos na comparação de um produto fabricado por 02 diferentes materiais. O projeto intitulado Concreto Polimérico, foi realizado no contexto EMBRAPPII envolvendo a empresa de pré-moldados PREALL e a unidade SENAI CIMATEC. Os resultados mostraram que a análise de sustentabilidade integrando os métodos de MACBETH e, de uma visão ampliada da LCE, aumentam a confiança para tomada de decisões estratégicas em corporação.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade; *Life Cycle Engineering*; Confiabilidade; Tomada de decisão; *Technology Life Cycle*.

INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a sustentabilidade vem ganhando mais importância na sociedade e no cenário econômico. Baseado em produtos que garantam a renovação natural do ecossistema, o conceito de sustentabilidade, inicialmente tinha na variável ambiental seu principal pilar, que com o tempo passou a englobar outras dimensões (PEÇAS *et al.*, 2009, 2016; STARK *et al.*, 2014). Atualmente, num ambiente de pandemia, o tema sustentabilidade ganha maior visibilidade com proposições mais claras para a transição energética (KUZEMKO *et al.*, 2020). Adicionalmente, diversos estudos propõem sugestões de revisão do conceito, incluindo a saúde humana (HAKOVIRTA; DENUWARA, 2020) e até mesmo a relação satisfação do cliente e lucro. Isso é confirmado nos relatórios estratégicos empresariais, os quais têm considerado a satisfação do consumidor final como uma relação de produtos mais sustentáveis e que causam menos impacto no ecossistema, sendo esse um dos principais temas para 2020 e os próximos anos (GLOBALDATA, 2020).

No ambiente empresarial, são tomadas decisões estratégicas em distintos níveis da organização. Em virtude do novo cenário mundial, o qual envolve questões ambientais, sociais, tecnológicas e sustentabilidade, a consideração destas áreas de conhecimento no processo de tomada de decisão é fundamental. Para dar suporte às decisões a serem tomadas, existem distintos métodos de apoio à tomada de decisão, com características e objetivos diversos.

A decisão nas organizações é afetada por um elevado grau de complexidade e de incerteza. Para a complexidade, concorrem fatores como o esforço financeiro e a dicotomia entre custos e benefícios, além da dificuldade em identificar os fatores-chave para a tomada de decisão. Para o nível de incerteza, concorre a dificuldade em prever as

consequências das decisões a se tomar (ROSA, 2010). Neste sentido, este capítulo busca apresentar um modelo de apoio ao processo de tomada de decisão considerando o novo cenário empresarial, em um contexto de inovação e desenvolvimento de produto, que engloba as áreas de conhecimento listadas anteriormente.

A seguir, são apresentadas questões relativas à sustentabilidade, *life cycle engineering* e ao processo de tomada de decisão multicritério. Na sequência, é demonstrada a aplicação do método de tomada de decisão Macbeth no projeto de concreto polimérico. E, ao final, são apresentadas discussões sobre os temas abordados.

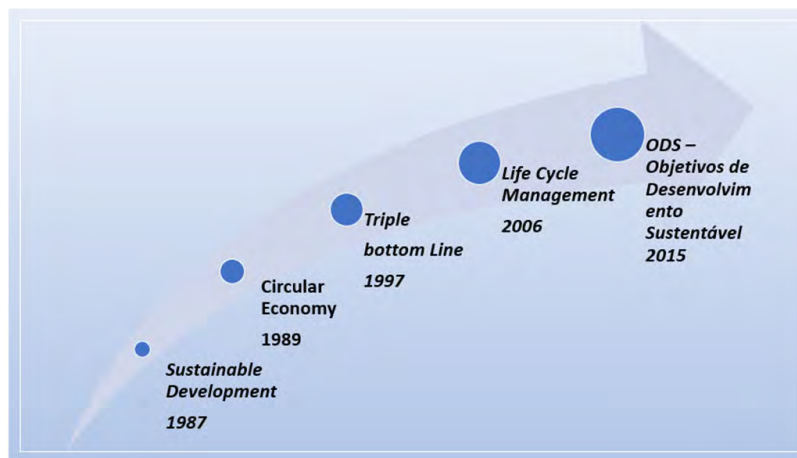
A SUSTENTABILIDADE E A *LIFE CYCLE ENGINEERING*

A ONU definiu o **desenvolvimento sustentável** como “àquele que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (KEEBLE, 1988). Gradativamente, o conceito foi evoluindo para o chamado ***triple bottom line***, isto é, suportado por três pilares: ambiental, econômico e social. O conceito vai além das preocupações ecológicas, propondo uma gestão empresarial que preza pela sustentabilidade de forma ampla, englobando as pessoas, o planeta e o lucro empresarial (ELKINGTON, 1997).

Nesta mesma linha, outras concepções foram estabelecidas, como a Economia Circular (FOUNDATION, 2016), cujo princípio se baseia numa economia que visa manter produtos, componentes e materiais com a maior utilidade e valor possível o tempo todo. No desdobramento natural do conceito, ferramentas necessárias de gestão foram desenvolvidas, como a ***Life Cycle Management***, um *framework*

para a inserção do pensamento do ciclo de vida às práticas de negócio e decisão nas empresas (SONNEMANN, 2006). Recentemente, em busca de uma agenda cada vez mais ambiciosa, a ONU propôs os 17 novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015). A Figura 1, sintetiza evolução do conceito da sustentabilidade ao longo do tempo.

Figura 1 - Evolução da Sustentabilidade.



Fonte: Elaboração própria (ELKINGTON, 1997; FOUNDATION, 2016; KEEBLE, 1988; ONU, 2015; PEÇAS *et al.*, 2016; SONNEMANN, 2006).

Neste cenário, metodologias têm sido elaboradas na busca de produtos e processos mais sustentáveis. Este é o caso da **Life Cycle Engineering (LCE)** (PEÇAS *et al.*, 2016), uma disciplina científica aplicada ao desenvolvimento de produtos e à seleção de tecnologia (PEÇAS *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2008). Para cada dimensão (ambiental, social, econômica), são sistematizadas ferramentas para sua aplicação, como a *Life Cycle Assessment (LCA)* e a *Life Cycle Costing (LCC)*. Este trabalho, por meio de metodologia multicritério, propõe uma nova abordagem com a inserção de novas dimensões para a LCE, visando dar uma maior abrangência: a confiabilidade e a

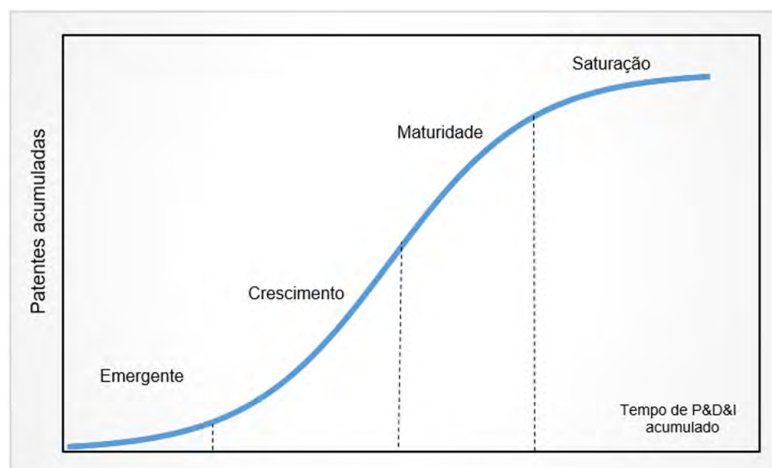
Technology Life Cycle (TLC). Assim, pode-se dizer que estas são duas lacunas que a proposição aqui apresentada visa atender.

Com relação a primeira lacuna, confiabilidade, a NASA a define como: “o grau de plausibilidade de um componente ou sistema falhar durante um tempo especificado” (DEZFULI *et al.*, 2009). Atualmente, a confiabilidade está intrinsecamente ligada a um contexto de mercado competitivo, que exige lançamentos de novos produtos em um intervalo de tempo cada vez menor e com clientes mais exigentes em relação à mesma (LU *et al.*, 1999).

A segunda lacuna na versão atual da LCE e que será abordada nesse trabalho, é a maturidade tecnológica. Uma tecnologia não “madura” pode ocasionar um risco técnico na sua aplicação. Por outro lado, uma tecnologia já em decadência pode resultar em um risco ligado à falta de componentes sobressalentes para realização de manutenção. Outros riscos também podem estar associados, de acordo com a fase em que a ela se encontra: escalonamento do negócio, viabilidade logística, além do risco de substituição por outra emergente. Todos estes aspectos sempre estão conectados ao contexto concorrencial do mercado.

Diversos estudos buscam entender e prever o estágio de uma determinada tecnologia. Técnicas associadas ao TLC já são amplamente consolidadas e aplicadas, mas em sua maioria desvinculadas às análises aplicadas para a LCE (GAO *et al.*, 2013; TRAPPEY *et al.*, 2011). O seu conceito é graficamente apresentado na Figura 2, também chamado de curva S (LITTLE, 1981). A curva S descreve as fases de maturidade de determinada tecnologia, a saber: emergente, crescimento, maturidade e saturação (GAO *et al.*, 2013).

Figura 2 - Curva S no conceito do ciclo de vida da tecnologia.



Fonte: (GAO *et al.*, 2013).

Dentro do contexto técnico, o conceito de *Technology Readiness Level* (TRL) também expressa a maturidade de uma tecnologia. O conceito estabelece que “em cada um destes estágios, a tecnologia apresenta diferentes graus de incerteza e risco, que devem ser progressivamente reduzidos para que o sistema apresente as funcionalidades e desempenhos, alinhados a níveis de exposição a falhas, acordados com suas partes interessadas” (ANDRADE; JUNIOR; SILVA, 2019).

TOMADA DE DECISÃO MULTICRITÉRIO

Os estudos sobre os métodos de tomada de decisão remontam aos anos 40. Entretanto, no início dos anos 70, com a organização do primeiro encontro *Euro Working Group on Multicriteria Aid for Decision* em Bruxelas, iniciava-se uma nova fase do processo de apoio à tomada de decisão. Nasciam, paralelamente, duas correntes científicas de apoio à tomada de decisão: a escola americana e a escola francesa.

A primeira, definida como Escola Americana, têm como fundamentação teórica a noção de agregarem-se todas as informações acerca do problema que se pretende resolver por meio de uma grande síntese (RANGEL; GOMES, 2010). Exemplos desta escola são a Teoria de Utilidade Multiatributo (MAUT) (KEENEY; RAIFFA, 1993) e os métodos de análise hierárquica, dentre estes, o AHP (SAATY, 2001). Já a Escola Francesa ou Escola Europeia, utiliza a noção de relação de superação, possuindo duas vertentes principais: os métodos ELECTRE e os métodos PROMÉTHÉE (ROY; BOUYSSOU, 1993).

Além desses, existem outros métodos multicritério que contêm elementos técnicos dessas duas escolas, dos quais, pode-se citar o método *Analytic Network Process* (ANP) (SAATY, 1996) e o Método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) (BANA *et al.*, 2003) que é um método interativo e comumente utilizado através de um software desenvolvido pelos autores.

No Tabela 1 é possível ter uma comparação entre alguns métodos de tomada de decisão disponíveis na literatura. Embora, seja evidente que a metodologia ANP atenda todos os critérios descritos, optou-se, no presente estudo, pela aplicação da metodologia MACBETH, dados os recursos disponíveis no software e sua facilidade de aplicação.

Tabela 1 - Metodologias multicritério.

	AHP	ELECTRE	PROMETHE	MAUT	MACBETH	ANP
Entrada de dados (Inputs)						
Dados qualitativos e quantitativos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Tratar com critérios dependentes	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Tratar com grau de incerteza	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Saída de dados (Outputs)						
Proporciona ranking por alternativas	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Avaliação de coerência de julgamentos	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Permite análise de sensibilidade	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Interface do decisor versus método						
Disponibilidade de software gratuito	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Número de publicações científicas	Alto	Médio	Baixo	Médio	Alto	Alto

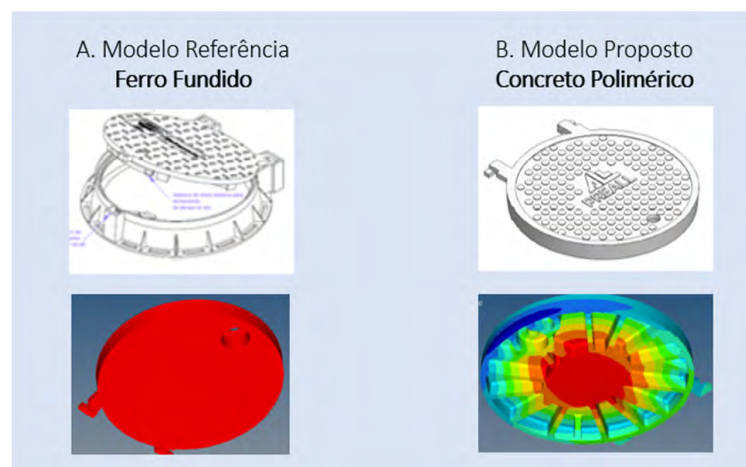
Fonte: Adaptado (ALVES, 2007).

APLICAÇÃO DO MACBETH NO PROJETO CONCRETO POLIMÉRICO

Para mostrar a aplicação do método, foi selecionado o projeto intitulado CONCRETO POLIMÉRICO desenvolvido no SENAI CIMATEC (CIMATEC, 2018) e demandado pela empresa de pré-moldados PREALL (Belo Horizonte, MG) no contexto EMBRAPII. O mesmo, teve como objetivo o desenvolvimento de formulações de concreto com base polimérica aplicadas no projeto de três tampas de bueiro, além da metodologia para fabricação das mesmas (CIMATEC, 2018).

A Figura 3 apresenta o Modelo Referência de tampa de bueiro que é produzido usando ferro fundido e o Modelo Proposto que utiliza o concreto polimérico. Foram utilizados dados extraídos do *Databook* do projeto e dos testes registrados para compor as informações.

Figura 3 - Projeto Concreto Polimérico.



Fonte: Elaboração própria (CIMATEC, 2018).

VARIÁVEL AMBIENTAL

Para quantificação dos dados ambientais LCA, foi utilizado o software *SolidWorks*, o qual embarca a ferramenta de análise. O *GaBi* é uma ferramenta para a avaliação de sustentabilidade de produtos, sendo *GaBi* (ORMAZAL; PUGA-LEAL, 2014) considerado estado da arte para estudos desta natureza (MORBIDONI; FAVI; GERMANI, 2011). É uma referência para estudos de LCA (OLIVEIRA *et al.*, 2019; HISCHIER *et al.*, 2010). Na tabela 2 são apresentadas as variáveis ambientais para as soluções de projeto.

Tabela 2 - LCA – Variáveis obtidas.

	Ferro Fundido	Concreto Polimérico
Pegada de Carbono – kg CO2e	550	100
Energia total consumida – MJ	4600	1800
Acidificação do ar – kg SO2e	1,1	0,2330
Eutrofização da Água – kg PO4e	0,335	0,042

Fonte: Elaboração própria (CIMATEC, 2018).

VARIÁVEL CUSTO

Os dados aqui utilizados foram obtidos através de simulação no LCC do *Solidworks*, utilizando a ferramenta *GaBi*. O output padrão é o custo unitário (US\$ / peça) no seu ciclo de vida. Como os dados de projetos não podem ser divulgados neste nível de detalhe, os valores da Tabela 3 são fictícios, e guardam a proporcionalidade relativa entres as duas opções.

Tabela 3 - LCC – Variável custo.

	Ferro Fundido	Concreto Polimérico
LCC – Solidworks	US\$ 149,85	US\$ 57,70

Fonte: Elaboração própria (CIMATEC, 2018).

VARIÁVEL SOCIAL

Para a variável social, estudos recorrentes e indicadores monitorados pela Organização Internacional do Trabalho, evidenciam utilização de dados de *acidentes de trabalho com afastamento* como importante parâmetro social (MPT; OIT, 2019; SANTOS; MELO, 2005). Desta forma, este será o indicador utilizado pelo presente estudo, tendo seus dados selecionados de cada setor produtivo. Com o intuito de realizar uma parametrização dos dados é proposta uma taxa de acidentes de trabalho com afastamento.

A partir da classificação das empresas (FAZENDA, 2003); do levantamento do número de empregados com afastamento por ano (FAZENDA, 2017); da quantidade de empregados (DIEESE, 2016); foram calculadas as taxas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Taxa de acidentes com afastamento.

Taxa de Acidentes	2015	2016
Indústria de produtos minerais não metálicos	0,41%	0,38%
Indústria metalúrgica	0,41%	0,37%

Fonte: Elaboração própria (DIEESE, 2016; FAZENDA, 2017).

VARIÁVEL CONFIABILIDADE

Nesta etapa, propõe-se a inclusão da dimensão confiabilidade ao modelo atual da LCE. O custo extra gerado pela ausência de um gerenciamento ou controle dos riscos pode ocasionar perdas financeiras, de consumidores e a da confiança dos investidores (COLEMAN; CASSELMAN, 2016; TAO *et al.*, 2017). Para exemplificar, o desenvolvimento do jato F-35 pode ser citado, no qual gerou um custo adicional de US\$ 289 milhões e alguns anos de atraso do início de sua produção (AKRAM; PILBEAM, 2015).

O objetivo desta etapa é aplicar métodos para estimar a provável confiabilidade de novos projetos e analisar seus dados (O'CONNOR; KLEYNER, 2012). Entretanto, “a escassez de dados, é uma característica comumente encontrada durante o desenvolvimento de produtos” (DROGUETT; MOSLEH, 2006, página. 1), que é o contexto do presente estudo.

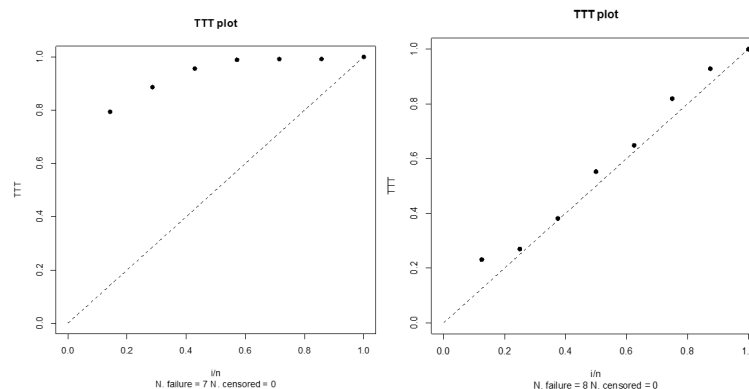
A partir disso, foi pesquisada a metodologia ou ferramenta da confiabilidade que pudesse ser utilizada para mensurar o seu valor em situações de pouca amostragem. Autores consideram que “na engenharia de confiabilidade, a análise de dados de probabilidade Weibull é provavelmente a técnica de processamento e interpretação de dados da vida mais amplamente utilizada. Uma das muitas vantagens é a flexibilidade, facilidade de interpretação dos parâmetros de distribuição e sua relação com as taxas de falha” (O'CONNOR; KLEYNER, 2012). Outros autores também citam a sua flexibilidade para uso em situações de poucos dados amostrais (ERTO; GUIDA, 1985; LU; WANG, 2008; NELSON, 1985; XIA, 2012).

A partir dos dados obtidos nos testes, será desenvolvido o modelo de estimação da confiabilidade utilizando a técnica mencionada. Uma ferramenta gráfica bastante utilizada na escolha de possíveis distribuições de probabilidade na modelagem de dados de sobrevivência (ou confiabilidade), é o chamado gráfico do Tempo Total em Teste (ou curva TTT) (AARSET, 1987). Este gráfico é uma condição suficiente, mas não necessária, para indicar comportamento da função de taxas de falha dos tempos observados.

Se o gráfico apresentar o comportamento de uma linha diagonal, diz-se que a taxa de falha é constante. Estas três situações podem ser representadas pela distribuição de Weibull. A Figura 4 mostra a representação gráfica do TTT para ambos os tempos de falha. Observa-se que, para os produtos de ferro fundido, o gráfico TTT (painel esquerdo) sugere que a função de taxa de falha é crescente.

Enquanto que, para os produtos de concreto polimérico, observa-se que os pontos plotados no gráfico (painel direito) estão muito próximos da reta diagonal, o que indica uma função de taxa de falha constante. Neste caso, a distribuição exponencial pode ser utilizada na modelagem dos tempos observados, por ser mais simples (isto é, possui apenas um parâmetro) do que a distribuição de Weibull. De fato, a distribuição exponencial é um caso particular da distribuição de Weibull quando o parâmetro de forma assume o valor um.

Figura 4 - Gráfico TTT para os tempos de falha do ferro fundido (à esquerda) e do concreto polimérico (à direita).



Na sequência, pode-se usar o método clássico da máxima verossimilhança, mediante a aplicação da função `fitdist(.)` do pacote "fitdistrplus" do *software* estatístico R (RCT, 2018), por exemplo, para a obtenção das estimativas dos parâmetros das distribuições de probabilidade assumidas para os dados de cada tipo de tampa de bueiro. Para fins de comparação, considera-se outras distribuições candidatas, como a log-normal (ferro fundido) e a Weibull (concreto polimérico). De acordo com os critérios de informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974) e de Schwarz (BIC) (SCHWARZ, 1978), o melhor ajuste aos dados das tampas de ferro fundido é o do modelo Weibull ($AIC_{Weibull} = 17,3811$ vs. $AIC_{log-normal} = 19,5993$; $BIC_{Weibull} = 17,2730$ vs. $BIC_{log-normal} = 19,4911$, enquanto que, para os dados das tampas de concreto polimérico, o

modelo exponencial resultou em uma melhor ajuste ($AIC_{exp} = 56,3117$ vs. $AIC_{Weibull} = 56,9128$; $BIC_{exp} = 56,3911$ vs. $BIC_{Weibull} = 57,0717$).

Portanto, tem-se as seguintes funções de confiabilidade estimadas:

$$\text{- Ferro fundido: } R(t) = e^{-(t/6,9283)^{13,1758}}, \quad t \geq 0;$$

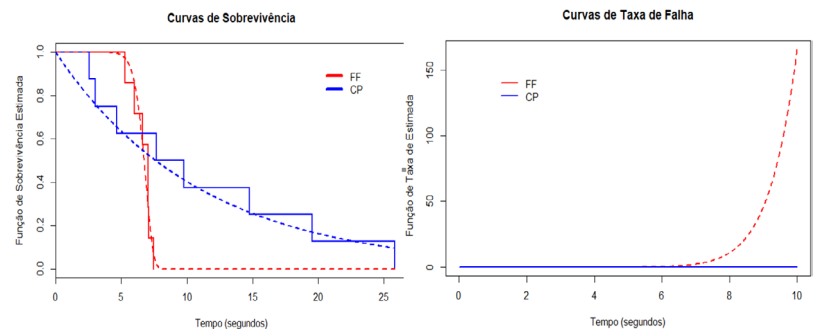
(1)

$$\text{- Concreto polimérico: } R(t) = e^{-0,0912 t}, \quad t \geq 0.$$

(2)

Essas curvas de confiabilidade estimadas, bem como aquelas obtidas pelo método não paramétrico de Kaplan-Meier (KAPLAN; MEIER, 1958), são apresentadas na Figura 5 (painel esquerdo). Este gráfico revela uma grande proximidade entre essas curvas para ambos os tempos, o que é indicativo de boa aderência dos modelos em questão aos dados reais. Tal resultado é corroborado pelo teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (vide, por exemplo, D'AGOSTINO; STEPHENS, 1986), cujos p-valores obtidos são iguais a 0,6198 (ferro fundido) e 0,8217 (concreto polimérico). Na Figura 5 (painel direito), são apresentadas também as curvas de taxa de falha estimadas para os dois tipos de tampas de bueiro.

Figura 5 - Painel esquerdo: Curvas de confiabilidade estimadas (linhas tracejadas), sobrepostas às estimativas de Kaplan-Meier (linhas contínuas). Painel direito: Curvas de taxa de falha estimadas. FF = Ferro Fundido, CP = Concreto Polimérico.



Convém notar que os tempos de falha observados nos experimentos realizados são expressos em segundos (s). Isto se deve ao fato de serem resultantes de ensaios de vida acelerados, em que foram aplicadas, inclusive, forças iniciais diferentes, e que aumentavam gradativamente (mais lentos ou mais acelerados), sobre os corpos de prova produzidos de cada material (ferro fundido ou concreto polimérico). Uma melhor análise, seria possível, caso as repetições dos experimentos fossem feitas sob as mesmas condições experimentais, fato não possível devido à natureza dos materiais. Vale ressaltar também que, tanto a variável de estresse (força, em N), quanto a medida de degradação do produto (deformação, em mm), foram desconsideradas neste estudo preliminar do problema. Logo, uma abordagem mais completa é necessária utilizando modelos realistas de degradação acelerada (MEEKER *et al.*, 1998). Estes serão os objetos de trabalhos futuros.

O objetivo desse trabalho é ilustrar, mediante o uso dos exemplos das tampas de bueiro de ferro fundido e de concreto polimérico, a obtenção de estimativas de confiabilidade a partir de métodos quantitativos estatísticos. Assim, considerando, por exemplo, um tempo fixado (isto é, de interesse) de $t = 7,5$ anos, tem-se as seguintes medidas de confiabilidade, isto é, as seguintes probabilidades de que os produtos em questão durem mais do que esse tempo: $R(7,5) = 0,5046$ (concreto polimérico) e $R(7,5) = 0,0583$ (ferro fundido). Destes resultados pontuais, obtém-se uma razão de confiabilidades igual a 8,6583, o que é indicativo da maior durabilidade (probabilidade quase 9 vezes superior) do produto de concreto polimérico a um longo prazo.

VARIÁVEL MATURIDADE DA TECNOLOGIA

Para incluir a variável maturidade tecnológica na versão atual da LCE sugere-se o emprego de uma metodologia de avaliação do risco. Usualmente, a avaliação de risco de uma tecnologia, está

associado ao seu nível de prontidão ou TRL, além do IRL (nível de prontidão da integração) e do SRL (nível de prontidão do sistema) (ABNT, 2015; NASA, 2007). Este estudo, propõe um framework a partir das Cinco Forças de Porter, adaptando-a ao contexto de tomada de decisão (PORTER, 1996). Para cada uma das forças foram associados riscos, que se juntaram à visão das diferentes fases da maturidade da Curva S, conforme Tabela 5.

Tabela 3 - Categorias e Risco.

Categoria	Riscos
Análise de Concorrência	Mercado com muitos concorrentes.
	Mercado saturado
	Concorrentes com grande vantagem competitiva
Barganha dos Compradores	Poucos clientes e com alto peso econômico
	Clientes com alto nível de exigência de qualidade
	Difícil acesso aos clientes
Barganha dos Fornecedores	Difícil acesso aos fornecedores
	Poucos fornecedores
Barreiras à entrada	Difícil acesso a canais de distribuição
	Alta exigência de capital
	Regulamentação bloqueia o acesso ao mercado
Produtos substitutos	Produto fácil de imitar
	Outras tecnologias sendo desenvolvidas
Escalonamento da Tecnologia	Difícil acesso a mão de obra
	Difícil acesso a financiamento
	Dificuldade de viabilizar a manufatura
	A tecnologia não está validada no mercado
	Dificuldade de realizar manutenção

Fonte: Elaboração própria.

Como metodologia de análise, será utilizada uma adaptação da Matriz de Risco, que é uma ferramenta de auxílio à decisão. Na Tabela 6, detalham-se colunas e linhas que representam escalas com probabilidade e consequência (GARVEY; LANSLOWNE, 2010), que têm sido aplicadas em muitos contextos de gerenciamento de riscos, incluindo saúde, segurança, meio ambiente, financeiro, e inspeção (THOMAS, 2013).

Tabela 4 - Matriz de Risco.

		Consequência				
		Irrelevante (1)	Baixo (2)	Moderado (3)	Alto (4)	Extremo (5)
Probabilidade	Quase Certo (5)	Moderado = 6	Significante = 7	Importante = 8	Intolerável = 9	Intolerável = 10
	Muito Provável (4)	Tolerável = 5	Moderado = 6	Significante = 7	Importante = 8	Intolerável = 9
	Pouco Provável (3)	Trivial = 4	Tolerável = 5	Moderado = 6	Significante = 7	Importante = 8
	Improvável (2)	Insignificante = 3	Trivial = 4	Tolerável = 5	Moderado = 6	Significante = 7
	Raro (1)	Insignificante = 2	Insignificante = 3	Trivial = 4	Tolerável = 5	Moderado = 6

Fonte: (GARVEY; LANSDOWNE, 2010).

A partir daí avalia-se, para cada tecnologia, a probabilidade e impacto de cada risco descrito no framework. Convém salientar que a análise foi simplificada, estimando o mesmo peso para cada risco. Uma vez finalizada esta etapa, obtém-se uma avaliação média do risco de cada uma delas. Como será visto na Tabela 7, a tampa de bueiro que utiliza a tecnologia de Ferro Fundido apresenta um risco considerado moderado (6), enquanto que a que utiliza o Concreto Polimérico apresenta um risco significativo (7).

Tabela 5 - Risco comparativo.

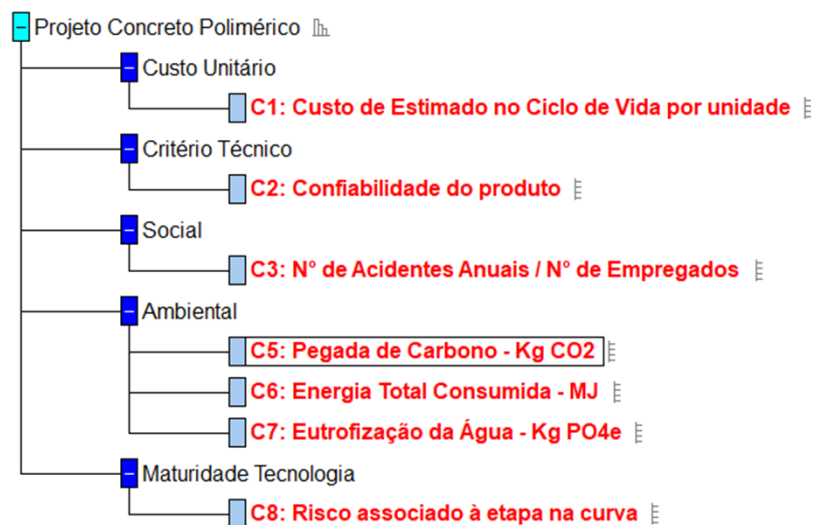
Categoria	Riscos	Ferro Fundido			Concreto Polimérico		
		Probabilidade	Consequência	Classificação	Probabilidade	Consequência	Classificação
Análise de Concorrência	Mercado com muitos concorrentes.	4	3		4	4	
	Mercado saturado	2	3		2	4	
	Concorrentes com grande vantagem competitiva	2	3		2	4	
Barganha dos Compradores	Poucos clientes e com alto peso económico	3	4		3	5	
	Cientes com alto nível de exigência de qualidade	3	5		3	1	
	Difícil acesso aos clientes	1	5		4	5	
Barganha dos Fornecedores	Difícil acesso aos fornecedores	1	5		3	5	
	Poucos fornecedores	1	3		4	5	
	Difícil acesso a canais de distribuição	3	3		4	3	
Barreiras à entrada	Alta exigência de capital	5	3		5	5	
	Regulamentação bloqueia o acesso ao mercado	4	3		4	3	
	Produto fácil de imitar	4	5		3	5	
Produtos substitutos	Outras tecnologias sendo desenvolvidas	3	5		3	4	
	Difícil acesso a mão de obra	1	3		2	4	
	Difícil acesso a financiamento	2	3		4	3	
Escalonamento da Tecnologia	Dificuldade de viabilizar a manufatura	1	4		2	5	
	A tecnologia não está validada no mercado	1	2		3	5	
	Dificuldade de realizar manutenção	2	5		1	3	
Avaliação Geral		2	4		3	4	

Fonte: adaptado de (GARVEY; LANSDOWNE, 2010).

APLICAÇÃO DO MODELO

Para apoiar a tomada de decisão acerca do projeto em questão, foram considerados os critérios levantados nos tópicos anteriores, em conjunto a uma análise semântica. Foram considerados os modelos de tampa ferro fundido (FF) e o concreto polimérico (CP) para que fosse realizada a escolha, e utilizou-se da versão gratuita do software M-MACBETH.

Figura 6 - Árvore de decisão M-MACBETH.



Fonte: Elaboração própria.

Inicia-se a aplicação do método, organizando e identificando os pontos pela perspectiva dos decisores. Então, foi elaborada uma árvore de decisão na Figura 6 e a Tabela 8, indicando os critérios utilizados, seus níveis de impacto e descritores, para serem representados no software.

Tabela 8 - Critérios utilizados.

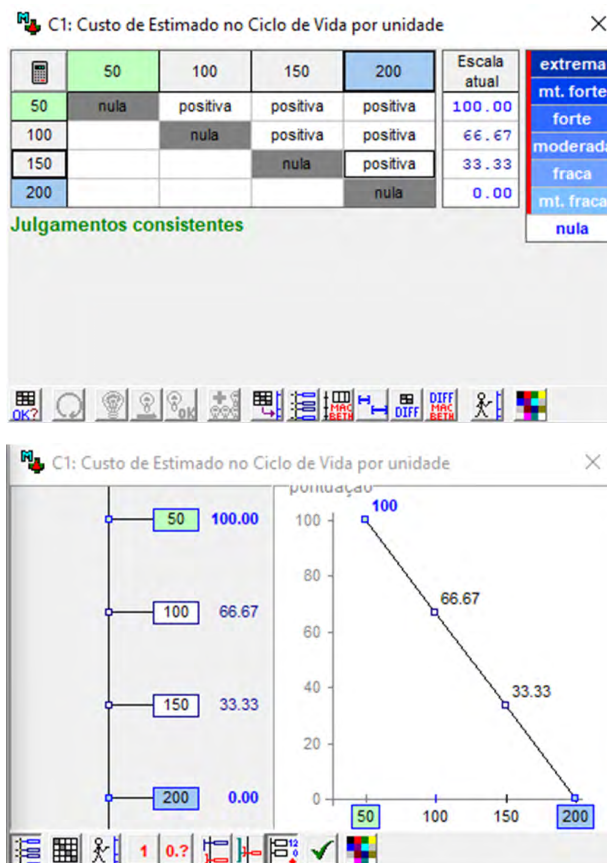
	Critérios	NÍVEIS DE IMPACTO	DESCRIÇÃO DOS NÍVEIS DE IMPACTO	REFERÊNCIA/ CLASSIFICAÇÃO
Custo Unitário	C1: Custo de Estimado no Ciclo de Vida por unidade (US\$)	N1	50	Referência Superior
		N2	100	
		N3	150	
		N4	200	Referência Inferior
Critério Técnico	C2: Confiabilidade do produto	N1	99%	Referência Superior
		N2	1%	Referência Inferior
Social	C3: N° de Acidentes Anuais / N° de Empregados	N1	0,35%	Referência Superior
		N2	0,40%	
		N3	0,45%	Referência Inferior
Ambiental	C5: Pegada de Carbono - Kg CO2	N1	100	Referência Superior
		N2	300	
		N3	500	
		N4	700	Referência Inferior
	C6: Energia Total Consumida - MJ	N1	1500	Referência Superior
		N2	4500	
		N3	6000	Referência Inferior
	C7: Eutrofização da Água - Kg PO4e	N1	0,05	Referência Superior
		N2	0,15	
		N3	0,25	
N4		0,35		
Maturidade Tecnológica	C8: Risco associado à etapa na curva	N1	Tolerável	Referência Superior
		N2	Moderado	
		N3	Significante	
		N4	Importante	
		N5	Intolerável	Referência Inferior

Fonte: Elaboração própria.

Após a construção da árvore de decisão (Figura 6) o passo seguinte é o preenchimento das opções com seus valores relativos a cada um dos respectivos critérios. A partir desta etapa, inicia-se fase de avaliação, quantificando a atratividade de cada um dos níveis de impacto e critérios entre si. Por esse motivo, na ausência de referências bibliográficas e de decisores que sustentem essa atratividade, uma distribuição linear foi escolhida na primeira análise.

Na Figura 7, à esquerda, é possível observar a comparação entre os níveis de impacto, identificando com a cor verde o referencial superior e com a cor azul, o inferior. A partir desta análise, o software realiza um teste de consistência, gerando uma escala de pontuação, que será a referência para comparar os valores contidos nas opções acerca deste critério.

Figura 7 - Atratividade de níveis de impacto.



Fonte: Elaboração própria.

O mesmo procedimento foi adotado para todos os demais critérios. Por fim, foram realizadas as comparações entre os mesmos.

Neste caso, foi considerada uma distribuição igualitária, resultando em pesos semelhantes para todos. Por fim, tendo finalizadas as escalas de pontuações, iniciam-se as análises dos resultados gerados pelo método.

Figura 8 - Pontuações finais das opções.

Opções	Global	C1	C2	C3	C5	C6	C7	C8
[tudo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
CP	76.57	94.87	50.47	43.00	100.00	95.00	102.67	50.00
FF	32.86	33.43	4.93	40.00	25.00	46.67	5.00	75.00
[tudo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos :		0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429	0.1429

Fonte: Elaboração própria.

Na análise da Figura 8, observa-se que o modelo em concreto polimérico (CP) tem o melhor resultado em 87,5% dos critérios, exceto no critério de risco associado à etapa da curva. Nesta análise simples é possível identificar a dominância do modelo CP sobre o FF. Outras ferramentas disponibilizadas pelo *software* são, as análises de robustez (Figura 9) e de sensibilidade. Com elas, é possível avaliar as imprecisões e incertezas do modelo, já que essas características são encontradas frequentemente na tomada de decisão.

Figura 9 - Incerteza aliada a análise de robustez.

	[tudo sup.]	CP	FF	[tudo inf.]
[tudo sup.]	=	+	▲	▲
CP		=	+	▲
FF			=	▲
[tudo inf.]				=

Informação local			Informação global			
	ordinal	MACBETH	cardinal	ordinal	MACBETH	cardinal
C1	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±0%	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±50%
C2	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>			
C3	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±0%			
C5	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±0%			
C6	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±0%			
C7	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±0%			
C8	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> ±0%			

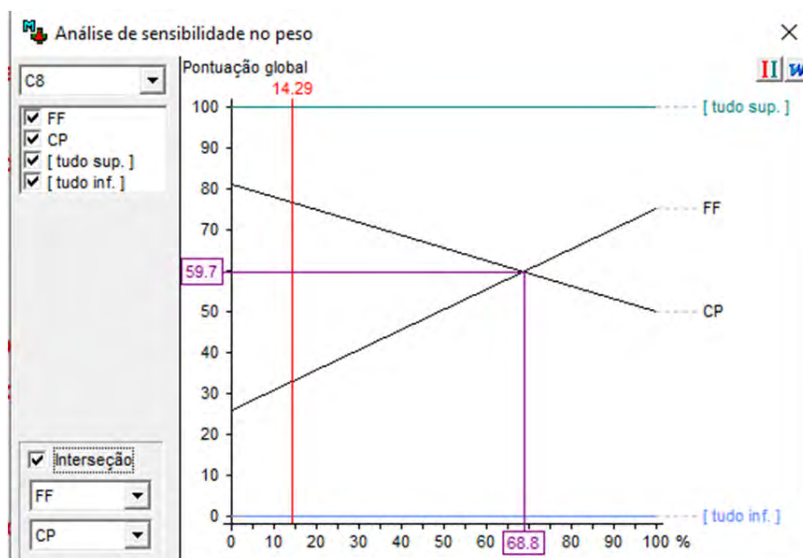
Fonte: Elaboração própria.

Quando analisada a Figura 9, as conclusões tiradas sobre a dominância do modelo CP sobre o modelo FF se confirmam, já que na matriz, aquela opção apresenta um símbolo de dominância aditiva. Além disso, mesmo adotando graus de incerteza elevados nas informações globais de 50%, o modelo CP ainda de mantém predominantemente aditivo em relação ao FF.

Outra ferramenta fornecida é a análise de sensibilidade, que verifica o comportamento das pontuações globais das opções, considerando uma variação nos pesos atribuídos a cada um dos critérios. Ao aplicá-la foi possível notar a dominância da alternativa CP em 87,5% dos critérios, mesmo com as maiores variações nos pesos. O único critério em que a alternativa FF se sobressaiu em relação ao CP, foi na avaliação do risco associado à curva, conforme apresentado na Figura 10. Nela é possível observar que a partir de 68,8% no peso deste critério, a linha de pontuação de FF passa a ser superior a CP.

É preciso reafirmar, que a metodologia MACBETH utiliza de julgamentos subjetivos para que possa atingir o seu resultado e, para que o mesmo, seja validado e aceito pelo decisor. Nesta aplicação da metodologia, fica clara a importância dos decisores para a construção do modelo, desde a definição de seus pontos de vista fundamentais até a validação dos resultados. Dessa forma, podemos concluir que ao utilizarmos o modelo de pesos igualitários entre os critérios e um julgamento linear sobre os níveis de impacto fica evidente a predominância do modelo que utiliza o concreto polimérico sobre o atualmente utilizado de ferro fundido.

Figura 10 - Análise de sensibilidade (Risco Associado à Curva).



Fonte: Elaboração própria.

CONCLUSÕES

O presente estudo propõe uma abordagem ampliada da LCE, adequando-a a um contexto cada vez mais sistêmico da sustentabilidade. Desta forma, incluiu no processo decisório, metodologias e ferramentas visando produtos mais sustentáveis. Buscou-se ir além da inclusão das dimensões ambiental, social e custo já tradicionais a LCE, adicionando-se as dimensões da confiabilidade e da maturidade da tecnologia. Para suportar esta análise buscou-se o uso de metodologia multicritério para o processo de tomada de decisão em situação de escolha de tecnologia. A análise multicritério revelou-se uma ferramenta importante para uma visão integrada da sustentabilidade, dando o suporte dos decisores.

O presente estudo possibilita a abertura de novas frentes e aprofundamento do tema sustentabilidade em um contexto acadêmico e empresarial. Contudo, ele apresenta algumas limitações, pois se observou que, para a variável confiabilidade, é necessário adequar padrões de ensaios visando a utilização de métodos mais adequados para a sua quantificação. Já do ponto de vista da variável maturidade tecnológica, sugere-se modelos que também contemplem variáveis quantitativos aliados aos quanti-qualitativos aqui propostos.

Salienta-se ainda a importância de utilização destas dimensões e processos em fases iniciais de desenvolvimento de produtos e inovações, objetivando redução de risco, custos desnecessários e tempo de lançamento de um produto no mercado. Por fim, evidencia-se que os pesos e critérios de avaliação devam ser de acordo com a visão dos tomadores de decisão, já que este fator, pode levar a outras decisões indesejáveis. Da mesma forma, sugere-se que outras metodologias multicritérios e outras técnicas sejam testadas para melhor verificação da robustez da modelagem.

REFERÊNCIAS

AARSET, M. V. How to Identify a Bathtub Hazard Rate. *IEEE Transactions on Reliability*, v. R-36, n. 1, p. 106–108, 1987.

ABNT. ABNT NBR ISO 16290. 2015.

AKAIKE, H. A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.

AKRAM, M.; PILBEAM, C. Critical success factors for effective risk management in new product development. 2015 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM). *Anais...IEEE*, out. 2015Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7380306/>>. Acesso em: 13 maio. 2019.

ANDRADE, H.; JUNIOR, M.; SILVA, M. *AVALIAÇÃO DA MATURIDADE TECNOLÓGICA : CONCEITOS*. 1a Edição ed. Jundiá: [s.n.], 2019.

BANA, *et al.* Overview of MACBETH multicriteria decision analysis approach. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, v. 11, n. 2, p. 359–387, 2003.

OLIVEIRA, C. L. D. *et al.* Instituto Brasileiro de informação em Ciência e Tecnologia. [s.l.: s.n.]. Brasília. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (Ibict), 2019.

CIMATEC, S. *Databook do projeto concreto polimérico*. Salvador: [s.n.]. SENAI CIMAT, 2018.

COLEMAN, L.; CASSELMAN, R. M. Optimizing decisions using knowledge risk strategy. *Journal of Knowledge Management*, v. 20, n. 5, p. 936–958, 2016.

D'AGOSTINO, R. B.; STEPHENS, M. A. *Goodness-of-fit techniques*. New York: Marcel A., 1986.

DEZFULI, H. *et al.* Bayesian Inference for NASA Probabilistic Risk and Reliability Analysis. *National Aeronautics and Space Administration*, 1, número, 1 - 275, 2009.

DIEESE. *Anuários dos Trabalhadores Ministério do Trabalho*. [s.l.: s.n.]. 12 ed. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. São Paulo: DIEESE, 2017.

DROGUETT, E. L.; MOSLEH, A. ANÁLISE BAYESIANA DA CONFIABILIDADE DE PRODUTOS EM DESENVOLVIMENTO. *Gestão & Produção*, v. 13, n. jan-abri 2006, p. 57–69, 2006.

ELKINGTON, J. *Cannibals with forks*. [s.l.] Capstone, 1997.

ERTO, P.; GUIDA, M. Estimation of weibull reliability from few life tests. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 1, n. 3, p. 161–164, jul. 1985.

FAZENDA, M. DA. Anuário Estatístico De Acidentes Do Trabalho AEAT 2017. *SER Social*, v. 1, n. 11, p. 996, 2017.

FAZENDA, S. *CNAE - Fiscal - Código Nacional de Atividade Econômica - Secretaria de Economia do Distrito Federal*. Disponível em: 2019 <http://www.fazenda.df.gov.br/area.cfm?id_area=611>. Acesso em: 28 nov. 2019.

FOUNDATION, E. M. *Towards a circular economy: business rationale for an accelerated transition* Ellen Macarthur Foundation. [s.l.: s.n.]. Disponível: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>. Acesso em: 10 nov. 2019.

GAO, L. *et al.* Technology life cycle analysis method based on patent documents. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 80, n. 3, p. 398–407, 2013.

GARVEY, P. R.; LANSDOWNE, Z. F. Risk Matrix: An Approach for Identifying, Assessing, and Ranking Program Risks. *Air Force Journal of Logistics*, v. 22, n. 1, p. 18–21, 2010.

GLOBALDATA. *Sustainability - The Most Important Theme for 2020 - Thematic Research*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://store.globaldata.com/report/gdmt-tr-s252--sustainability-the-most-important-theme-for-2020-thematic-research/>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

HAKOVIRTA, M.; DENUWARA, N. How COVID-19 Redefines the Concept of Sustainability. *Sustainability*, v. 12, n. 9, p. 3727, 4 maio 2020.

HISCHIER, R. et al. *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.2 Swiss Centre for Life Cycle Inventories, DübendorfEcoinvent*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/41/028/41028089.pdf. Acesso em: 21 jul. 2020.

KAPLAN, E. L.; MEIER, P. Nonparametric Estimation from Incomplete Observations. *Journal of the American Statistical Association*, v. 53, n. 282, p. 457, 302, jun. 1958.

KEEBLE, B. R. *The Brundtland Report: "Our Common Future"*. 1st (May 2 ed. New York: Oxford University Press, 1988. v. 4.

KEENEY, R. L.; RAIFFA, H. *Decisions with Multiple Objectives*. [s.l.] Cambridge University Press, 1993.

KUZEMKO, C. et al. Covid-19 and the Politics of Sustainable Energy Transitions. *Energy Research & Social Science*, p. 101685, 2 jul. 2020.

LITTLE, A. D. The strategic management of technology. *European Management Forum*, 1981.

LU, M. W.; WANG, C. J. Weibull data analysis with few or no failures. In: Springer Series in Reliability Engineering. *Springer Series in Reliability Engineering*. [s.l.] Springer-Verlag London Ltd, 2008. v. 18p. 201–210.

LU, Y. et al. Reliability in a time-driven product development process. *Quality and Reliability Engineering International*, v. 15, n. 6, p. 427–430, 1 nov. 1999.

MEEKER, W. Q. et al. Accelerated degradation tests: modeling and analysis. *Technometrics*, v. 40, n. 2, p. 89–99, 1998.

MORBIDONI, A.; FAVI, C.; GERMANI, M. CAD-Integrated LCA Tool: Comparison with dedicated LCA Software and Guidelines for the Improvement. In: Morbidoni, Alessandro Favi, Claudio Germani, Michele. *Globalized Solutions for Sustainability in Manufacturing*. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 569–574.

MPT; OIT. *Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/mpt-e-oit-lancam-observatorio-digital-de-saude-e-seguranca-do-trabalho/>>. Acesso em: 2 dez. 2019.

NASA. *NASA/SP-2106-6105 Rev 2: NASA Systems Engineering Handbook*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf. Acesso em: 12 jun. 2019.

NELSON, W. Weibull Analysis of Reliability Data with Few or No Failures. *Journal of Quality Technology*, v. 17, n. 3, p. 140–146, jul. 1985.

O'CONNOR, P. D. T.; KLEYNER, A. *Practical reliability engineering*. [s.l.] Wiley, 2012. 5ª edição. Nova Deli.

ONU. *17 Objetivos para transformar nosso mundo | ONU Brasil*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>>. Acesso em: 7 jul. 2020.

ORMAZAL, M. J.; PUGA-LEAL, C. R. Analysis and Comparison of Life Cycle Assessment and Carbon Footprint software. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, v. 281, 1521-1530, n. 2014.

PEÇAS, P. et al. A Life Cycle Engineering model for technology selection: a case study on plastic injection moulds for low production volumes. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 9, p. 846–856, mar. 2009.

_____. Life Cycle Engineering - Taxonomy and State-of-the-Art. *Procedia CIRP*, *Procedia CIRP* v. 48, p. 73–78, 2016.

PORTER, M. The Five Competitive Forces That Shape Strategy. *Harvard Business Review*, v. 1, p. 23–41, 1996.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M. O Apoio Multicritério à Decisão na avaliação de candidatos. *Production*, v. 20, n. 1, p. 92–101, 2010.

RCT, R. C. T. R. *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <<https://www.gbif.org/tool/81287/r-a-language-and-environment-for-statistical-computing>>. Acesso em: 24 jul. 2020.

RIBEIRO, I. et al. Life cycle engineering methodology applied to material selection, a fender case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 17, p. 1887–1899, 2008.

ROSA, L. D. *O Processo de Substituição de uma Frota de Aeronaves na Força Aérea Portuguesa - Uma Aplicação da Análise Multi-Critério*. Lisboa: Tese de Mestrado, Academia da Força Aérea, Instituto Superior de Economia e Gestão. 2010.

ROY, B.; BOUYSSOU, D. Aide multicritere à la décision: méthodes et cas. Production et techniques quantitatives appliquées à la gestion. *Economica, Paris, France*, 1993. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Denis-Bouyssou/publication/265441342_Aide_Multicritere_a_la_Decision_Methodes_et_Cas/links/5a9575e0aca27214056922b6/Aide-Multicritere-a-la-Decision-Methodes-et-Cas.pdf. Acesso em: 05 mai. 2019.

SAATY, T. L. Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process. In: [s.l.: s.n.]. p. 15–35. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-9799-9_2. Acesso em: 10 abr. 2019.

_____. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*. Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications., 1996.

SANTOS, J. C. J.; MELO, W. DOS R. A. Indicador da qualidade do processo parada programada. *20o CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO, ABRAMAN*, n. 1, p. 1–16, 2005. Disponível em: <https://www.abramansig.com.br/uploads/113.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2019.

SCHWARZ, G. Estimating the Dimension of a Model. *Annals of Statistics*, v. 6, n. 2, p. 461–464, 1978.

SONNEMANN, G. *Background Report for a UNEP Guide to Life Cycle Management*. Paris: [s.n.]. Disponível em: https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2013/09/UNEP_Background_document_LCM_2006_Febr.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

STARK, R. *et al. Advanced technologies in life cycle engineering*. (A. Roy, R and Tomiyama, T and Tiwari, A and Tracht, K and Shahab, E and Shaw, Ed.) *Procedia CIRP. Anais...: Procedia CIRP.SARA BURGERHARTSTRAAT 25, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS: ELSEVIER SCIENCE BV*, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.118>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

TAO, L. *et al.* Schedule risk analysis for new-product development: The GERT method extended by a characteristic function. *Reliability Engineering and System Safety*, v. 167, p. 464–473, 1 nov. 2017.

THOMAS, P. *The Risk of Using Risk Matrices*. [s.l.] University of Stavanger, Norway, 25 jun. 2013.

TRAPPEY, C. V. *et al.* Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis. *Advanced Engineering Informatics*, v. 25, n. 1, p. 53–64, 2011.

XIA, X. Reliability Evaluation of Failure Data with Poor Information. *Journal of Testing and Evaluation*, v. 40, n. 4, p. 104407, jul. 2012.

8

Menilde Araújo Silva Bião

Lucas Santos Reis

Jamilton Alves Dias

Paula Hortência dos Santos Magalhães

Leandro Brito Santos

Roberto Luiz Monteiro

PRÓTESES DE MEMBRO SUPERIOR E MÃO DESENVOLVIDAS COM MANUFATURA ADITIVA: AVALIAÇÃO, FABRICAÇÃO E HABILITAÇÃO/REABILITAÇÃO

RESUMO:

O objetivo deste artigo é apresentar o protocolo de habilitação/reabilitação desenvolvido pelo Instituto PEPO (Projeto de Órteses e Próteses) para usuários de próteses de membro superior e mão, bem como a proposta de desenvolvimento de um modelo computacional que visa diminuir o elevado grau de incertezas decorrente do processo tradicional de obtenção de medidas antropométricas. Para o desenvolvimento do modelo computacional será realizada uma pesquisa do tipo experimental, incluindo na implementação do modelo a avaliação do amputado, escaneamento da superfície corporal e envio destes parâmetros para o software que faz a modelagem da prótese. A Tecnologia Assistiva por meio de próteses para o membro superior e mão promove a funcionalidade relacionada à atividade e participação.

PALAVRAS-CHAVE: Prótese de membro superior; Prótese de mão; Manufatura aditiva; Tecnologia assistiva; Modelagem computacional.

INTRODUÇÃO

A deficiência é uma condição que está presente na vida humana, sendo comum pensar que a maioria das pessoas, em alguma fase da vida, sofrerão algum tipo de limitação ou incapacidade, temporária ou permanente, e para aqueles que chegarão à velhice, terão maior necessidade do uso de recursos que auxiliem na funcionalidade. De acordo com a Lei Brasileira de Inclusão (LBI) art. 2º considera-se pessoa com deficiência aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas (BRASIL, 2015).

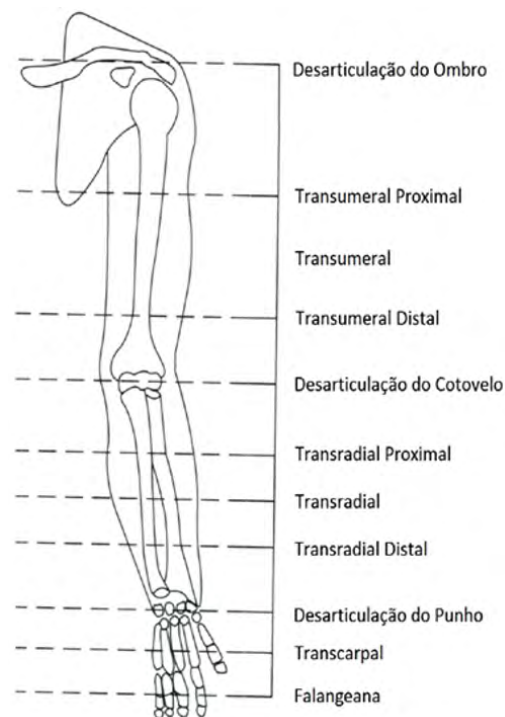
Segundo a Organização Mundial de Saúde (2012), mais de 1 bilhão de pessoas vivem com alguma deficiência, o que representa cerca de 15% da população mundial. Em 2010, 8,3% da população no Brasil apresentava pelo menos um tipo de deficiência, destas 2,33% com deficiência física (BRASIL, 2012). A deficiência física é causada por uma alteração completa ou parcial em um ou mais seguimentos, resultando em limitações importantes para a realização de atividades de vida diária comprometendo a independência e autonomia da pessoa com deficiência.

A amputação é um recurso terapêutico realizado para remoção de um membro, definida como a ausência completa ou parcial de um segmento corpóreo, pode ser decorrente de processos vasculares, neuropáticos, traumáticos, tumorais, infecciosos, congênitos, procedimento cirúrgico ou má formação apendicular (PEIXOTO *et al.*, 2017).

Estima-se que o número de amputações no Brasil seja de 13,9 por 100000 habitantes/ano. As amputações de membros superiores ocorrem 20% menos que em membros inferiores, no entanto, além do impacto socioeconômico, impactam na capacidade laborativa, socialização e qualidade de vida do indivíduo (SILVA *et al.*, 2017; CARVALHO, 2005).

Aproximadamente 80% das amputações em adultos são em decorrência de doenças vasculares, seguida por causas traumáticas onde prevalecem os acidentes de trânsito. A amputação traumática corresponde cerca de 20% das causas de amputações no Brasil (BRASIL, 2013). Os dados demográficos sobre amputação na população pediátrica são pouco conhecidos, Batalha (2009) afirma que as amputações do membro superior na primeira década da vida são causadas por malformações congênitas enquanto na segunda infância os traumatismos passam a ser mais frequentes.

Figura 1 - Tipos de amputação de membro superior.



Fonte: (Brasil, 2014).

A Figura 1 apresenta o nível de amputação do membro superior e mão, o qual pode ser classificado de acordo com a seguinte forma (BRASIL, 2019):

- 1 – Desarticulação do ombro;
- 2 – Transumeral;
- 3 – Desarticulação do cotovelo;
- 4 – Transradial;
- 5 – Desarticulação do Punho;
- 6 – Transcarpiana;
- 7 – Interfalangiana ou metacarpo-falanga.

A escolha do nível de amputação deve assegurar que a cicatrização ocorrerá de forma efetiva, com cobertura da pele mantendo a sensibilidade preservada, e com medidas que permitam o uso e a adaptação de uma prótese funcional (BRASIL, 2013). Quando o nível é o mais adequado e satisfatório, melhor será a adaptação a uma prótese, uma vez tendo sido estabelecidas as exigências relativas à sua escolha conforme a idade, a etiologia e a necessidade da amputação (BRASIL/MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

Com objetivo de proporcionar melhor qualidade de vida, inclusão, independência e autonomia ao indivíduo amputado se utiliza recursos da Tecnologia Assistiva (TA), que é usada para identificar ações, recursos, metodologias, dispositivos e serviços que proporcionam a ampliação da funcionalidade das pessoas com deficiência, possibilitando sua independência e inclusão. Quando se fala sobre tecnologia assistiva, é importante compreender que ela promove o desenvolvimento de habilidades que possibilitam a realização de atividades, que na sua ausência se torna mais difícil ou impedida, devido às manifestações clínicas decorrentes da deficiência (BRASIL, 2019; GALVÃO FILHO, 2009).

Dessa forma, o principal objetivo da TA é fornecer à pessoa com deficiência maior autonomia e independência, através da ampliação das funções motoras, comunicativas, controle do ambiente, aprendizado

e trabalho, proporcionando melhora na qualidade de vida e inclusão social (BERSCH, 2017; GALVÃO FILHO, 2012).

Os recursos de TA são organizados ou classificados de acordo com os diferentes objetivos funcionais, com finalidades distintas (BERSCH, 2017). O Quadro 1 apresenta as 12 classificações:

Quadro 1 - Classificação dos recursos de TA.

Classificação	Objetivo Funcional
1	Auxílios para a vida diária e vida prática
2	Comunicação Aumentativa e Alternativa (CAA)
3	Recursos de acessibilidade ao computador
4	Sistemas de controle de ambiente
5	Projetos arquitetônicos para acessibilidade
6	Órteses e próteses, Adequação Postural
7	Auxílios de mobilidade
8	Auxílios para ampliação da função visual e recursos que traduzem conteúdos visuais em áudio ou informação tátil
9	Auxílios para melhorar a função auditiva e recursos utilizados para traduzir os conteúdos de áudio em imagens
10	Texto e língua de sinais
11	Mobilidade em veículos
12	Esporte e Lazer

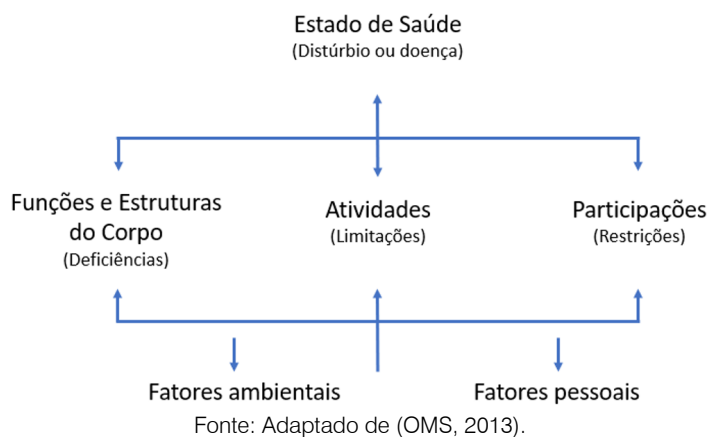
Fonte: Autores.

Como parte da TA e do processo de reabilitação, as próteses estão designadas na perspectiva de gerar maior autonomia ao indivíduo para realização das atividades cotidianas, amenizando a ausência do membro perdido. São dispositivos aplicados ao corpo com o objetivo de substituir determinado segmento, seja ele amputado, com má formação permanente ou transitória. As próteses de membro superior podem ser classificadas de acordo com a funcionalidade e princípio de construção. São classificadas em próteses passivas (estéticas) e próteses ativas (mecânica, mioelétrica e híbrida) e próteses funcionais: convencionais, mioelétricas e híbridas (CHAMLIAN; INGHAM; CARDOSO, 2010).

Neste sentido Sauron (2003) destaca que a prescrição, confecção e avaliação do real benefício de um dispositivo para determinado indivíduo depende de um profundo conhecimento da anatomia funcional do segmento, dos aspectos clínicos da patologia, do material e características de confecção do mesmo. Outros aspectos relacionados ao indivíduo (cognitivos, emocionais) e ao ambiente (fatores físicos, sociais ou atitudinais que facilitem ou limitem a funcionalidade) condições indispensáveis a ser consideradas durante o processo de avaliação do amputado.

A Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF) oferece arcabouço para a avaliação ao englobar as funções, estruturas corporais além de atividades, participação, fatores pessoais e ambientais. Essas medidas contribuem para que a pessoa com deficiência se relacione com o ambiente em que vive, seja ambiente educacional, do mercado de trabalho e da vida civil (OMS, 2013).

Figura 2 - Modelo Integrador da Funcionalidade Humana.



A CIF organiza suas informações em funções e estruturas do corpo, atividades e participação, fatores ambientais e fatores pessoais. Cada componente consiste em vários domínios, organizados em categorias de classificações. A CIF fornece definições textuais no contexto de saúde como:

- Funcionalidade: Termo abrangente para funções do corpo, estruturas, atividades e participação;
- Incapacidade: Termo que abrange as deficiências, limitações de atividade e restrições de participação;
- Funções do corpo: Funções fisiológicas dos sistemas do corpo (inclusive funções psicológicas);
- Estruturas do corpo: Partes anatômicas do corpo como órgãos, membros e seus componentes;
- Deficiências: Problemas funcionais ou estruturais do corpo;
- Atividade: Execução de uma tarefa ou ação por um indivíduo.

Nesse sentido, o uso de Tecnologia Assistiva pode promover a funcionalidade relacionada à atividade e à participação de pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social. Dentre os recursos de Tecnologia Assistiva disponíveis para garantir igualdade de oportunidades à pessoa com deficiência, destacam-se as próteses.

As próteses entregues pelo Sistema Único de Saúde (SUS) são modelos pré-fabricados em tamanho P, M, G produzidas em larga escala. Apresentam diversos problemas no processo de produção, ausência de uma padronização para fabricação, teste de qualidade do produto, que repercutem na dificuldade de adaptação do usuário ao produto. Outra questão relevante está no investimento alto em equipamentos e materiais para a confecção das próteses, tendo em vista o elevado risco de abandono, principalmente para crianças, que estão em processo de crescimento, e nesta fase, as próteses necessitam de constantes modificações (AGNELLI; TOYODA, 2003).

Diante desse contexto, a impressão 3D surge como alternativa para o desenvolvimento de próteses com características customizáveis,

o que pode levar a melhor adaptação ao dispositivo. As possibilidades trazidas através deste recurso vão desde o refinamento das adaptações de forma individual, à extinção de uso de alguns materiais, que podem causar incômodos, uma vez que permite um ajuste perfeito, sem sobreposições ou costuras (bastante comuns em adaptações de termoplásticos), além da melhora da estética do produto e do menor custo em relação às adaptações já existentes no mercado.

A e-NABLE, comunidade global, conta com uma rede de voluntários em todo o mundo dedicados a desenhar, imprimir, montar e doar próteses para o membro superior e mão, desenvolvidas com tecnologia 3D. A e-NABLE Brasil em parceria com a ONG Instituto PEPO, instituição especializada em avaliação e reabilitação de usuários de próteses para membro superior e mão fornecem dispositivos para solicitantes de todo o território nacional, sendo crianças os principais destinatários, atendendo também alguns adultos (figura 3).

Figura 3 - Próteses 3D para membro superior e mão da e-NABLE.



Fonte: (e-NABLE, 2020).

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA / METODOLÓGICA

Para a prescrição de próteses é necessário analisar as condições clínicas do usuário, a capacidade funcional prévia e sua expectativa no resultado estético. Existem duas maneiras de obtenção das medidas antropométricas: por método direto (medições manuais) ou método indireto (medições através de digitalizadores tridimensionais). Os métodos manuais tradicionalmente utilizados para o levantamento antropométrico são considerados métodos demorados, devido à complexidade das formas do corpo humano. O processo indireto é mais rápido e preciso, porém, os digitalizadores 3D demandam especialização para o seu manuseio (LUXIMON; BALL; JUSTICE, 2012).

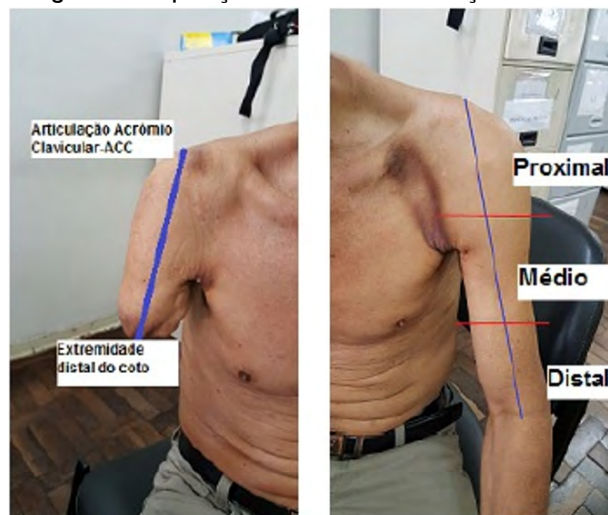
Até o início dos anos 2000, a antropometria limitava-se à medição manual utilizando instrumentos tradicionais como paquímetro e fitas métricas. Porém, os métodos e procedimentos de obtenção de medidas do corpo humano por métodos manuais são considerados procedimentos demorados e envolvem o contato físico com os indivíduos a serem mensurados (LU; WANG, 2008; SIMMONS, 2011; TOMKINSON; SHAW, 2013).

O processo tradicional de produção de próteses é extremamente dependente de um profissional de saúde com habilidade para avaliação. As medidas extraídas do coto por exemplo são medidas de comprimento e altura que são insuficientes para representar, realisticamente, uma forma tridimensional semelhante ao coto. Cada usuário é avaliado individualmente, preferencialmente por uma equipe multiprofissional especializada em reabilitação que leve em consideração as condições físicas, estilo de vida, ambiente físico e social em que o usuário está inserido.

O exame físico, realizado durante a avaliação deverá descrever as características do membro amputado e contralateral. Os principais

elementos que devem ser avaliados nesta etapa são a identificação correta do nível de amputação, comprimento e circunferência do coto conforme demonstra a figura 4.

Figura 4 - Amputação Transmeral – medição do coto.



Fonte: Autores.

Com base nas informações, o profissional realiza a prescrição da prótese, considerando fatores importantes para a confecção, como amplitude de movimento, dor, patologias associadas que acumulam sequelas que possam influenciar no processo. No método tradicional de fabricação de próteses o produto é confeccionado ou, caso seja pré-fabricado, ajustado, preparando-o para a primeira prova com o usuário que experimenta o produto uma ou mais vezes, de acordo com a necessidade para realização de ajustes (BRASIL, 2019).

A obtenção de dados por escaneamento 3D é uma técnica que permite gerar modelos tridimensionais digitais, com auxílio de softwares, permitem a obtenção de curvas, texturas e detalhes de superfícies com exatidão. As informações obtidas pela digitalização do corpo humano,

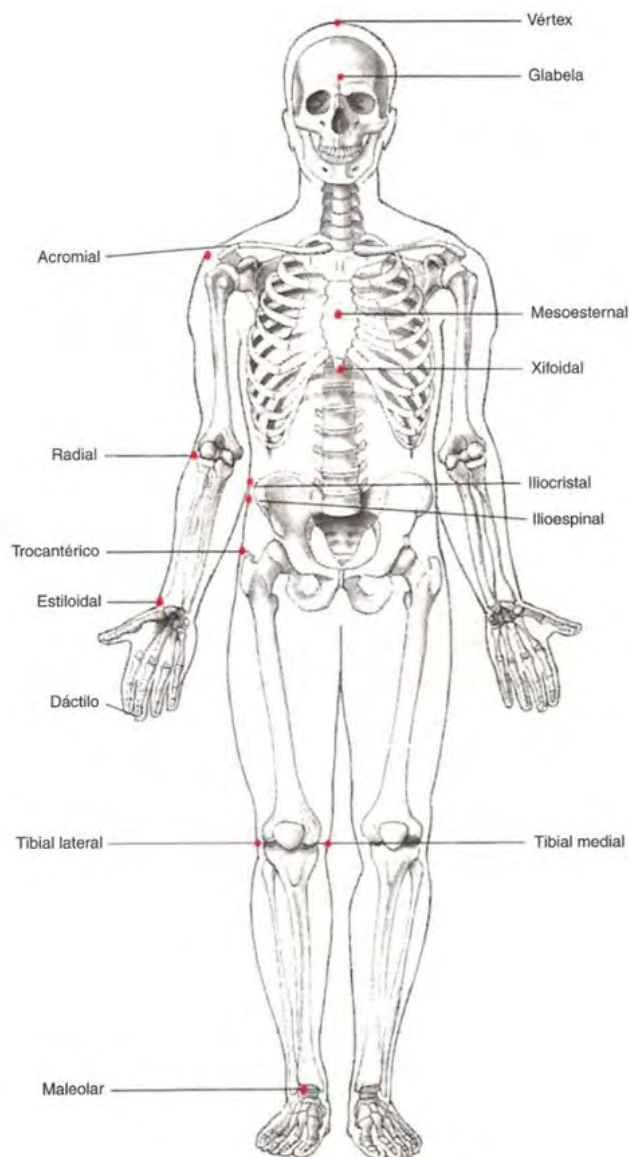
podem ser utilizadas em projetos de desenvolvimento de produtos para Tecnologia Assistiva (TA) (TOMKINSON; SHAW, 2013; WANG *et al.*, 2007; NORTON; DONALDSON; DEKKER, 2002).

As tecnologias de digitalização 3D mais utilizadas para digitalizar o corpo humano são, o sistema a laser (*laser scanning*), digitalização por luz branca (*white light scanning*) e fotogrametria (*photogrammetry*) (TONG *et al.*, 2012) desses, o sistema a laser é considerado o mais preciso para obtenção de dados antropométricos, no entanto tem o custo elevado (SILVA, 2011). Segundo Tong *et al.* (2012) no mercado há uma opção de scanner portátil, de baixo custo e fácil manuseio em relação aos scanners convencionais de digitalização, denominado Microsoft Kinect. O Kinect, em comparação com scanners 3D convencionais, são capazes de capturar dados de imagem com profundidade, utilizando pouca luz e descreve um método para melhorar a qualidade dos dados de resolução de profundidade.

Vale destacar que para realização de medições antropométricas é necessário conhecer a natureza tridimensional do corpo humano, além de conhecer a anatomia para uma correta identificação dos pontos de referência anatômicos e identificação dos locais a serem medidos. Os pontos esqueléticos de referência são pontos identificáveis próximos à superfície do corpo através da palpação (NORTON; OLDS, 2005).

A Figura 5 apresenta a posição anatômica, que é a posição do corpo em pé, ereto, com braços ao longo do corpo e as palmas das mãos interiorizadas. Na Figura 5 é demonstrada a nomenclatura básica dos pontos de referência da anatomia. Os pontos vermelhos na figura são os pontos encontrados por palpação, que são os locais específicos para medição antropométrica.

Figura 5 - Posição anatômica e pontos de referência.

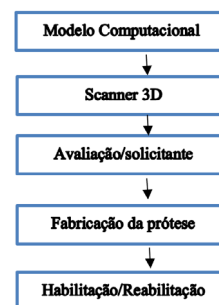


Fonte: Adaptado de Norton e Olrds (2005, p. 55).

No que concerne ao problema do elevado grau de incerteza das medições em pacientes com amputação do membro superior será realizada uma pesquisa do tipo experimental no Programa de Pós-graduação stricto sensu em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC para o desenvolvimento de um modelo computacional para, a partir dos dados obtidos por um Scanner 3D, determinar valores e parâmetros do coto do amputado e do membro contralateral (não amputado) de forma personalizada. O modelo computacional receberá diretamente do Scanner 3D as informações antropométricas possibilitando a efetivação de uma análise baseada nas características de cada sujeito, garantindo uma melhor automatização do processo de medição e modelagem da prótese.

Assim, será realizado o desenvolvimento do modelo computacional dividido nas seguintes etapas: a modelagem computacional utilizada para o scanner, estudo e definição do modelo de Scanner 3D que fará o mapeamento da superfície corporal para aquisição geométrica da superfície do coto, definição dos valores de referência (medidas antropométricas), definição do software de modelagem 3D que assegure a instalação do modelo computacional. Será incluído na implementação do modelo proposto à avaliação do paciente/solicitante da prótese, escaneamento da superfície corporal para aquisição dos parâmetros, prescrição do dispositivo, recepção dos dados coletados pelo Scanner 3D através do plug-in e envio destes parâmetros para o software que faz a modelagem da prótese conforme figura 6.

Figura 6 - Fluxo da Metodologia.

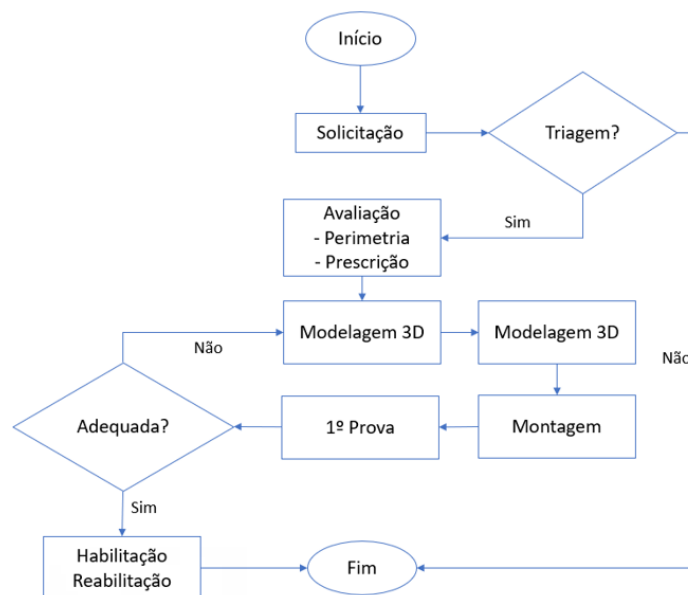


Fonte: Autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A equipe de saúde da ONG Instituto PEPO desenvolveu um protocolo de habilitação/reabilitação para usuários de próteses de membro superior e mão desenvolvidas com tecnologia 3D. O protocolo fornece informações importantes para estabelecer condutas de acordo com cada etapa da reabilitação. A figura 7 apresenta as etapas do protocolo que inicia com a solicitação da prótese, triagem, avaliação para prescrição, modelagem e impressão 3D, montagem da prótese, primeira prova para ajustes e o processo de habilitação/reabilitação descritas neste capítulo.

Figura 7 - Etapas do Protocolo de Habilitação/Reabilitação.



Fonte: Autores.

De acordo com o protocolo, na primeira etapa o solicitante da prótese preenche um formulário de solicitação e passa pela

triagem. Aprovado na triagem é encaminhado para o profissional de saúde, Fisioterapeuta, do Instituto PEPO para avaliação presencial, denominada avaliação cinético funcional que consiste na coleta dos dados pessoais, história clínica e funcional, histórico da amputação, identificação de patologias associadas, exame físico (inspeção, palpação, avaliação da força muscular, tônus, mensuração da amplitude articular através da goniometria) e tomada de medidas antropométricas através da perimetria: comprimento, circunferência proximal, medial e distal do segmento, conforme figura 8.

Figura 8 - Avaliação do amputado – Perimetria.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

Durante a realização do exame físico é importante avaliar as características gerais do coto: localização, forma, tipo de cicatriz, presença de aderência, sensibilidade tátil, térmica e dolorosa, sinais de processo inflamatório, presença de espículas ósseas. O profissional de saúde deve considerar os aspectos pessoais, familiares, sociais e

ambientais além do nível cognitivo, habilidade do paciente em manusear e adaptar-se ao dispositivo, para que a autonomia e independência sejam alcançadas em maiores níveis com o uso do equipamento. Em seguida é realizada a captação de imagens de acordo com o protocolo e-NABLE para a modelagem das próteses.

Para captação das imagens deve-se utilizar uma câmera digital ou a câmera de um celular com boa resolução. O local, onde são capturadas as imagens, deve ter boa iluminação, e ser de preferência ao ar livre. As imagens são capturadas do membro amputado e contralateral a fim de extrair informações importantes para confecção do dispositivo, garantindo a simetria da prótese com relação ao membro oposto. Após a captação das imagens deve-se realizar a prescrição da prótese de acordo com os modelos disponibilizados pela e-NABLE e necessidades funcionais do paciente.

A prescrição deve levar em consideração o objetivo do dispositivo em promover independência funcional ao indivíduo, logo, os profissionais de saúde habilitados para realizar esta conduta são Médicos, Fisioterapeutas e Terapeutas Ocupacionais, assegurados pela Portaria SAS/MS N° 661, de 2 de dezembro de 2010, na qual o Sistema Único de Saúde (SUS) que reconhece o direito de tais profissionais prescreverem órteses e próteses não relacionados ao ato cirúrgico.

De acordo com as medidas antropométricas e informações obtidas na avaliação é possível realizar o processo de modelagem e impressão da prótese. Depois de receber o dispositivo impresso, a equipe do Instituto PEPO realiza a montagem da prótese de acordo com o modelo prescrito e mecanismo de ativação. Após a montagem é realizada a primeira prova com o usuário para efetuar possíveis ajustes e iniciar a etapa de habilitação, cujos princípios incluem: proporcionar independência nas Atividades Instrumentais de Vida Diária (AIVD) através do treino de preensão de objetos com a prótese, treino bimanual em atividades diárias. Figuras 9 e 10.

Figura 9 - Primeira prova da prótese.



Figura 10. Habilitação/Reabilitação com a prótese.



Fonte: Arquivo pessoal dos autores.

Durante o processo de habilitação/reabilitação é essencial que o profissional considere o modelo da prótese e mecanismo de ativação para flexão do punho/flexão de cotovelo, flexão os dedos, abrir e fechar a mão além de treinar com o usuário para a colocação e retirada da prótese. O acompanhamento do uso da prótese deverá ser realizado trimestralmente e no momento da alta, o profissional deve orientar o usuário e a família sobre o posicionamento e uso correto do dispositivo, higiene e verificação de pontos de pressão, além de realizar vistoria de rotina para identificar: parafusos folgados, rachaduras, integridade do nylon e velcro.

CONCLUSÕES

Poucos estudos científicos desenvolvem ferramentas que auxiliem na adaptação à prótese de extremidade superior e mão. O proto-

colo de habilitação/reabilitação elaborado pelo Instituto PEPO é o primeiro protocolo para usuários de próteses 3D. Tal enfoque pode ser útil tanto para a equipe que reabilita o amputado, como para os profissionais que confeccionam os componentes protéticos. A implementação do protocolo em grupos interdisciplinares que desenvolvem próteses através da manufatura aditiva fornecerá informações importantes para estabelecer condutas e direcionamento nas tomadas de decisão de acordo com cada etapa do processo de confecção.

Além disso, os resultados obtidos permitiram a elaboração da proposta apresentada ao Programa de Pós-graduação *Stricto sensu* em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI CIMATEC que visa o desenvolvimento de um modelo computacional que visa reduzir o elevado grau de incertezas e eliminar a necessidade de recorrer a trabalho manual para aquisição de parâmetros antropométricos. Será incluído na implementação do modelo o protocolo de habilitação/reabilitação, escaneamento da superfície corporal e envio destes parâmetros para o software que faz a modelagem da prótese. Recomenda-se que novos estudos sejam desenvolvidos para melhorar a adaptação dos usuários de próteses para membro superior e mão.

REFERÊNCIAS

AGNELLI, L. B; TOYODA, C. Y. Estudos de materiais para a confecção de órteses e sua utilização prática por terapeutas ocupacionais no Brasil. *Cadernos de terapia ocupacional da UFSCar*, v. 11, n. 2, p. 83-95, 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde. *Guia para Prescrição, Concessão, Adaptação e Manutenção de Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção / Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção Especializada à Saúde, Departamento de Atenção Especializada e Temática*. – Brasília: Ministério da Saúde, 2019.

_____. Secretária Nacional, de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. *Cartilha do Censo 2010*. Brasília, DF, 2012. p. 6, 12. Disponível em: <https://bibliotecadigital.mdh.gov.br//jspui/handle/192//754>. Acesso em 21 de jul.2020.

_____. *Técnico em órteses e próteses*: livro-texto/ Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. Departamento de Gestão do Trabalho na Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Gestão Trabalho e da Educação na Saúde. *Confecção e manutenção de órteses, próteses e meios auxiliares de locomoção: confecção e manutenção de próteses de membros inferiores, órteses suropodálicas e adequação postural em cadeira de rodas /* Ministério da Saúde, Secretaria de Gestão do Trabalho e da Educação na Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. *Diretrizes de atenção à pessoa amputada /* Ministério da Saúde, Secretaria de Atenção à Saúde, Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. 1. ed. 1. reimp. – Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

BRASIL.SDHPR – Secretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. 2015. Disponível em <http://www.pessoacomdeficiencia.gov.br>. Acesso em 13 de mai.2020.

BATALHA et al. *Amputações e Malformações Congênitas do membro superior na População Pediátrica* – Revisão de 27 anos. *Revista da Sociedade Portuguesa de Medicina Física e de Reabilitação*, v.17, nº 1,2009.

BERSCH, R. *Introdução a Tecnologia Assistiva. Tecnologia e Educação*. Porto Alegre. 2013. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br/tassistiva.html>. Acesso em 19 de julh.2020.

BERSCH, R. *Introdução à Tecnologia Assistiva*. Porto Alegre.RS.2017. Disponível em: <http://www.assistiva.com.br>.Acesso em 19 de julh.2020.

CARVALHO, J. A. *Órtese: um recurso Terapêutico Complementar*. Manole, 2. Ed. P. 105-121, - Barueri -SP, 2013.

CARVALHO, F. S.; KUNZ, V. C.; DEPIERI, T. Z.; CERVELINI, R. *Prevalência de amputação em membros inferiores de causa vascular: análise de prontuários*. Arq. Ciênc. Saúde Unipar, Umuarama, 9(1), jan./abr. p.23-30, 2005.

CHAMLIAN, T.R.; INGHAM, S.J.M.; CARDOSO, C.M.C. Próteses. In: JARDIM, J.R.; NASCIMENTO, O. A. *Guia de Reabilitação*. Barueri, São Paulo: Manole, 2010.

CREFITO-8. *Prescrição de Órteses e Próteses pelo Fisioterapeuta e Terapeuta Ocupacional*: Dr. Cleverson Fragoso, conselheiro do CREFITO-8. Publicado: Terça, 03 de Dezembro de 2013, 12h35. Disponível em: <https://www.crefito8.gov.br/pr/index.php/sala-de-imprensa/noticias/1254-prescricao-de-orteses-e-proteses-pelo-fisioterapeuta-e-terapeuta-ocupacional-dr-cleverson-fragoso-conselheiro-do-crefito-8>. Acesso em: 18 jul. 2020.

D'APUZZO, N. Recent Advances in 3D Full Body scanning with applications to fashion and apparel. In OPTICAL 3D MEASUREMENT TECHNIQUES, 9, 2009, Viena. *Anais eletrônicos*. Viena, Austria, 2009.

e-NABLE Brasil. Comunidade Global. Disponível em <http://www.e-nablebrasil.org/wp>. Acesso em 02 fev. 2020.

GALVÃO FILHO, T. A. A Tecnologia Assistiva: de que se trata In: MACHADO, G. J. C.; SOBRAL, M. N. (Orgs.). *Conexões: educação, comunicação, inclusão e interculturalidade*. 1 ed. Porto Alegre: Redes Editora, p. 207-235, 2009.

GALVÃO FILHO, T. Tecnologia Assistiva :favorecendo o desenvolvimento e a aprendizagem em contextos educacionais inclusivos. In : GIROTO, C. R. M. ; OMOTE, S. (Org.). *As tecnologias nas práticas pedagógicas inclusivas*. Marília/SP : Cultura Acadêmica , p. 65-92, 2012.

LUXIMON, Y.; BALL, R.; JUSTICE, L. The 3D Chinese head and face modeling. *Computer-Aided Design*, v. 44, p. 40–47, 2012.

LU, J.; WANG, M. J. Automated anthropometric data collection using 3D whole body scanners. *Expert Systems with Applications*, v. 35, n. 1-2, p. 407–414, 2008.

NORTON, J.; DONALDSON, N.; DEKKER, L. 3D whole body scanning to determine mass properties of legs. *Journal of biomechanics*, v. 35, n. 1, p. 81-86, 2002.

NORTON, K; OLDS, T. *Antropométrica: um livro sobre medidas corporais para o esporte e cursos da área da saúde / Trad. Nilda Maria Farias de Albernaz*. Porto Alegre: Artmed, 2005.

OMS, *Um Manual Prático para o Uso da Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde (CIF)*. Versão preliminar para discussão. Outubro de 2013. Genebra.

_____. *Relatório Mundial Sobre a Deficiência/World Health Organization*, The World Bank; Tradução Lexicus Serviços Linguísticos, - São Paulo: SEDPcD, 2012.

PEIXOTO *et al.* Prevalência de amputações de membros. *Fisioter Pesqui.* 2017; 24(4): 378-384.

SAURON, F. N. Órteses para membro superiores. In: TEIXEIRA, E *et al.* *Terapia Ocupacional na Reabilitação Física*. São Paulo: Roca, 2003, p. 265-96.

SILVA, F. *Usinagem de Espumas de Poliuretano e Digitalização Tridimensional para Fabricação de Assentos Personalizados para Pessoas com Deficiência*. 2011. 192p. (Tese de Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - UFRGS, Porto Alegre, 2013.

SILVA *et al.* *Análise dos fatores de risco relacionados às amputações maiores e menores de membros inferiores em hospital terciário*. *J Vasc Bras*. 2017. Jan.- Mar.; 16(1): 16-22.

SIMMONS, K. P. *Body measurement techniques: a comparison of threedimensional body scanning and physical anthropometric methods*. 2001. 76p. (Tese de Doutorado) e Ph.D. degree in Textile Technology and Management - NCSU, North Carolina State University, 2011.

TOMKINSON, G, SHAW, L. Quantification of the postural and technical errors in asymptomatic adults using direct 3D whole body scan measurements of standing posture. *Gait & Posture*, V. 37, P. 172–177, 2013.

TONG, J. *et al.*. Scanning 3d full human bodies using kinects. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 18, n. 4, p. 643-650, 2012.

WANG, M. *et al.* Automated anthropometric data collection from three-dimensional digital human models. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 32, n. 1-2, p. 109-115, 2007.

_____. A new user-centered design approach: A hair washing assistive device design for users with shoulder mobility restriction. *Applied Ergonomics*, v. 40, n. 5, p. 878-886, 2009.

9

*Flavio de Souza Marinho
Renelson Ribeiro Sampaio
Roberto Luiz Souza Monteiro*

CONSTRUÇÃO DO MODELO EVOLUTIVO DE RELAÇÕES SIMBIÓTICAS PARA A INOVAÇÃO (MERSI): DESAFIOS E OPORTUNIDADES

DOI: [10.31560/pimentacultural/2021.707.244-272](https://doi.org/10.31560/pimentacultural/2021.707.244-272)

RESUMO:

Este trabalho analisa o processo de construção e avaliação do Modelo Evolutivo de Relações Simbióticas para a Inovação (MERSI). O presente trabalho é de natureza teórica e, portanto, propõe-se a explorar os desafios enfrentados no desenvolvimento do Modelo e apontar oportunidades de desdobramentos futuros. Trata-se de um modelo que simula a propensão a estabelecer relações simbióticas mutualísticas entre corporações e startups em programas de inovação aberta. O MERSI identifica os pares com maior complementaridade de ativos estratégicos necessários para a criação e captura do valor dos projetos de inovação e, portanto, se as relações promovem ganhos para ambas as partes.

PALAVRAS-CHAVE: Inovação Aberta; Engajamento Corporativo com Startups; Ativos Estratégicos para a Inovação; Complementariedade; Simbiose.

INTRODUÇÃO

Modelagem e simulação desempenham papéis cada vez mais importantes na vida contemporânea, contribuindo para a compreensão do comportamento de diversos fenômenos. Dentre estes, destacam-se os Sistemas Complexos, caracterizados por serem compostos por muitos componentes ou agentes, que interagem entre si de maneira não linear, sem ter controle central e apresentam comportamento emergente coletivo. Excetuando algum estado ou equilíbrio assintótico, sistemas complexos são sistemas em processo, que evoluem e se desenvolvem constantemente ao longo do tempo (ARTHUR, 1999; NEWMAN, 2011).

Neste contexto, emerge o entendimento das organizações como sistemas abertos e complexos, em constante interação e intercâmbio com o ambiente externo (BERTALANFFY, 2008). Ou seja, “assim como os organismos vivos, as organizações estão abertas ao ambiente no qual estão inseridas e precisam manter uma relação adequada com o mesmo, caso queiram sobreviver”. Destaca-se ainda que tais organizações possuem características peculiares em relação aos organismos vivos, uma vez que possuem a capacidade de ampliar seu ciclo de vida, por meio de reorganizações estruturais, que dão origem a novas configurações, estando mais suscetíveis às turbulências, mas que podem aumentar suas chances de sobrevivência. Organismos desta natureza caracterizam-se como Sistemas Complexos Adaptativos (LACERDA, 2018).

Teece (2004) sintetiza a compreensão de que empresas são repositórios de conhecimentos, embutidos em processos e rotinas, que sustentam os ativos e as competências específicas destas. Para ele, a essência da empresa é sua capacidade de criar, transferir, organizar, integrar e explorar ativos de conhecimento e são eles que sustentam suas competências. As competências, por sua vez, sustentam a oferta de produtos e serviços ao mercado (TEECE, 2004).

Assim, compreende-se que um recurso econômico fundamental na economia contemporânea é o conhecimento, o que ressalta a importância sobre como gerenciar os processos de obtenção de vantagens competitiva a partir dele (CARLSSON, 2004).

Diante de cenários competitivos cada vez mais complexos e imprevisíveis, fruto de rupturas tecnológicas, crescimento da competição global, mudanças estruturais na economia (BENNET; BENNET, 2004), as organizações empresariais têm observado a crescente relevância do papel da inovação, e, portanto, o necessário processo de geração e difusão de conhecimentos que sustentem competências e, por sua vez, produtos, serviços e processos novos ou melhorados, que permitam estabelecer vantagens competitivas perante seus concorrentes (TIDD, 2006).

Nestes termos, grandes empresas, também denominadas de corporações, têm percebido a necessidade de estabelecer novas estratégias e processos de inovação como forma de acelerarem o desenvolvimento de novos produtos, processos ou, ainda, identificarem oportunidades de migração para novos setores, tecnologias e modelos de negócio. Assim, a colaboração com *startups* emerge como uma importante alternativa para a formulação de novas estratégias de inovação (KOHLENER, 2016; MOCKER; BIELLI; HALEY, 2015; SCHÄTTGEN; MUR, 2016; WEIBLEN; CHESBROUGH, 2015).

Apesar do crescente interesse sobre o tema, trata-se de um campo recente de pesquisa acadêmica, com literatura escassa e concentrada, principalmente, em publicações com caráter descritivo a respeito das práticas adotadas pelo mercado nos últimos anos (PETER; BACK; WERRO, 2019; SPENDER et al., 2017).

Frente ao propósito de ampliar o entendimento acerca dos processos de cooperação entre *startups* e corporações, Marinho (2020) propôs o Modelo Evolutivo de Relações Simbióticas para a Inovação - MERSI, a partir da sua pesquisa de doutorado.

Com base no conceito da simbiose, a colaboração entre diferentes organismos, o MERSI simula a propensão ao serem estabelecidas relações mutualísticas - ou seja, que gera ganhos mútuos para ambas as partes - entre corporações e *startups* em programas de inovação aberta. Ele identifica os pares de organizações com maior complementaridade de ativos estratégicos necessários para a geração e captura do valor dos projetos de inovação e indica se esse relacionamento promove ganhos para ambas as partes. O modelo foi aplicado em um estudo de caso único, com subunidades de análise incorporadas. Os resultados mostram uma correlação entre as simulações e a seleção das *startups* efetivamente realizada pela corporação (MARINHO, 2020).

Este trabalho objetiva, portanto, descrever o processo de construção e avaliação do MERSI. Desta forma, visa consolidar e compartilhar os aprendizados derivados da sua construção, bem como propor desdobramentos e investigações futuras neste campo.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção aborda as principais perspectivas teóricas utilizadas na construção do MERSI.

O CONTEXTO:

A Importância da Inovação na Contemporaneidade

Caracterizada por ser um campo de conhecimento relativamente recente, grande parte da literatura sobre a inovação divide-se entre duas grandes vertentes de pesquisa: uma enfatiza a importância da criação dos novos negócios a partir da iniciativa individual dos

empreendedores; e, outra linha se concentra em discutir o papel e as formas das grandes corporações promoverem a inovação, seja por meio dos esforços internos ou em cooperação com outros atores. Na maior parte das publicações, em ambas as linhas de pesquisa, a contribuição de Schumpeter é citada como uma inspiração (HAGEDOORN, 1996).

Diante deste debate histórico, mas, principalmente, observando o cenário contemporâneo, Freeman e Engel (2007) sintetizam o entendimento a respeito deste campo ao afirmar que “a inovação refere-se a um processo que começa com uma ideia nova e termina com a introdução no mercado, com sucesso. A invenção por si só não é uma inovação”.

AS STARTUPS E SEUS PRINCÍPIOS NORTEADORES

Não há consenso até o presente sobre a definição do que são *startups*. Aspectos como tempo de criação da empresa, porte, adoção de tecnologias na formulação do negócio, entre outros aspectos, são critérios considerados por autores, em diferentes perspectivas, para definir este novo tipo de organização humana. Para fins dessa pesquisa foi considerada uma startup “uma organização construída para encontrar um modelo de negócios repetível e escalável” (BLANK; DORF, 2012), ou ainda “uma instituição humana designada a entregar um novo produto ou serviço sob condições de extrema incerteza” (RIES, 2011). Por ter natureza temporária, as *startups* podem transformar-se, posteriormente, em novos negócios economicamente sustentáveis e que, portanto, à medida em que amadurecem, evoluem para se transformarem em empresas maduras.

Atualmente, para suportar o surgimento e o processo evolutivo destas *startups*, um sistema de instituições de apoio tem

se consolidado para dar apoio a novos empreendimentos desde seus primeiros dias. Investidores de risco, assim como incubadoras e aceleradoras, espaços de co-working e programas de apoio financiados pelo governo são alguns dos instrumentos à disposição dos novos empreendedores (WEIBLEN; CHESBROUGH, 2015).

Além dessas instituições de apoio, os novos empreendedores têm acesso atualmente a vasto repertório de novas metodologias e ferramentas que se propõem a orientar seu desenvolvimento, o que constitui um quadro teórico e cultural que caracteriza em grande parte os indivíduos envolvidos em novos empreendimentos. Em um artigo que se tornou emblemático, Steve Blank (2013) defende que um grupo de propostas teóricas emergiram em torno de uma motivação comum, que residia na busca pela redução das taxas de insucesso no desenvolvimento de novos negócios de base tecnológica. Antes disso, segundo o autor, as taxas de insucesso dos novos empreendimentos giravam em torno de 75%.

Além dos princípios propostos pelo campo da *Startup* Enxuta (RIES, 2011), outros quadros teóricos, métodos, e ferramentas para orientar empreendedores a desenvolverem novos negócios são hoje bastante populares na literatura. Dentre as principais perspectivas destacam-se o Customer Development (BLANK, 2006), o Business Model Canvas (OSTERWALDER *et al.*, 2010), Design Thinking (BROWN; KÄTZ, 2009) e o Desenvolvimento Ágil (SHORE; WARDEN, 2008).

A adoção destes trabalhos tem gerado uma cultura empresarial e processos muito distintos das práticas tradicionais adotadas pelas grandes empresas, com expectativas de impacto no tempo da geração dos resultados, redução de investimentos e acentuação do grau de inovação, ruptura (FREDERIKSEN; BREM, 2017).

Por outro lado, a diversificação dos instrumentos de financiamento às iniciativas das *startups* têm contribuído para que elas consigam

transformar suas ideias em práticas efetivas e muitas geram resultados econômicos relevantes, retroalimentando este mercado de capitais (MORITZ; BLOCK; HEINZ, 2015). Trata-se de diversas modalidades e mecanismos de financiamento. A adequação de cada instrumento depende muito do estágio de desenvolvimento da *startup*, e portanto do risco associado, do dimensionamento das suas necessidades de capital e de fatores estratégicos, que podem derivar a escolha de fontes que tragam outros benefícios além dos recursos financeiros, tais como acesso a mercado, rede de conexões, ou ainda, em virtude das decisões dos empreendedores em relação à diluição da sua participação no capital da empresa (STARTUP EXPLORE, 2014).

AS CORPORAÇÕES, SUAS BARREIRAS E MOTIVAÇÕES PARA INOVAR

O termo corporação é usado associado a diversos conceitos, que não necessariamente têm o mesmo significado. Neste trabalho, da mesma forma como postulado por Thieme (2017), será assumida a definição de corporação como uma empresa estabelecida e projetada para executar um modelo de negócios dominado, ou seja, que é praticado por outras organizações similares, sendo este modelo repetitivo e voltado para atuação em grande escala.

Estas Corporações caracterizam-se por condições que retardam ou dificultam a inovação (FREEMAN; ENGEL, 2007; LEONARD-BARTON, 1998; SPENDER *et al.*, 2017; THIEME, 2017; WEIBLEN; CHESBROUGH, 2015), muitas vezes decorrentes da sua própria trajetória e, paradoxalmente, decorrentes de fatores que foram origens de suas vantagens competitivas no passado (LEONARD-BARTON, 1998).

A literatura aponta uma série de barreiras que retardam ou dificultam a inovação. Estas mesmas barreiras, em parte, justificam o desejo das grandes corporações de se engajar com *startups* ágeis e inovadoras, tais como: (1) a barreira cognitiva para perceber oportunidades de inovações radicais; (2) o foco na inovação incremental; (3) rotinas organizacionais e estruturas burocráticas; (4) dependência de recursos; (5) medo da canibalização; (6) falta de cultura empreendedora; (7) políticas internas e estrutura de poder; (8) lacunas de competências (THIEME, 2017). Em síntese, as corporações precisam se engajar com *startups* porque suas organizações tendem a se concentrar no avanço de seus negócios atuais, em vez de explorar novas áreas de negócios. Desta forma, este foco faz com que a cognição corporativa, a estratégia, as estruturas e as capacidades sejam orientadas para a exploração do negócio predominante, mantendo uma inércia e uma incapacidade geral de inovar radicalmente (THIEME, 2017).

No mesmo sentido, Leonard-Barthon (1998), ao analisar as condições centrais (*core capabilities*) que contribuem ou restringem a inovação, nos processos de desenvolvimento de produtos, destaca que, muitas vezes, valores, habilidades, sistemas gerenciais e sistemas técnicos que serviram bem à empresa no passado e podem ainda ser totalmente apropriados para alguns projetos ou partes de projetos, são experimentados por outras iniciativas como restrições fundamentais, ou seja, conjuntos inapropriados de conhecimento.

Capacidade Centrais (*Core Capabilities*) não é um conceito novo e foi denominada de diferentes formas por distintos autores, tal como Teece (2004), que estuda a respeito dos Ativos Estratégicos para a Inovação. Compreende-se que as capacidades são consideradas essenciais se elas puderem diferenciar estrategicamente uma empresa. Em contraposição, a rigidez central (*core rigidities*) é o outro lado das capacidades centrais.

As Capacidades Centrais, quando institucionalizadas, podem levar à inércia da organização diante de mudanças ambientais. As

descontinuidades tecnológicas podem, por exemplo, aumentar ou destruir as competências existentes dentro de uma indústria. Tais mudanças no ambiente externo ressoam dentro da organização, de modo que mesmo inovações “aparentemente pequenas” podem minar a utilidade do conhecimento profundamente enraizado. De fato, conforme defendeu Schumpeter (1942), toda inovação requer necessariamente algum grau de “destruição criativa” (LEONARD-BARTON, 1998).

Assim, os mercados estão evoluindo e a sobrevivência das empresas depende de gerenciar com sucesso essa evolução. Novas competências centrais precisam emergir e substituir as antigas para permitir o surgimento de inovações. Compreende-se, sob esta ótica, que se em um dado momento as Capacidades Centrais geram vantagens competitivas, estas condições exercem papéis tão preponderantes nas organizações que podem terminar por estabelecer restrições (*Core Rigidities*) para que a inovação venha a acontecer em algum momento posterior. Tratam-se de condições profundamente incorporadas às empresas e que se tornam criadores de problemas. Embora a Rigidez Central seja mais problemática para projetos que pretendem criar novas capacidades não tradicionais para a empresa, elas podem afetar todos os projetos – mesmo aqueles que são razoavelmente congruentes com as capacidades básicas atuais (LEONARD-BARTON, 1998).

Dentre as possíveis dimensões das condições de Rigidez Central, Leonard-Barton (1998) destaca as (1) Habilidades e Conhecimentos desenvolvidos pelo time da empresa ao longo da sua existência, fruto dos projetos, produtos e negócios que predominaram nos últimos tempos; os (2) Sistemas Tecnológicos, entendidos como o conjunto de equipamentos, softwares, plataformas tecnológicas dominados ou desenvolvidos pela empresa; os (3) Sistemas de Gestão, que compõem o conjunto de práticas, processos, e estrutura organizacional adotadas; os (4) Valores predominantes, que refletem o status quo daquela organização e destacam-se, especialmente, aqueles que estimulam

ou desestimulam a inovação – descentralização do poder nas lideranças intermediárias, valorização de competências não dominantes, aversão ao erro, entre outras (LEONARD-BARTON, 1998).

A severidade do impacto gerado pelas condições de Rigidez Centrais depende tanto do número quanto dos tipos de dimensões que compreendem uma rigidez central. Quanto mais dimensões representadas, maior o desalinhamento potencialmente experimentado (LEONARD-BARTON, 1998).

Teece e Pisano (2003) reforçam a teoria e afirmam que a história é importante para explicar as condições que explicam a probabilidade de surgimento da inovação. Assim, os investimentos anteriores de uma empresa e seu repertório de rotinas - sua história - restringem seu comportamento futuro.

O QUE É ENGAJAMENTO CORPORATIVO COM *STARTUPS*

O Engajamento Corporativo com *Startups* é um conceito que emerge do campo da Inovação Aberta, sendo compreendido como seu subconjunto e uma forma de sua implementação (THIEME, 2017).

A Inovação Aberta é um conceito proposto, em 2003, por Henry Chesbrough, referindo-se à abertura das fronteiras das organizações, no sentido de permitir o uso de ideias internas e externas nos processos de inovação por essas organizações. No entendimento da Inovação Aberta, um elemento central é o reconhecimento de que, a vantagem competitiva pode vir da criação de novos processos de entrada, ou seja, compreender e desenvolver estratégias para que seja possível alavancar as descobertas dos outros para desenvolver soluções que não dependeriam de sua própria pesquisa e desenvolvimento. Além

disso, propõe-se a inovação aberta de saída, sugerindo que, em vez de depender inteiramente de caminhos internos para se alcançar o mercado, as empresas podem procurar organizações externas com modelos de negócios mais adequados para comercializar uma determinada tecnologia (CHESBROUGH, 2003).

Chesbrough (2003), ao definir a Inovação Aberta, já apontou *startups* como um importante veículo para a transferência do conhecimento para o mercado. Na sua concepção mais recente, destaca-se o papel das *startups* como um ator chave para explorar o poder de inovação ao longo de todo o funil de inovação aberta. Ao examinar como grandes corporações da indústria de tecnologia têm estabelecido práticas de cooperação com *startups*, 12 anos depois, Weinblen e Chesbrough (2015) estabeleceram pela primeira vez o conceito de Engajamento Corporativo com *Startups*. Entende-se, desta forma, o Engajamento Corporativo com *Startups* pode ser resumido como “o ato corporativo de criar, interagir, colaborar, investir e ou adquirir startups” (THIEME, 2017).

Do ponto de vista científico, o fenômeno da *startup* e da inovação aberta estão intimamente relacionados. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, Spender *et al.* (2017) observam que a inovação aberta representa um importante caminho para que as grandes corporações possam alcançar maior agilidade no desenvolvimento de novas ofertas de valor para o mercado, com menos custo e maior dinamismo frente a uma intensa revolução tecnológica em curso. Por outro lado, segundo os autores, a existência de relacionamentos com parceiros externos é uma prioridade para o sucesso de startups. Para as *startups*, a falta de recursos tangíveis e intangíveis é um obstáculo ao desenvolvimento dos processos de inovação. A adoção de práticas de inovação aberta, portanto, é uma necessidade para superar tanto a responsabilidade da novidade quanto as limitações do seu porte (SPENDER *et al.*, 2017).

Apesar da definição carregar uma forte perspectiva corporativa, isso não significa que as *startups* não tenham nenhum papel ou responsabilidade no engajamento. O processo é claramente caracterizado por um tráfego de mão dupla, em que as *startups* podem, com a mesma frequência, assumir a liderança na criação de uma colaboração com corporações (THIEME, 2017).

A inovação aberta representa um importante caminho para que as grandes corporações possam alcançar maior agilidade no desenvolvimento de novas ofertas de valor para o mercado, com menos custo e maior dinamismo frente a uma intensa revolução tecnológica em curso. Por outro lado, segundo os autores, a existência de relacionamentos com parceiros externos é uma prioridade para o sucesso de *startups*. Para as *startups*, a falta de recursos tangíveis e intangíveis é um obstáculo ao desenvolvimento dos processos de inovação. A adoção de práticas de inovação aberta, portanto, é uma necessidade para superar tanto a responsabilidade da novidade quanto às limitações do seu porte (SPENDER *et al.*, 2017).

Neste movimento, as práticas de engajamento corporativo com *startups* têm se diversificado como forma de atender aos objetivos estratégicos das corporações e aos diferentes papéis que têm sido pretendidos para as empresas iniciantes. Para definir as melhores ferramentas de engajamento, há um consenso de que a principal questão que uma empresa precisa responder é quais objetivos ela deseja alcançar. Para Mocker, Bielli e Haley (2015), cada um dos mecanismos atende a diferentes objetivos corporativos. No mesmo sentido, Weiblen e Chesbrough (2015) defendem que corporações estão tentando colaborar com *startups* para transformá-las em motores de inovação corporativa. Para tanto, os autores preconizam que primeiro, as corporações devem ser capazes de selecionar, identificar, trabalhar e monitorar um número maior de *startups* do que antes, uma vez que o ecossistema de *startups* está crescendo e se dispersando

globalmente. Em segundo lugar, eles devem estar cientes de sua proposta de valor na relação com uma *startup*, ou seja, como eles podem agregar valor a startups que já têm acesso a investidores de risco, incubadoras e outras instituições de suporte independentes. Por fim, eles devem ter clareza sobre o que desejam obter de seu engajamento com *startups*, ou seja, como os objetivos estratégicos da corporação devem determinar os modelos certos de engajamento que empregam ao trabalhar com *startups*.

Observa-se, diante disso, a importância da questão do alinhamento estratégico entre as ferramentas de engajamento corporativo com *startups* e os objetivos estratégicos das Corporações. No mesmo sentido, Thieme (2017) defende que é necessário para as grandes corporações prestar atenção ao alinhamento entre as estratégias corporativas, as estratégias de inovação, as formas de atuação pretendidas em relação à inovação aberta e, dentro disso, considerar o engajamento com *startups*, bem como as formas de alcançar os objetivos estabelecidos (THIEME, 2017).

O PAPEL DOS ATIVOS ESTRATÉGICOS PARA A INOVAÇÃO

O campo teórico da Competitividade Baseada em Recursos compreende uma empresa como um amplo conjunto de recursos (tangíveis e intangíveis), ou seja, ativos, que estão à disposição para a formulação de estratégias que façam frente ao mercado em busca de vantagens competitivas, que lhes permita alcançar rendas econômicas, ou retornos acima do normal (DAS; TENG, 2000). Entende-se, portanto, que um recurso é valioso na medida em que ajuda a empresa a criar estratégias que capitalizam as oportunidades e afastam as ameaças.

Teece (1998) sintetiza e propõe o entendimento de que empresas são repositórios de conhecimentos, que estão embutidos em processos e rotinas, as quais sustentam os ativos e as competências específicas destas. Para ele, a vantagem competitiva pode ser atribuída não apenas à propriedade de (1) Ativos do Conhecimento, mas também à combinação destes com outros; (2) Ativos Complementares, necessários para criar e capturar o valor do Conhecimento; e a (3) Capacidades Dinâmicas, caracterizadas por viabilizar a identificação de oportunidades de obtenção de vantagens competitivas, quanto por organizar os recursos para a exploração do seu potencial frente a estas oportunidades.

Desta forma, segundo Teece (1998), o aproveitamento de oportunidades frequentemente envolve identificar e combinar os Ativos do Conhecimento a Ativos Complementares necessários para apoiar o negócio e as Capacidades Dinâmicas, necessárias tanto para perceber as oportunidades, quanto para organizar o que for necessário para explorar seu potencial. Desta forma, ao longo dos ciclos de criação e captura de valor das inovações, diferentes Ativos Estratégicos podem desempenhar papéis mais relevantes e, inclusive representar assimetrias competitivas entre os atores envolvidos no intuito de capturar o valor destas relações.

ALGORITMOS EVOLUTIVOS SIMBIÓTICOS

Algoritmos Evolutivos são métodos que simulam processos de evolução natural (biológica), visando principalmente solucionar problemas de otimização (BARCELLOS, 2000). O crescimento deste campo junto a diversos objetos de estudo deve-se, entre outros aspectos, à capacidade de encontrar soluções para problemas complexos, e que ainda não foram resolvidos por outras técnicas computacionais, à simplicidade dos métodos que utilizam princípios básicos de Teoria da Evolução e Genética (SAMPAIO *et al.*, 2018).

Um algoritmo evolutivo é um procedimento que interage sobre um conjunto (população) de dados (indivíduos) por várias vezes (gerações). Aplicam-se conceitos biológicos adicionais, como a avaliação da aptidão (fitness) do indivíduo e dos genes, como elemento definidor dos atributos desses indivíduos. O conjunto de genes de um indivíduo é chamado cromossomo (LACERDA, 2018).

Neste campo da pesquisa, destacam-se os algoritmos genéticos e os algoritmos baseados em processos simbióticos - “evolução composicional”. Os algoritmos genéticos formam uma classe de algoritmos de pesquisa baseados na evolução natural (BARCELLOS, 2000). No entanto, um aspecto chave que não é capturado por um modelo baseado em algoritmos genéticos são os processos que ocorrem acima do nível da espécie, ou seja, entre diferentes ‘espécies’. A variação oferecida pela simbiose é qualitativamente diferente da travessia sexual, pois oferece a possibilidade de unir dois conjuntos de materiais genéticos (MILLS; WATSON, 2007; WATSON; POLLACK, 1999).

A simbiose, em sua definição geral, é a colaboração entre diferentes organismos. Frequentemente, no uso leigo, o termo é usado para se referir ao caso especial do mutualismo, onde simbiotes - organismos em relação simbiótica - são mutuamente beneficiados com a relação estabelecida (WATSON; POLLACK, 1999).

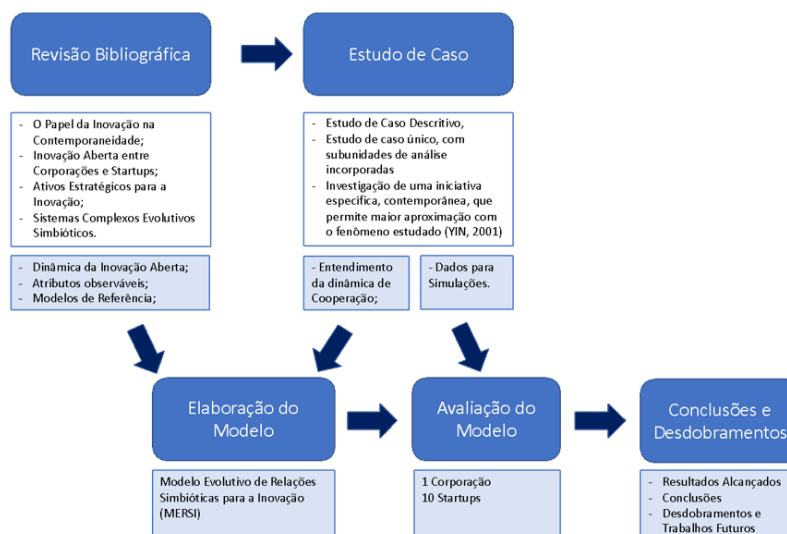
As relações simbióticas podem ser de curto, médio ou longo prazo, podem envolver indivíduos distantes ou próximos. Eles podem ser intraespecíficos, dentro das mesmas espécies, e interespecíficos, entre espécies diferentes. Estas relações, por sua vez, podem levar a processos co-evolutivos, ou resultar em pouca, ou nenhuma consequência aparente para o processo adaptativo (ASIMA; RAJAT KUMAR, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Modelo Evolutivo de Relações Simbióticas para a Inovação (MERSI) é fruto da pesquisa de Doutorado de Marinho (2020) e é demonstrado por Monteiro, Marinho e Sampaio (2020). Sob a ótica da sua natureza, o estudo pode ser classificado como uma pesquisa aplicada, uma vez que busca gerar conhecimentos para aplicação prática e solução de um problema específico. A pesquisa teve objetivo exploratório, uma vez que pretende proporcionar maior familiaridade com o problema em questão com vistas a torná-lo mais explícito (GIL, 2002).

A Figura 1, seguinte, demonstra o fluxograma do desenvolvimento da tese e consecutivamente a construção do modelo computacional, bem como as simulações e avaliação realizadas.

Figura 1: Fluxograma da Tese.



Fonte: Marinho (2020).

Sob a perspectiva dos procedimentos técnicos utilizados, o estudo foi desenvolvido inicialmente por meio de um levantamento bibliográfico de diferentes categorias teóricas relacionadas ao processo de inovação das corporações e das *startups*, à inovação aberta e ao engajamento entre estes atores, bem como de campos teóricos que contribuem para a construção do entendimento dos principais atributos de influência para a afinidade entre corporações e *startups*, tais como os Ativos Estratégicos para a Inovação. Adicionalmente, modelos computacionais baseados em Sistemas Complexos e os Algoritmos Evolutivos Simbióticos foram estudados para a concepção do modelo proposto.

A etapa empírica se iniciou com a proposição de um modelo computacional, inspirado em estudos prévios que avaliaram a formação de redes de cooperação. O MERSI compartilha algumas características de algoritmos evolutivos e, em particular, algoritmos genéticos. Bem como proposto por Monteiro *et al.*, (2014; 2015), Sampaio *et al.* (2018) e por Lacerda (2018), o modelo usa uma população de entidades representadas por cromossomos, genes e alelos - e uma função de 'fitness' para indicar a propensão a serem estabelecidas relações simbióticas. No entanto, existem diferenças importantes. Nos algoritmos evolutivos, geralmente as entidades são interpretadas como de uma mesma espécie, mas no MERSI o conjunto de entidades representa um ecossistema de espécies de diferentes naturezas.

Compreende-se que características complementares dos atores, ou seja, os cromossomos e seus genes determinam a propensão de serem estabelecidas relações de cooperação em programas de inovação aberta. Assim, os atores estabelecerão relações simbióticas se identificarem na outra parte atributos que o motivem para tal. Portanto, um ator estabelecerá relação de cooperação para a inovação em virtude de características das outras partes que representem potencial de complementariedade em relação aos seus atributos, buscando assim uma otimização da sua capacidade inovativa.

A função do *fitness* é um mapeamento da combinação de um conjunto de valores de recursos, que representa a complementariedade entre os componentes do ecossistema. Assume-se que a formação das relações simbióticas tendem a formar combinações mais adaptadas ao contexto à medida em que atendam aos interesses declarados por estas. Assume-se também que as relações entre as entidades é instável e a complementariedade, ou seja, o *fitness* pode variar no tempo.

O MERSI adota a representação de um ecossistema, formado por entidades que compõem 2 subconjuntos de diferentes espécies: 'espécie corporação' e 'espécie startup'.

Para caracterizar os indivíduos componentes do ecossistema estudado, o modelo adota a concepção proposta por Teece (1998, 2004) e propõem a representação de 3 Cromossomos, a saber: (1) Ativos do Conhecimento; (2) Ativos Complementares; e (3) Capacidades Dinâmicas.

Estes Cromossomos são codificados a partir dos Genes que o compõem. Desta forma, a codificação dos Cromossomos é dada a partir de 4 Genes, a saber: (1) Domínio em relação ao Cromossomo; a (2) Disposição para compartilhar o Cromossomo; o (3) Interesse de obter ativos adicionais relacionado àquele Cromossomo; e a (4) Facilidade de assimilar ativos adicionais relacionada àquele Cromossomo.

Tem-se assim, um conjunto de 3 Cromossomos (Ativos do Conhecimento, Ativos Complementares e Capacidades Dinâmicas), codificados por 4 Genes (Domínio, Disposição, Interesse e Facilidade). Estes Genes são codificados por Alelos que são representados por números reais positivos, em um intervalo de 1 (um) a 5 (cinco). Opta-se pela adoção de números reais e não inteiros, pois se pretende que os valores dos Alelos sejam obtidos a partir de médias simples dos valores observados nos Atributos Representativos.

Para se avaliar a propensão para o estabelecimento de relações simbióticas para a inovação entre a corporação e *startups*, adota-se uma função do *Fitness*, que representa uma extensão introduzidas no presente modelo em comparação aos anteriormente citados. Propõe-se que a Propensão da Efetivação da Relação Simbiótica (PERSI) se dará considerando as seguintes regras:

1. Se o Gene Interesse (INT) e Facilidade (FACI) de um indivíduo for similar aos Gene Domínio (DOM) e Disposição de outro (DISP);
2. Exista reciprocidade, ou seja, que o Interesse (INT) e Facilidade (FACI) da outra parte também tenha similaridade com o Domínio e Disposição da primeira;
3. Estas condições são avaliadas em cada um dos 3 Cromossomos do indivíduo – Ativos do Conhecimento, Ativos Complementares e Capacidades Dinâmicas.

Assim, o MERSI foi usado para simular as propensões para estabelecer relações simbióticas entre uma corporação e 10 *startups* candidatas a participar de um programa de inovação aberta.

Os dados foram obtidos por meio de um Estudo de Caso Descritivo (YIN, 2001), cuja principal unidade de análise está focada no Programa Corporativo de Inovação Aberta e incorpora em seu escopo de análise, além da corporação que promove a iniciativa, as *startups* que são candidatas à seleção e ao desenvolvimento de projetos de inovação.

Os dados analisados provêm das interações entre os empreendedores das *startups*, os gerentes da corporação e o profissional de uma aceleradora de negócios, responsável pela coordenação da iniciativa. Os dados estão contidos em materiais de divulgação, internet, contratos, termos de cooperação, relatórios gerenciais, e-mails, registros autorizados das entrevistas e planilhas de avaliação quantitativa e qualitativa realizadas pelos gerentes envolvidos. Portanto, é uma pesquisa documental.

As informações colhidas serviram de insumo para a avaliação dos Ativos Estratégicos da Inovação (Cromossomos) dos atores analisados, sob a ótica dos Pressupostos necessários à formação de relações de cooperação (Genes) e representados por valores entre 1 e 5 (Alelos) que codificaram as características de cada indivíduo em relação ao outro. Para tanto, foi adotada uma planilha de dados para preenchimento dos valores correspondentes aos atributos analisados, os quais são desmembrados em Indicadores e Descritores de Desempenho, que buscam parametrizar aspectos avaliados essencialmente qualitativos. Além disso, foram realizadas entrevistas com os gerentes envolvidos nas atividades, utilizando um roteiro semiestruturado, com o objetivo de validar o entendimento sobre as informações coletadas na pesquisa documental.

Os dados obtidos no Estudo de Caso, indicado anteriormente, foram utilizados para rodar simulações baseadas na função *fitness*, representada pela Propensão de Efetivação de Relação Simbiótica (PERSI). Assim, obteve-se o PERSI para cada Cromossomo e a média global dos valores observados, que é utilizada para aferir os melhores pares que possam estabelecer relações de cooperação para a inovação, com ganhos mútuos para as partes. Os resultados das simulações realizadas, bem como sua avaliação comparativa frente aos dados da avaliação efetivamente realizada pelos especialistas da corporação, estão disponíveis, a partir de Setembro de 2020, no artigo apresentado por Monteiro, Marinho e Sampaio (2020) e na tese onde se origina (MARINHO, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Merecem destaques alguns aspectos que representam desafios enfrentados na construção do Modelo, bem como oportunidades de desdobramento deste estudo, conforme sintetizado a seguir.

ESTABELECIMENTO PARÂMETROS COMUNS PARA REPRESENTAR INDIVÍDUOS DE DIFERENTES NATUREZAS E QUE, PORTANTO, PUDESSEM SER COMPARADOS

Uma das extensões propostas pelo MERSI consiste na adoção dos Ativos Estratégicos da Inovação como categoria de atributos que compõem a caracterização 'genética' dos atores potencialmente envolvidos nas relações de cooperação. Assim, esta proposta contribui para estabelecer parâmetros comuns para a representação de 'espécies' de diferentes naturezas. Assume-se, portanto, no Modelo que as 'espécies', apesar de diferentes, possuem a mesma quantidade de Cromossomos, que se diferenciam pela codificação dos seus Genes e, portanto, é a predominância da ocorrência de determinados atributos que os caracterizam como distintos.

CONCEITUAÇÃO DA COMPLEMENTARIEDADE ENTRE OS ATORES ENVOLVIDOS

A definição e a explicitação da função que avalia a complementariedade entre os indivíduos analisados é uma das principais extensões do modelo. Para isso, os autores adaptaram definições já postuladas por estudos anteriores sobre formação de redes de cooperação e propuseram condições para que exista propensão ao estabelecimento de relações simbióticas para a inovação entre 'espécies' de diferentes naturezas.

Assim, o modelo considera não apenas o Domínio dos atributos relacionados aos Ativos Estratégicos para Inovação, mas também a Disposição de compartilhar seus ativos, o Interesse em obter novos

ativos e a Facilidade de assimilação desses novos ativos. Desta forma, o Interesse e a Facilidade de uma parte são complementares ao Domínio e a Disposição da outra, e vice-versa.

AVALIAÇÃO DO MODELO

Marinho (2020) adotou como estratégia de avaliação do modelo a comparação dos resultados simulados do PERSI com a efetiva avaliação realizada por especialistas da corporação promotora do programa de inovação aberta e de uma aceleradora de negócios envolvida. Assim, os autores observaram que a classificação de 50% da amostra foi coincidente. 2 casos tiveram posições invertidas na classificação e que possuíam diferença de 0,001 pontos pelos dados obtidos do PERSI. Outros 3 casos também apresentaram diferenças na pontuação geral do PESIR na terceira casa decimal, com dispersão menor que 0,007 e estiveram em ordem diferente. Os dados estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Simulações (PERSI) Versus Avaliação por Especialistas.

	PERSI Ativos do Conhecimento	PERSI Ativos Complementares	PERSI Capacidades Dinâmicas	PERSI Médio	Classificação das Startups por Especialistas da Corporação
ST1+CORP	0,59	0,61	0,51	0,570	1
ST2+CORP	0,57	0,56	0,56	0,566	2
ST3+CORP	0,53	0,57	0,44	0,514	3
ST5+CORP	0,45	0,53	0,46	0,482	4
ST4+CORP	0,42	0,48	0,54	0,483	5
ST6+CORP	0,47	0,45	0,49	0,469	6
ST8+CORP	0,41	0,56	0,27	0,413	7
ST9+CORP	0,35	0,55	0,35	0,412	8
ST7+CORP	0,41	0,46	0,39	0,419	9
ST10+CORP	0,33	0,24	0,33	0,299	10

Fonte: Marinho (2020).

Adicionalmente, o autor analisou comparativamente a startup com melhor *fitness* com a corporação e aquela com pior indicador, entre as 10. Esta avaliação complementou o entendimento dos fatores mais contrastantes entre estas.

Cabe ressaltar que o modelo avalia a propensão a estabelecer relações simbióticas entre essas organizações de uma perspectiva estratégica. Ou seja, aspectos táticos e operacionais que podem influenciar decisões para a formação desses relacionamentos não são considerados em sua concepção (MARINHO, 2020). Assim, observa-se a oportunidade de futuros trabalhos considerarem adicionalmente outros aspectos de tomada de decisão, como a análise de questões financeiras, jurídicas, culturais, tecnológicas e de marketing, entre outros.

Finalmente, conclui-se que as simulações realizadas utilizaram dados de um programa específico de inovação aberta, com um conjunto restrito de entidades, em um setor de petróleo e gás, com *startups* que operavam em campos tecnológicos específicos. Não é possível, portanto, concluir que eles sejam aplicáveis a outros contextos (MARINHO, 2020). Estudos subsequentes que ampliem circunstâncias, perfis de empresas, setores econômicos, entre outros aspectos podem ampliar o entendimento sobre os fenômenos estudados e aprofundar a avaliação do MERSI.

SIMBIOGÊNESE

Inspirado na literatura do campo da biologia e da simbiose, é possível afirmar que, assim como na Simbiogênese, quando a relação simbiótica resulta na criação de novas espécies resultantes da integração genética dos simbiotes, é cabível especular sobre a expansão do modelo para avaliar as propensões desses pares

de organizações - que formam relações de cooperação - em se tornarem novas entidades, ou seja, de acontecerem fusões que resultem na combinação de suas características, conforme observado empiricamente em *joint ventures*, aquisições e fusões empresariais.

CONCLUSÕES

O MERSI representa uma contribuição para estudos sobre a formação de relações de cooperação e, mais especificamente, quando estão envolvidos atores de diferentes naturezas. Emerge neste estudo, assim, um olhar novo acerca do papel da complementariedade dos atributos e sua aplicação no campo da inovação aberta. Além das oportunidades de aprofundamento das avaliações do MERSI, são apontadas relevantes oportunidades de extensões.

Observa-se que a concepção original do MERSI pode permitir que estudos futuros adotem outros atributos dos atores analisados, novas escalas de avaliação e, provavelmente, a expansão de seu uso para outros tipos de organização, além de empresas e *startups*, como empresas e universidades.

Outra coisa a ter em mente é a caracterização do tipo de relacionamento simbiótico considerado neste modelo, o mutualismo. Esse tipo de associação pressupõe que, para a formação de relacionamentos entre *startups* e grandes corporações, as perspectivas das duas partes precisam ser consideradas na mesma extensão. No futuro, é possível avaliar, como na natureza, a propensão a formar relações de comensalismo e parasitismo, entre outras relações simbióticas.

REFERÊNCIAS

ARTHUR, W. B. Complexity and the Economy. *Science*, v. 284, n. 5411, p. 107 LP – 109, 2 abr. 1999.

ASIMA, T.; RAJAT KUMAR, P. Symbiotic Interactions, Law of Purposive Association and the +/+ Nature of all Co-evolution. *Indian Journal of Science and Technology*, v. 11, n. 43, p. 1–12, 2018.

BARCELLOS, J. C. H. DE. *Algoritmos Genéticos Adaptativos : Um estudo comparativo*. [s.l.] USP, 2000.

BENNET, D.; BENNET, A. The Rise of the Knowledge Organization. In: HOLSAPPLE C.W. (Ed.). *Handbook on Knowledge Management 1*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 5–20.

BERTALANFFY, L. VON. *Teoria geral dos sistemas : fundamentos, desenvolvimento e aplicações*. [s.l.] Vozes, 2008.

BLANK, S. Why the Lean Start-Up Changes Everything. *Harvard Business Review*, 2013.

_____, S.; DORF, B. *The Startup Owner's Manual : The Step-By-Step Guide for Building a Great Company*. CA, United States: K & S Ranch, 2012.

_____, S. *The Four Steps to the Epiphany Successful Strategies for Products that Win*. Second ed. [s.l.] Lulu.com, 2006.

BROWN, T.; KÄTZ, B. *Change by design : how design thinking transforms organizations and inspires innovation*. Palo Alto: HarperCollins e-books, 2009.

CARLSSON, S. A. Strategic Knowledge Managing within the Context of Networks. In: HOLSAPPLE C.W. (Ed.). *Handbook on Knowledge Management 1*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 623–650.

CHESBROUGH, H. The Era of Open Innovation. *MIT Sloan Management Review*, v. 44, n. 3, p. 35–41, 2003.

DAS, T. K.; TENG, B. S. A resource-based theory of strategic alliances. *Journal of Management*, v. 26, n. 1, p. 31–61, 2000.

FREDERIKSEN, D. L.; BREM, A. How do entrepreneurs think they create value? A scientific reflection of Eric Ries' Lean Startup approach. *International Entrepreneurship and Management Journal*, v. 13, n. 1, p. 169–189, 2017.

FREEMAN, J.; ENGEL, J. S. Models of innovation: Startups and mature corporations. *CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW*. 50 (1): 94-+ FAL 2007, v. 50, n. 1, p. 94- +, 2007.

GIL, A. C. *Como Elaborar Projetos de Pesquisa*. São Paulo: Atlas, 2002.

HAGEDOORN, J. Innovation and entrepreneurship: Schumpeter revisited. *Industrial and Corporate Change*, v. 5, n. 3, p. 883–896, 1996.

KOHLER, T. Corporate accelerators: Building bridges between corporations and startups. *Business Horizons*, v. 59, n. 3, p. 347–357, 2016.

LACERDA, R. *Um Modelo Evolutivo de Redes em Organizações sob a Perspectiva da Difusão de Conhecimento e Sistemas Complexos*. [s.l.] Centro Universitário SENAI CIMATEC, 2018.

LEONARD-BARTON, D. D. Core Capabilities and Core Rigidities: A Paradox in Managing New Product Development. *Strategic Management Journal*, v. 13, p. 111–125, 1998.

MARINHO, F. *Complementaridade de Ativos Estratégicos para a Inovação: um Modelo Evolutivo Simbiótico para a Inovação Aberta*. 2020. Tese (Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial) Programa de Pós-Graduação, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, 2020.

MILLS, R.; WATSON, R. A. Symbiosis, synergy and modularity: Introducing the reciprocal synergy symbiosis algorithm. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, v. 4648 LNAI, p. 1192–1201, 2007.

MOCKER, V.; BIELLI, S.; HALEY, C. *Winning Together: A guide to successful corporate-startup collaborations*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.nesta.org.uk>. Acesso em: 1 jun. 2019.

MONTEIRO, R. L. S. et al. An affinity-based evolutionary model of the diffusion of knowledge. *Obrta Digital*, n. 9, p. 44–57, 2015.

_____, R.; MARINHO, F.; SAMPAIO, R. Complementarity of Strategic Assets. *Obrta Digital*, n. 19, p. 149-166, 30 set. 2020.

_____, R. et al. Evolution based on chromosome affinity from a network perspective. *Physica A*, v. 403, p. 276–283, 2014.

MORITZ, A.; BLOCK, J. H.; HEINZ, A. *Financing Patterns of European SMEs: An Empirical Taxonomy*. Luxembourg: [s.n.]. Disponível em: <http://www.eif.org/news_centre/research/index.htm>. Acesso em: 31 maio. 2019.

NEWMAN, M. E. J. Resource Letter CS-1: Complex Systems. *American Journal of Physics*, v. 79, n. 8, p. 800–810, 26 jul. 2011.

OSTERWALDER, A. et al. *Business model generation : a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2010.

PETER, L.; BACK, A.; WERRO, T. A Taxonomic Framework on Prevalent Collaborative Innovation Options between Corporations and Startups. *International Journal of Digital Technology & Economy*, v. 3, n. 2, p. 63–94, 2019.

RIES, E. *The lean startup : how today's entrepreneurs use continuous innovation to create radically successful businesses*. 1st. ed. New York, US: Crown Publishing, 2011.

SAMPAIO, R. R. et al. Uma proposta de um modelo evolutivo para redes de difusão do conhecimento organizacional . p. 1–25, 2018.

SCHÄTTGEN, N.; MUR, S. *The Age of Collaboration*. Vienna: [s.n.]. Disponível em: <http://www.adlittle.de/uploads/tx_extthoughtleadership/ADL_MatchMaker_The_Age_of_Collaboration_01.pdf>.

SCHUMPETER, J. A. *Capitalism, Socialism, and Democracy*. [s.l.] Harper Perennial Modern Thought, 1942.

SHORE, J.; WARDEN, S. *The art of agile development*. [s.l.] O'Reilly Media, Inc, 2008.

SPENDER, J.-C. et al. Startups and open innovation: a review of the literature. *European Journal of Innovation Management*, v. 20, n. 1, p. 4–30, 2017.

STARTUP EXPLORE. *Understanding differences in startup financing stages*. Disponível em: <<https://startupxplore.com/en/blog/types-startup-investing/>>. Acesso em: 31 maio. 2019.

TEECE, D. D. J. Capturing Value from Knowledge Assets: The New Economy, Markets for Know-How, and Intangible Assets. *California Management Review*, v. 40, n. 3, p. 55–79, 1 abr. 1998.

_____, D. J. Knowledge and Competence as Strategic Assets. In: Holsapple C.W. (Ed.). *Handbook on Knowledge Management 1*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 129–152.

_____, D.; PISANO, G. The Dynamic Capabilities of Firms. In: HOLSAPPLE, C. W. (Ed.). *Handbook on Knowledge Management*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003. p. 195–213.

THIEME, K. *The Strategic Use Of Corporate-Startup Engagement*. 2017. Dissertação (Mestrado em Gestão da Tecnologia) - Faculdade de Tecnologias, Políticas e Gestão, Delft University of Technology. Holanda.

TIDD, J. *Innovation Models*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.460.8227&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 8 maio. 2019.

WATSON, R. A.; POLLACK, J. B. *How Symbiosis Can Guide Evolution*. (D. Floreano, J.-D. Nicoud, F. Mondada, Eds.) *Advances in Artificial Life. Anais...* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1999.

WEIBLEN, T.; CHESBROUGH, H. W. Engaging with Startups to Enhance Corporate Innovation. *California Management Review*, v. 57, n. 2, p. 66-90, 2015.

YIN, R. *Estudo de Caso: Planejamento e Métodos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.



10

*Marcos Grilo
Inácio de Sousa Fadigas
Trazíbulo Henrique Pardo Casas
Hernane Borges de Barros Pereira*

**IDENTIFICAÇÃO DE TEMÁTICAS
EM PROGRAMAS
DE MESTRADO EM MATEMÁTICA:
UMA ABORDAGEM
POR ILHAS DE REDES**

DOI: [10.31560/pimentacultural/2021.707.273-298](https://doi.org/10.31560/pimentacultural/2021.707.273-298)

RESUMO:

Os títulos de dissertações são instrumentos úteis para se compreender o foco das pesquisas produzidas e publicadas. Nesse contexto, avaliamos os títulos de dissertações de mestrado de 41 cursos de Matemática no Brasil, com o propósito de evidenciar as áreas e as temáticas no conjunto de cursos por região geográfica do país. Usamos como princípio metodológico a construção de redes ponderadas das palavras dos títulos de significado intrínseco, e a abordagem por ilhas de redes. Encontramos um nível crítico para definir o grupo de vértices (ilhas) e suas relações mais fortes, e o usamos para encontrar as áreas do conhecimento predominantes e as temáticas relevantes.

PALAVRAS-CHAVE: Ilhas de Redes; Identificação de Temática; Dissertações em Matemática.

INTRODUÇÃO

A identificação de temáticas tem relevante importância na pesquisa qualitativa. Nesse contexto, Ryan e Bernard (2000) apresentam uma comparação entre doze técnicas para descobrir temas em textos. Chen *et al.* (2008) analisaram tendências temáticas e estruturas de citações do periódico *Data and Knowledge Engineering* (DKE) no período de 1985 a 2007. Os autores identificaram tendências temáticas a partir de palavras-chave e extraíram potenciais indicadores de conteúdos examinando títulos e resumos de artigos publicados no periódico DKE, mapas conceituais, visualizações de redes e uma variedade de dados estatísticos.

Para abordar as tendências temáticas no campo da Ciência da Informação e Biblioteconomia, Oliveira *et al.* (2015) utilizaram análise qualitativa e quantitativa para identificar a temática. A abordagem quantitativa usou uma rede construída a partir das palavras-chave dos textos. Um método para investigar a temática predominante em títulos de artigos científicos foi proposto por Rodrigues *et al.* (2017). Os autores construíram redes de coautoria e redes semânticas baseadas em títulos de publicações na Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde e utilizaram centralidades de grau e de intermediação para analisar a temática relevante no campo da Saúde Coletiva.

Tendências temáticas no campo da Ciência da Informação na Espanha foram discutidas por Almeda-Gómez, Ovalle-Perandones e Perianes-Rodríguez (2017), por meio da análise de redes de co-palavras-chave e de co-citações. Foram examinadas palavras-chave, títulos, resumos e citações para identificar mudanças temporais nas tendências de pesquisas e a estrutura da base intelectual espanhola na área da Ciência da Informação. Nascimento *et al.* (2019) mapearam *hubs* de redes semânticas baseadas em resumos e palavras-chave de dissertações de mestrado e teses de doutorado para indicar temáticas

no Ensino de Física no Brasil. Os autores empregaram índices da teoria de redes complexas e centralidades para a identificação dos *hubs* nas redes semânticas estudadas.

No nosso estudo, diferentemente das abordagens citadas, tratamos de identificar as temáticas das dissertações de mestrado em matemática no Brasil, aplicando métodos quantitativos com base nas palavras de significado intrínseco nos títulos das dissertações e no peso das relações entre elas. O método consiste basicamente na construção de redes formadas pelas palavras dos títulos, submetidas a um tratamento semântico no qual duas importantes alterações nos títulos originais são feitas: i) retirada das palavras gramaticais; ii) flexão dos verbos no infinitivo (em sua forma canônica). Com estas alterações, pretende-se que a identificação da temática leve em conta o significado intrínseco das palavras usadas, supondo que os títulos indiquem com certa clareza o assunto da dissertação.

O principal objetivo da pesquisa é identificar e diferenciar as temáticas das dissertações de mestrados em Matemática, expressas por seus títulos, considerando-se o caráter regional, ou seja, como se apresenta esta temática nas cinco regiões geográficas do Brasil.

A abordagem de redes usada consistiu em empregar a definição de “ilhas”, do ponto de vista das redes complexas, como forma de identificar grupos de palavras fortemente ligadas por arestas ponderadas, cujos pesos representam a quantidade de vezes que pares de palavras aparecem nas redes de títulos. Com essa abordagem, considera-se não apenas os aspectos quantitativos das palavras, mas também as ligações estabelecidas entre elas. A propósito do tratamento via ilhas, foi necessário introduzir algumas análises das características topológicas das redes, no que diz respeito ao comportamento do tamanho das ilhas com a “submersão” de vértices, cujo propósito é identificar um nível a partir do qual as ilhas são representativas da temática. Associado ao aspecto quantitativo, comparamos as

temáticas encontradas com as áreas do conhecimento em Matemática definidas pela Capes, presentes nos cursos analisados.

TERMINOLOGIA E CONCEITOS DE REDES

A terminologia “ilhas” remete ao comportamento de grupos sociais que são ou foram conectados a outras “ilhas sociais”. Pode-se usar duas distintas analogias para encontrar ilhas em uma rede complexa, ambas tendo como finalidade detectar sub-redes importantes em uma rede:

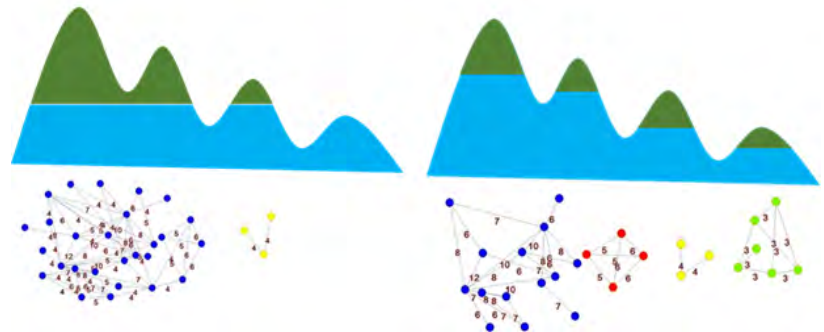
i) seja a rede comparada com uma ilha (geográfica) na qual o peso de cada aresta define a altura de um ponto na ilha. Fazendo o nível de água aumentar, uma parte da terra vai submergir. Com isso, surgem pequenas porções de terra que formam ilhas menores. Nesta abordagem, o nível da água sobe igualmente. De acordo com Batagelj e Zaveršnik (2004), em termos de redes, o procedimento para encontrar ilhas consiste em selecionar um limiar t e deletar todas as arestas com peso menor que t . A rede é reduzida a componentes isolados tais que:

- seus vértices são conectados e de tamanhos selecionados;
- todas as arestas ligando os componentes aos seus vizinhos externos têm peso menor que um valor limite t ;
- cada vértice na ilha é ligado com outro vértice na mesma ilha com uma aresta com peso no mínimo igual a t .

A este procedimento por retirada de vértices com nível constante denominamos **ilhas de nível constante**.

ii) considere agora que o nível de água sobe de forma desigual em torno de porções de terra com pontos mais altos. A diferença de abordagem é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Diferença de abordagem na determinação de ilhas em uma rede.



Fonte: Autores (2020), com base em Batagelj e Zaveršnik (2004). Em (a) ilhas de nível constante; em (b) ilhas de nível variável. Os números representam os pesos das arestas.

Este procedimento para distinguir ilhas (de arestas) é mais complexo, tanto do ponto de vista da analogia quanto do ponto de vista das ferramentas usadas para detectar as ilhas. Para esta abordagem, o algoritmo realiza contínua mudança do limiar t para identificar todas as (k, K) -ilhas maximais, ou seja, ilhas que contêm uma quantidade mínima k de vértices até ilhas que contêm uma quantidade máxima K de vértices. Estas quantidades são estabelecidas pelo pesquisador, de acordo com o problema a ser tratado. As ilhas assim definidas têm algumas propriedades, de acordo com Batagelj e Zaveršnik (2004):

- O conjunto de vértices dos componentes conectados no nível t de corte de aresta são ilhas de arestas regulares;
- Duas ilhas são disjuntas ou uma é um subconjunto da outra;
- Ilhas de arestas não dependem dos valores das arestas, somente a ordem dos valores é que importa.

O algoritmo para detecção de ilhas nesta forma está implementado no Pajek (<http://mrvar.fdv.uni-lj.si/pajek/>) e denominamos aqui de **ilhas de nível variável**.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Coleta dos dados

A base de dados usada é a mesma da pesquisa de Fadigas *et al.* (2020), e consta dos títulos das dissertações de mestrado de 41 cursos encontrados em <http://www.capes.gov.br/> (acessado em setembro de 2013) na Avaliação “Matemática (Matemática/Probabilidade e Estatística)”. Os títulos foram coletados dos programas de Matemática, Matemática Aplicada, Matemática e Estatística, Matemática Aplicada e Computacional e Matemática Pura e Aplicada, agrupadas por região geográfica das Instituições promotoras: **Centro-Oeste** (UNB e UFG); **Norte** (UFAM e UFPA); **Nordeste** (UFAL, UFBA, UFC, UFMA, UFCG, UFPB, UFPE e FUFPI); **Sudeste** (UFES, UFJF, UFMG, UFU, UFV, IMPA, PUC-RIO, UFF, UFRJ, UFRJ, UFABC, UFSCAR, UNESP- Presidente Prudente, UNESP-Rio Claro, UNESP-São José do Rio Preto, USP e USP-São Carlos); **Sul** (UEL, UEM, UFPR, UFRGS e UFSM).

CONSTRUÇÃO DAS REDES

Para a construção das redes, foram utilizados os dados dos Cadernos Indicadores da CAPES do período de 1998 a 2012, disponíveis no sítio <http://conteudoweb.capes.gov.br/conteudoweb/CadernoAvaliacaoServlet>, quando as avaliações dos programas eram feitas por triênio. A partir de 2013 a coleta passou a ser quadrienal, e os dados hospedados em outra plataforma, o que nos fez optar por analisar apenas os dados trienais, para efeito de comparação.

Foram seguidos os mesmos procedimentos em Fadigas *et al.* (2020) que, resumidamente consiste em:

- a. Organizar os títulos em arquivos de texto (extensão .txt) e retirar sinais de pontuação como vírgulas, pontos, hifens e outros sinais;
- b. Eliminar palavras gramaticais e flexionar as palavras em sua forma canônica, usando o algoritmo desenvolvido por Caldeira (2005);
- c. Gerar as redes em arquivos com extensão .net, usando o programa NetPal¹;

Seguindo os procedimentos acima, construímos 6 redes: uma rede para cada uma das cinco regiões geográficas e uma rede com os títulos de todas as dissertações. As análises e discussões principais consideram apenas as redes regionais. As propriedades principais das redes constam da Tabela 1. As redes construídas são caracterizadas como Redes Semânticas, conforme Fadigas *et al.* (2009; 2020), Pereira *et al.* (2011; 2016), Cunha *et al.* (2013), Henrique *et al.* (2014), Santana *et al.* (2015), Grilo *et al.* (2017), Rodrigues *et al.* (2017), Nascimento *et al.* (2019), aqui denominadas de Redes Semânticas de Títulos (RST). São redes ponderadas, isto é, cada aresta tem um peso correspondente à quantidade de vezes que um par de palavras ocorreu nos títulos.

Tabela 1 - Dados dos cursos e das redes para as RSTs.

RST-Região	Número de cursos	Número de títulos	Número de vértices	Número de componentes	% do tamanho do maior componente
Centro-Oeste	2	344	703	4	99,0%
Norte	2	166	552	2	99,5%
Nordeste	8	736	1228	3	99,7%
Sudeste	22	1826	2569	9	99,3%
Sul	7	609	1295	5	99,0%
Total	41	3681	4086	13	99,2%

¹ Programa desenvolvido pelo prof. Doutor José Garcia V. de Miranda e seus colaboradores.

DETERMINAÇÃO DAS ILHAS

Construídas as redes, investigações preliminares levaram a optar pela estratégia de detectar as ilhas pelo procedimento de **ilhas de nível constante**, uma vez que resultou em um maior número de vértices, em consonância com a analogia ilustrada na Figura 1, o que permite investigar os pares de vértices com maiores pesos nas arestas. Como pode ser observado na Tabela 1, o percentual do maior componente é bastante representativo das redes (acima de 99%). Portanto, para a detecção das ilhas foi considerado apenas o maior componente de cada RST.

A busca por um nível de água ideal para o propósito da pesquisa levou a uma estratégia preliminar que consistiu no seguinte: 1) submetemos o maior componente da RST de cada região à remoção de arestas com pesos sucessivamente mais altos, até atingir o valor correspondente à metade do valor máximo de peso nas arestas, no caso deste valor ser par, ou metade menos meio, no caso do valor máximo ser ímpar; 2) em cada etapa, eliminamos os vértices isolados, que representam os vértices submersos. Com este procedimento, cada componente restante da RST corresponde a uma ilha. A comparação do tamanho da maior ilha com a quantidade total de vértices da rede suscitou resultados importantes, mas não satisfatórios para estabelecer o nível de água ideal. Uma pequena alteração no procedimento descrito acima foi mais eficiente: em vez de comparar o tamanho da maior ilha com a quantidade total de vértices, comparamos com a quantidade de vértices que se mantiveram emersos, na analogia com ilhas. Associado a este procedimento, analisamos também a distribuição de frequência dos pesos das arestas de cada RST. Os detalhes destes procedimentos encontram-se em uma seção específica.

DETERMINAÇÃO DAS ÁREAS DO CONHECIMENTO PREDOMINANTES

Determinadas as ilhas no nível crítico em cada RST, procedemos a identificação das áreas do conhecimento predominantes nos programas de mestrado em Matemática. A justificativa do procedimento deve-se ao fato de que, a simples contagem dos títulos por área não revela a temática em si, mas apenas a produção de dissertações por área. Inicialmente, selecionamos todos os vértices presentes em cada ilha no nível crítico por meio da manipulação do arquivo .net de cada RST em um editor de texto, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Seleção dos vértices das ilhas no nível crítico de uma RST.

```
*Vertices 47
```

```
1 "método"  
2 "problema"  
3 "não"  
4 "linear"  
5 "hipersuperfícies"
```

O segundo passo consiste em selecionar a segunda coluna, a que contém os rótulos dos vértices, ou seja, as palavras presentes em cada ilha no nível crítico. Este procedimento pode ser realizado importando os dados selecionados em um editor de planilhas (e.g. formato .csv, .xlsx). O terceiro passo consiste em efetuar a busca por todos os títulos de dissertações que contenham pelo menos uma das palavras presentes em cada ilha no nível crítico. Para este passo, utilizamos um código livre html para busca interna sem banco de dados. Nas entradas da busca, conforme Figura 3, inserimos para cada dissertação, a região geográfica, a instituição de ensino superior,

a área do conhecimento informada pelo Programa de Pós-Graduação e as palavras tratadas e com significado intrínseco dos títulos. O uso de traço antes e depois de cada palavra é para garantir a busca exata.

Figura 3 - Entradas para busca interna.

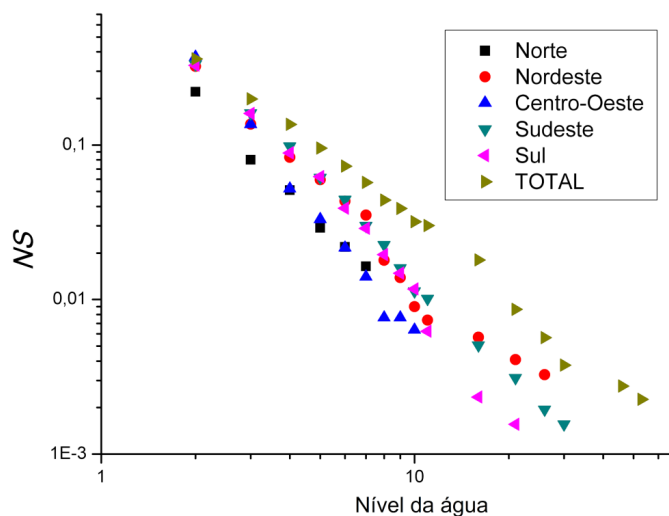
```
the_entries = new Array ();  
  
//aqui vai as entradas para a pesquisa  
  
the_entries[0] = new entry ("", "Norte-UFAM-Geometria  
the_entries[1] = new entry ("", "Norte-UFAM-Geometria  
the_entries[2] = new entry ("", "Norte-UFAM-Geometria
```

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Maior ilha relativa à quantidade total de vértices

Uma estratégia para determinar o nível de água apropriado para definir as ilhas a serem analisadas foi retirar as arestas de peso 1, encontrar o tamanho da maior ilha e dividir este valor pela quantidade total de vértices da rede. Em seguida, fez-se o mesmo processo para retirar as arestas de peso 2, encontrando-se a maior ilha e dividindo-se pela quantidade total de vértices. O processo é continuado até que sejam removidos os vértices cujo valor seja metade do valor máximo da aresta da rede, caso o valor máximo seja par ou metade menos meio, caso o valor máximo seja ímpar. Seja s o tamanho da maior ilha e n o número total de vértices da rede (maior componente). Então, o tamanho relativo da maior ilha é dado por $NS = s/n$. Na Figura 4, temos o comportamento de NS de acordo com o nível de água. A Figura 4 mostra que o comportamento de NS segue uma lei de potência, ou seja, se ajusta a uma reta na escala log-log, com R^2 acima de 0,96.

Figura 4 - Comportamento de NS em relação ao nível de água.



Nota-se da Figura 4 que o decaimento do tamanho percentual do maior componente (NS) com o aumento do nível de água é semelhante entre si para o grupo de redes RST_Nordeste, RST_Sudeste e RST_Sul e para o grupo de redes RST_Norte e RST_Centro-Oeste. Significa que a retirada de arestas ponderadas do maior componente segue o mesmo padrão nos dois grupos, ou seja, a proporção de arestas em um determinado nível é equivalente para as redes dos mesmos grupos. Nota-se também que as redes do grupo RST_Nordeste, RST_Sudeste e RST_Sul são as que apresentam os maiores pesos nas arestas, pois são aquelas que têm os maiores níveis de água (até a metade do pico). A diferença na posição das retas de ajuste entre os dois grupos deve-se ao menor tamanho relativo das maiores ilhas no grupo de redes RST_Norte e RST_Centro-Oeste. A linha de ajuste da rede RST_TOTAL mostra que, quando as redes por região são juntadas, os maiores componentes em cada nível de água tornam-se proporcionalmente maiores que aqueles das redes individuais. A razão

desse comportamento deve-se ao fato de que novas ligações surgem entre as palavras e as ligações já existentes nas redes separadas faz aumentar o peso nas arestas da RST_TOTAL. A Figura 4 também mostra que há uma mudança discreta no comportamento das redes por região entre os níveis de água 7 e 10, mas ainda não torna claro o valor ideal do nível a ser usado para a análise da temática.

DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DOS PESOS DAS ARESTAS E MAIOR ILHA RELATIVA À QUANTIDADE DE VÉRTICES EMERSOS.

Apesar da estratégia do cálculo de *NS* lançar luzes sobre propriedades importantes das ilhas, ainda não responde à questão de definir o nível ideal de água para o qual as ilhas restantes ensejam um vocabulário cujas palavras e suas ligações expressem a temática das dissertações por região geográfica. Para alcançar tal objetivo, empregamos duas outras estratégias: distribuição de frequência dos pesos das arestas e comparação da maior ilha relativa à quantidade de vértices emersos.

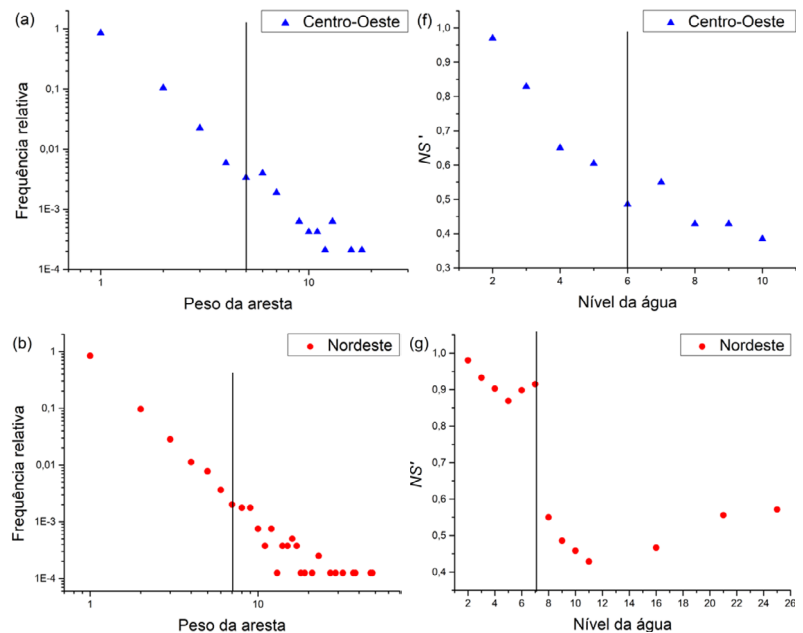
A distribuição de graus dos vértices de uma rede é uma propriedade usada com frequência na literatura de redes. Por outro lado, não se pode dizer o mesmo sobre a distribuição dos pesos das arestas em uma rede ponderada. Para as RSTs, calculamos a distribuição de frequência dos pesos, isto é, a quantidade relativa de pares de palavras com certo peso, em relação à soma dos pesos da rede. Os resultados são apresentados nas Figuras 5a, 5b, 5c, 5d e 5e.

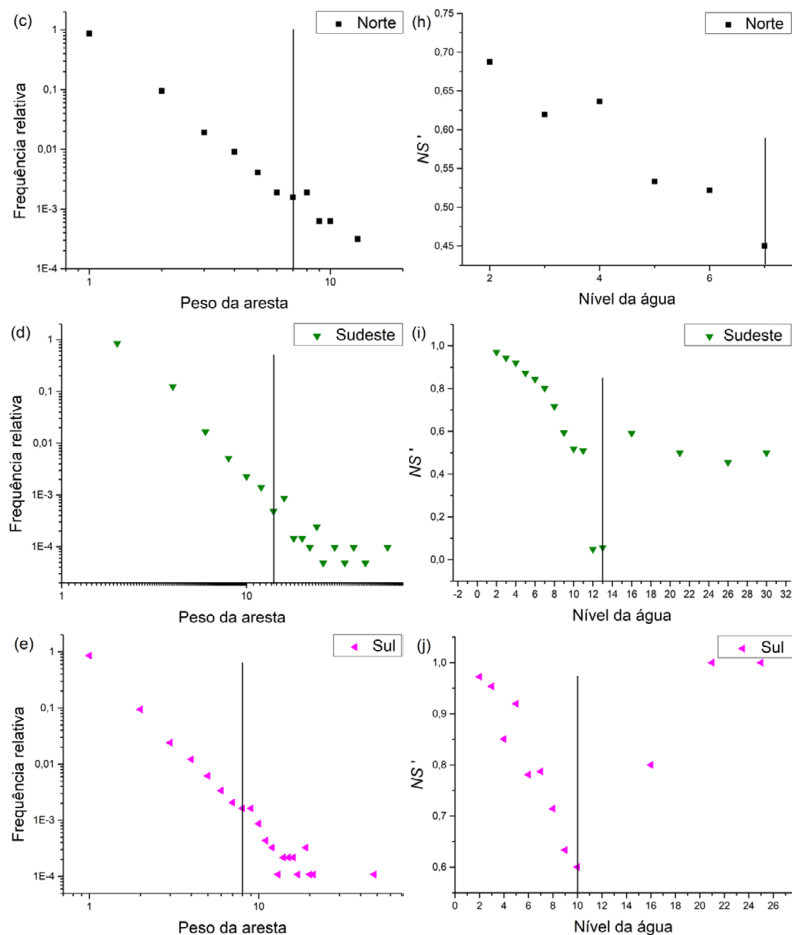
Em paralelo a estes cálculos, introduzimos também um índice que mede o tamanho da maior ilha, relativo agora à quantidade de vértices emersos, ou seja, os vértices que formam as ilhas. Se denotarmos por s o tamanho da maior ilha e por n' a quantidade de vértices emersos, o

índice é dado por $NS' = s/n^j$. O índice compara, portanto, o tamanho da maior ilha com a soma dos tamanhos das ilhas. Os resultados são apresentados nas Figuras 5f, 5g, 5h, 5i e 5j.

Os gráficos de distribuição de frequência dos pesos das arestas e do índice NS' na Figura 5, possibilitam estabelecer um valor mais criterioso para o nível ideal de água. Pode-se observar que, para todos os gráficos da distribuição de frequência de pesos, os pontos podem ser manualmente ajustados por uma reta (escala log-log) até um determinado peso da aresta, a partir do qual há uma perturbação de cauda. Neste intervalo de valores de pesos, os pontos seguem uma lei de potência, isto é, há muitas arestas com pesos menores e poucas arestas com pesos maiores. À medida que os valores dos pesos aumentam, a partir desse *peso crítico*, essa propriedade se enfraquece, ou seja, para pesos maiores existem valores distintos de pesos com mesma frequência.

Figura 5 - Distribuição da frequência dos pesos das arestas e comportamento de NS' para as RSTs.





No caso da proporção do tamanho das ilhas relativo às ilhas emersas, os gráficos das Figuras 5 (f,g,h,i,j) mostram também que é possível destacar um nível de água, que nomeamos de *valor crítico*, a partir do qual há uma mudança de comportamento (exceto para a RST_Norte). Esta mudança de comportamento pode ser interpretada por duas ocorrências: i) a maior ilha perde arestas de pesos menores que aqueles das demais ilhas, o que causa a redução do NS'.

determinado valor do nível de água, as ilhas menores submergem, o que aumenta o valor do índice NS' (RST_Centro-Oeste, RST_Sudeste e RST_Sul); ii) A maior ilha perde arestas, juntamente com as ilhas menores, mas poucas ilhas menores submergem. Com isso, os valores de NS' variam. Porém, para um valor crítico, a proporção de arestas que a maior ilha perde supera aqueles perdidos pelas ilhas menores, reduzindo o valor de NS' (RST_Nordeste). A observação da Figura 5 também mostra que o peso crítico e o nível crítico para as RSTs são próximos ou iguais. A Tabela 2 resume os valores encontrados.

Tabela 2 - Determinação do nível crítico e dados das ilhas no nível crítico.

RST	Peso crítico	Valor crítico	Nível crítico	Quantidade de vértices (nível crítico)	Tamanho da maior ilha (nível crítico)
Centro-Oeste	5	6	5	35	26 (60,6%)
Nordeste	7	7	7	47	43 (91,5%)
Norte	7	7	7	20	9 (45,0%)
Sudeste	14	13	13	35	20 (57,1%)
Sul	8	10	8	35	25 (71,4%)

A partir dos valores obtidos, assumimos o menor para cada RST, o qual denominamos de **nível crítico**, de forma que a identificação da temática será feita com as palavras contidas nas **ilhas no nível crítico**, com pesos iguais ou superiores ao nível crítico.

IDENTIFICAÇÃO DA TEMÁTICA

Para compreender as diferenças e semelhanças entre as RST de cada uma das regiões, em termos das palavras das ilhas no nível crítico, realizamos o cruzamento das redes para detectar as palavras que compõem o vocabulário comum, cujos resultados constam da Tabela 3.

Tabela 3 - Dados sobre palavras comuns para os pares de RST das regiões.

RST	Número de palavras	Número de palavras comuns	% de palavras comuns
Centro-Oeste + Nordeste	60	22	36,7
Centro-Oeste + Norte	44	11	25,0
Centro-Oeste + Sudeste	54	16	29,6
Centro-Oeste + Sul	56	14	25,0
Nordeste + Norte	53	14	26,4
Nordeste + Sudeste	62	20	32,3
Nordeste + Sul	66	16	24,2
Norte + Sudeste	43	12	27,9
Norte + Sul	43	12	27,9
Sudeste + Sul	49	21	42,9

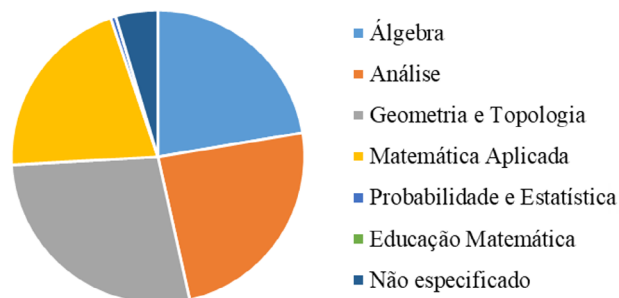
Os resultados obtidos mostram que as RST_Sudeste e RST_Sul são as que compartilham o maior percentual de palavras comuns (42,9%), ficando as RST_Centro-Oeste e RST_Nordeste em segundo lugar (36,7%). As RSTs mais afastadas, em termos de compartilhamento de palavras (no nível crítico) são RST_Nordeste e RST_Sul, com apenas 25,0%. Isso mostra que as diferenças regionais entre o Nordeste e o Sul, em termos do vocabulário dos títulos das dissertações de Mestrado em Matemática, acompanha as diferenças em outros aspectos (e.g. econômico, político, cultural, educacional, etc.).

A Figura 6 apresenta a distribuição das áreas do conhecimento predominantes por região geográfica. Inicialmente, observamos que há diferenças, em alguns casos relevantes, no que se refere à comparação entre os grupos das Figuras 6a, 6b, 6c, 6d e 6e e das Figuras 6f, 6g, 6h, 6i e 6j. Por exemplo, no caso das RSTs da região Nordeste, a proporção de títulos classificados nos programas como sendo da área de “Geometria e Topologia” (Rede Nordeste) sofre uma significativa redução quando a análise é feita a partir das palavras dos títulos das ilhas no nível crítico (Rede Nordeste: nível crítico). Fato

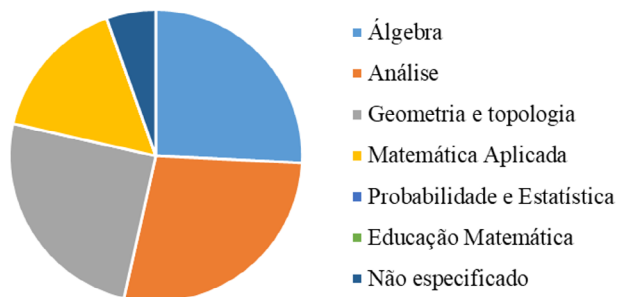
semelhante ocorre nas RST da região Norte, com relação à área de “Matemática Aplicada”, porém com menor intensidade.

Figura 6 - Identificação das áreas do conhecimento predominantes.

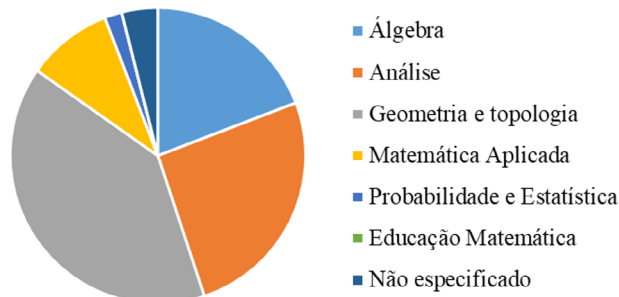
(a) Região Centro-Oeste



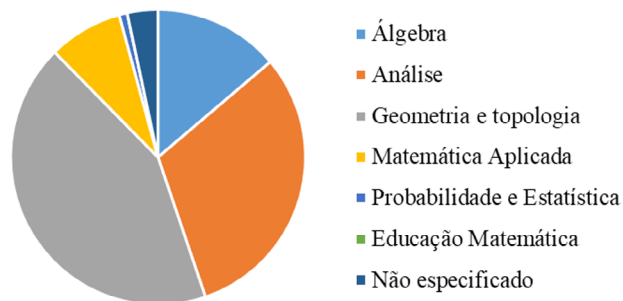
(f) Região Centro-Oeste: nível crítico



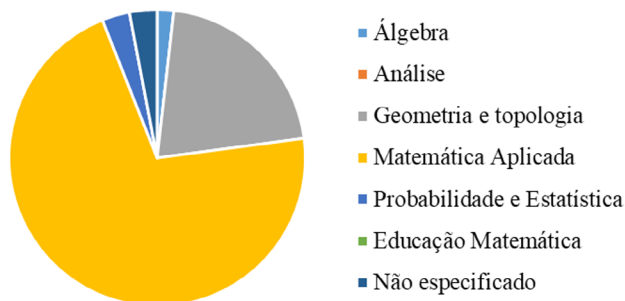
(b) Região Nordeste



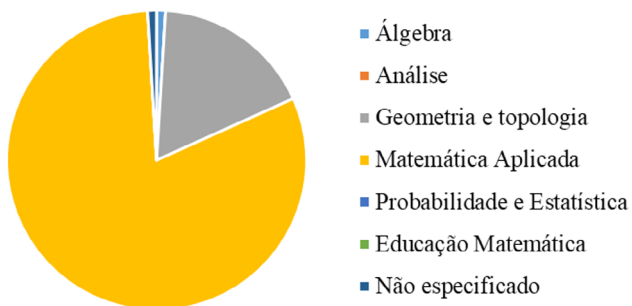
(g) Região Nordeste: nível crítico



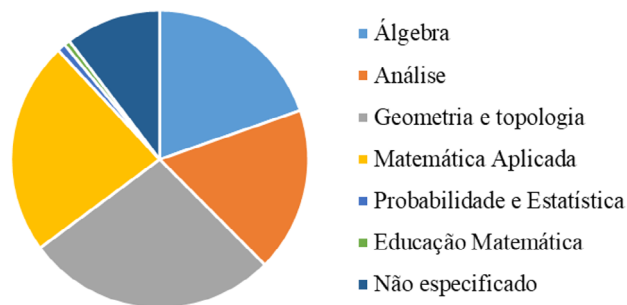
(c) Região Norte



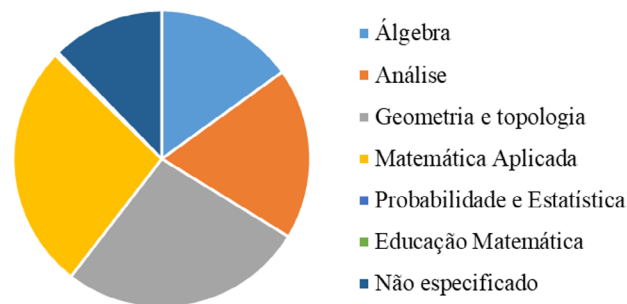
(h) Região Norte: nível crítico



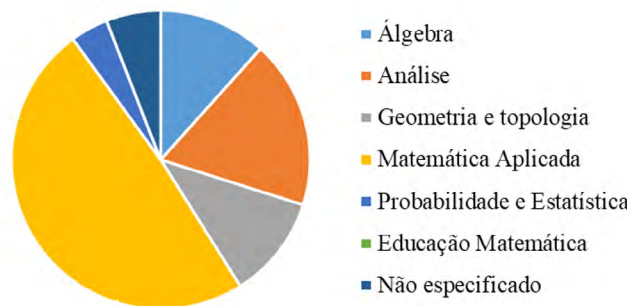
(d) Região Sudeste



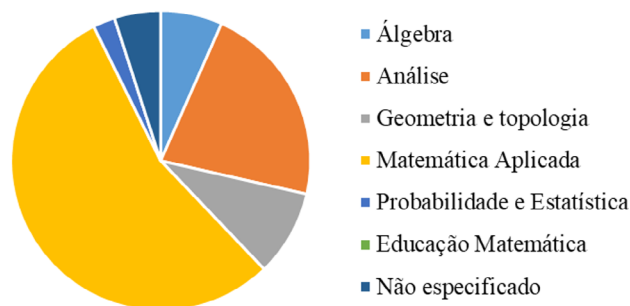
(i) Região Sudeste: nível crítico



(e) Região Sul



(i) Região Sul: nível crítico



Outro fato relevante é a presença de algumas áreas, quando usada a estratégia que resulta nas Figuras 6a, 6b, 6c, 6d e 6e que não estão presentes na análise das ilhas no nível crítico, conforme Figuras 6f, 6g, 6h, 6i e 6j. Isso ocorre porque as palavras que caracterizam tais áreas ficam submersas, devido aos baixos pesos das arestas, o que traduz menor relevância. A exemplo, temos a área de “Educação Matemática” na Figura 6a (quase imperceptível), que não está presente na Figura 6f.

Ainda em relação à Figura 6, chama a atenção o fato de que há um predomínio das áreas de “Matemática Aplicada” e “Geometria e Topologia” na região Norte (Figuras 6c, 6h), enquanto na região Nordeste (Figuras 6b, 6g) as áreas de “Análise” e “Geometria e Topologia” é que predominam. Nas demais redes, há um certo equilíbrio entre a proporção das áreas.

Um exame das distribuições das áreas do conhecimento nos níveis críticos pode reforçar a relevância de algumas do conhecimento em algumas regiões geográficas. Isto pode auxiliar na determinação de linha(s) ou grupo(s) de pesquisa(s) consolidados em Programas de Pós-Graduação. A “Geometria e Topologia” é a área predominante na região Nordeste. O exame das palavras presentes na RST_Nordeste no nível

crítico apontam que a temática predominante em “Geometria e Topologia” é “Superfícies e hipersuperfícies com curvatura média constante”.

No nível crítico da Região Nordeste, a “Análise” ganha destaque quando comparada com a distribuição total das áreas do conhecimento e fica evidente a relevância da temática “Equações diferenciais parciais elípticas”. A temática “Grupos de Lie” aparece associada a dissertações defendidas em “Geometria e Topologia” e “Análise”. Ainda no Nordeste, observamos a predominância da temática “Grupos Finitos” defendidas na área de “Álgebra”.

Na região Sul, cujas dissertações são predominantes em “Matemática Aplicada”, identificamos a relevância da temática “Equação da Onda” integrada às investigações mais gerais sobre a “Existência e unicidade de soluções de equações diferenciais” na área de conhecimento “Análise”. Em “Geometria e Topologia”, a temática que se destaca é “Grupos de Lie” no nível crítico da Região Sul.

Na região Centro-Oeste, percebe-se que a maioria das palavras no nível crítico estão concentradas em “Análise”, “Álgebra” e “Geometria e Topologia”, e em menor participação, “Matemática Aplicada”. Observamos que as temáticas “Superfícies mínimas” e “Superfícies com curvatura média constante” são predominantes na área de “Geometria e Topologia” enquanto que no campo da “Álgebra”, destacam-se pesquisas em “Álgebras de Lie”, “Grupos finitos” e “Grupos nilpotentes”. Em Análise, é possível perceber a relevância da temática “Solução de problemas elípticos”.

Na região Norte, há uma forte concentração de dissertações em “Matemática Aplicada”. As temáticas que predominam nessa região são “Decaimento exponencial de sistemas acoplados”, “Equação da onda” e “Modelos de resposta ao item”. Outra área do conhecimento que aparece com algum destaque na Região Norte é a “Geometria

e Topologia” com a temática “Curvatura média constante” se sobressaindo dentre as demais.

O nível crítico mostra que na Região Sudeste, a “Matemática Aplicada”, a “Geometria e Topologia” e a Análise são predominantes, seguida da “Álgebra”. As temáticas “Equações elípticas” e “Equação da onda” se destacam em dissertações no campo das “Equações Diferenciais Parciais”, tanto na “Matemática Aplicada” quanto na “Análise”. Observamos que há um domínio de temas voltados para a “Modelagem matemática” de problemas no campo da Matemática Aplicada. No campo da Álgebra, percebemos algum interesse no estudo de “Polinômios” mas a temática “Polinômios ortogonais” tem relevância na “Matemática Aplicada”. No campo da “Análise”, verificamos a relevância do tema “Espaços de Banach”. Na área da “Geometria e Topologia”, “Sistemas dinâmicos”, “Superfícies e hipersuperfícies com curvatura média constante”, “Superfícies mínimas”, “Curvas planas” e “Pontos fixos” são as temáticas relevantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação da temática dos títulos das dissertações de mestrado em Matemática no Brasil, via redes de ilhas, mostrou-se promissora, uma vez que não se reduziu à investigação das palavras mais frequentes, mas considerou-se também a relação entre estas.

Uma questão fundamental para a determinação do conjunto mínimo de palavras a ser usado na determinação da temática pôde ser objetivada, tomando-se como base a distribuição de frequência dos pesos das arestas e a distribuição do tamanho da maior ilha em relação ao total de ilhas restantes, após a retirada sucessiva das arestas de menor peso. Os resultados obtidos mostraram que o peso

crítico e o valor crítico nas duas perspectivas são muito próximos. Por uma questão de eficiência e simplicidade, o uso da distribuição de frequência dos pesos das arestas é mais útil. Ademais, a sua interpretação é mais simples nas redes dessa natureza, uma vez que traduz o fato da existência de quantidades comparáveis de pares de palavras com pesos iguais, a partir de um certo peso. Portanto, no grupo de ilhas restantes encontra-se o núcleo das palavras mais importantes e dos pares mais frequentes.

Os resultados da comparação entre as redes por pares de regiões mostram que há uma diversidade no vocabulário dos títulos das dissertações, mais acentuado entre as RSTs das regiões Nordeste e Sul e menos acentuada entre as RSTs Sudeste e Sul.

Quando se analisou as redes em relação às áreas do conhecimento, usando o processo descrito na Seção 3.4, observou-se que as diferenças regionais na temática puderam ser observadas qualitativamente, com as definições das áreas do conhecimento. A diferença entre a temática das dissertações da região Nordeste, em termos de vocabulário comum, comparada com a temática das dissertações da região Sul, por exemplo, deve-se ao fato de que na região Nordeste há uma predominância da área de “Geometria e Topologia”, enquanto na região Sul predomina a “Matemática Aplicada”. O mesmo princípio se aplica em relação à afinidade na temática entre as regiões Sudeste e Sul, com respeito ao vocabulário em comum, justificada pela preponderância das áreas de “Análise”, “Matemática Aplicada” e “Geometria e topologia” em ambas. Portanto, encontramos evidências que há regiões mais especializadas em determinados temas.

O aprofundamento da análise qualitativa, a partir das ilhas no nível crítico, possibilitou evidenciar os tópicos mais relevantes para as redes semânticas de títulos em cada região geográfica.

REFERÊNCIAS

BATAGELJ, Vladimir; ZAVERŠNIK, Matjaž. *Islands*. In: Sunbelt XXIV Conference, Portoroz. 2004.

CALDEIRA, Silvia Maria Gomes. Caracterização da Rede de Signos Linguísticos: Um modelo baseado no aparelho psíquico de Freud. *Master in Computer Modeling, Fundação Visconde de Cairu*, 2005.

CHEN, Chaomei *et al.* The thematic and citation landscape of Data and Knowledge Engineering (1985–2007). *Data & Knowledge Engineering*, v. 67, n. 2, p. 234-259, 2008.

CUNHA, Marcelo do Vale *et al.* Redes de títulos de artigos científicos variáveis no tempo. In: *Anais do II Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining*. SBC, 2013. p. 194-205.

FADIGAS, Inácio de Sousa *et al.* Análise de redes semânticas baseada em títulos de artigos de periódicos científicos: o caso dos periódicos de divulgação em educação matemática. *Educação Matemática Pesquisa*, v. 11, 1, p. 167-193, 2009.

FADIGAS, Inácio de Sousa *et al.* Master's degree programs in Mathematics in Brazil. *Obra digital: revista de comunicação*, n. 18, p. 103-118, 2020.

GRILO, Marcos *et al.* Robustness in semantic networks based on cliques. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 472, p. 94-102, 2017.

HENRIQUE, Trazíbulo *et al.* Mathematics education semantic networks. *Social Network Analysis and Mining*, v. 4, n. 1, p. 200, 2014.

NASCIMENTO, Jefferson Oliveira do *et al.* Sistemas complexos e Ciências das redes: redes semânticas baseadas em abstracts e keywords do Ensino de Física Nacional. *Revista Cereus*, v. 11, n. 1, p. 161-183, 2019.

OLIVEIRA, Silvana Roque de *et al.* Thematic identification of "little science": trends in the Portuguese literature in IS&LS by controlled vocabulary and co-word analysis. *QQML-e-journal*, v. 4, p. 421-432, 2015.

OLMEDA-GÓMEZ, Carlos, OVALLE-PERANDONES, Maria-Antonia e PERIANES-RODRÍGUEZ, Antonio. Co-word analysis and thematic landscapes in Spanish information science literature, 1985–2014. *Scientometrics*, 113, 195–217, 2017.

PEREIRA, Hernane Borges de Barros *et al.* Semantic networks based on titles of scientific papers. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 390, n. 6, p. 1192-1197, 2011.

_____. Density: A measure of the diversity of concepts addressed in semantic networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 441, p. 81-84, 2016.

RODRIGUES, Ana Áurea Alécio de Oliveira *et al.* Um método para analisar a temática de periódicos na Saúde Coletiva. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, v.11, n.1, p.1-16, 2017.

RYAN, Gery W.; BERNARD, H. Russell. Techniques to identify themes in qualitative data. *Handbook of Qualitative Research. 2nd ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2000.*

SANTANA, Claudia Sisan Silva de *et al.* Minerando Ciência e Tecnologia no Mar das Canções de Gilberto Gil. *Interfaces Científicas*, 3, 3, 13-26, 2015.

SOBRE OS AUTORES E AUTORAS

Aloísio Santos Nascimento Filho

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pelo SENAI CIMATEC (2018), mestre em Modelagem Computacional pela Fundação Visconde de Cairu - CEPPEV (2005), MBA em Controladoria para Gestão de Negócios pela Universidade Salvador - UNIFACS (2011) e bacharelado em Ciências Econômicas pela Faculdade Católica de Ciências Econômicas da Bahia - FACCEBA (1998). Atualmente é professor da graduação e do programa Gestão e Tecnologia Industrial (PPG GETEC) do Centro Universitário SENAI-CIMATEC e do Programa de Doutorado Multi-Institucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento (DMMDC)-UFBA\LNCC\UNEB\UEFS | UFABC\IFET\ SENAI-CIMATEC e pesquisador CNPQ.

André Souza Oliveira

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Bahia (1991), Mestrado em Energia pela Universidade Salvador (2012), MBA Executivo na Fundação Dom Cabral - MG e Doutorando em Modelagem Computacional para Tecnologia Industrial (CIMATEC). Gerente Executivo das Áreas Tecnológicas de Mecânica, Materiais, Petróleo & Gás e Química e Diretor do ISI de Conformação e União de Materiais do SENAI CIMATEC, atuando no âmbito dos projetos de PD&I, Centro Universitário, Serviços Tecnológicos e Educação profissional. Tem experiência nas áreas de Energia, Gestão de Negócios, Inovação, Empreendedorismo, Cadeia de Suprimentos, Óleo & Gás e Docência em nível de Pós-Graduação.

Antonio César do Prado Rosa Junior

Possui graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Estadual de Feira de Santana (2005), mestrado em Física pela Universidade Federal de Pernambuco (2007) e doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial - SENAI - Departamento Regional da Bahia (2015). Atualmente é Professor Adjunto da Universidade Federal do Oeste da Bahia.

Bruno Leonardo Santos Menezes

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial do Centro Universitário SENAI.

Bruno Oliveira Pinto Cardoso

Mestre em Modelagem Computacional pelo Cimatec, Pós-graduado em Política e Estratégia pela Universidade Estadual da Bahia (UNEB), é graduado administração de Empresas - Faculdade Ruy Barbosa (2000). Gerente de Relacionamento PJ no Banco do Brasil S.A, funcionário desde janeiro de 2011, Atuou como Professor Substituto do IFBA Salvador (2015 e 2016), foi Coordenador do Curso de Administração de Empresas da Faculdade Isaac Newton durante o ano de 2007. Na área Comercial há mais de 30 anos, atuou como Gerente de Contas da Multinacional Americana HERTZ, sendo responsável por toda a carteira de clientes do estado da Bahia. Responsável pela implantação e operacionalização do canal de vendas mais rentável da CAMED em Salvador, realizando 14 parcerias e proporcionando um incremento de 280 % nas vendas em apenas 7 meses. Foi o responsável pela criação e desenvolvimento da equipe de vendas das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do País na empresa Tangará Foods, onde atuou em 2008 e 2009 como Gerente Regional de Vendas. Foi ainda Supervisor Técnico Comercial - SUPPLY COMÉRCIO DE PRODUTOS PARA NUTRIÇÃO, sendo responsável pelas regiões do Sul Sudeste e Centro-oeste do País, além de ter trabalhado em empresas multinacionais como Sanofi e Schering-Plough. Foi professor das Faculdades UNIJORGE, FTC, ISAAC NEWTON, SÃO SALVADOR e MONTESSORIANO. Tem experiência na área de Administração, com ênfase em Mercadologia, atuando principalmente nos seguintes temas: Gestão Mercadológica, Vendas, Gestão de Pessoas, Gestão do Terceiro Setor, empreendedorismo, planejamento de carreira e marketing de relacionamentos. Realiza ainda diversos cursos sobre Atendimento ao cliente, Técnicas de Vendas, Como se Tornar um Vendedor de Sucesso. É ainda Consultor de Empresas na área de Gestão de Pessoas, Marketing e Planejamento Estratégico.

Cristiano Vasconcellos Ferreira

Professor Associado, Doutor em Engenharia Mecânica. Professor Associado do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Santa Catarina. Possui Certificação PMO-CP. Possui Pós-Doutorado em Engenharia de Produção (USP). Doutor em Engenharia Mecânica (UFSC - 2002). Mestre em Engenharia Mecânica (UFSC - 1997). Engenheiro Mecânico (UFSC - 1995). Atua nas áreas de Gestão do Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos, Gestão de Projetos, Gestão da Inovação e Empreendedorismo. Na UFSC, atualmente, é Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia de Transportes e Logística. Já exerceu funções como Coordenador do Programa de Educação Tutorial (PET), Coordenador do Curso de Engenharia Automotiva e Coordenador de Estágio do Curso de Engenharia Automotiva. Trabalhou no SENAI CIMATEC

- Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia - de 2003 a 2010, exercendo atividades de coordenação do Núcleo de Pesquisa Aplicada, do Programa de Mestrado em Gestão e Tecnologia Industrial, do Projeto Formula SAE BRASILe do Programa de Bolsas de Iniciação Científica. Participou como Professor colaborador do Mestrado em Engenharia Mecatrônica da UFBA.

Derick David Quintino

Bacharel em Ciências Econômicas e Mestre em Economia Aplicada pela Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP). Atualmente é doutorando em Economia Aplicada pela mesma instituição. Possui experiência profissional como analista de finanças (Itaú-Unibanco e Kroton) e analista econômico na Fiesp. Tem artigos publicados em revistas internacionais nas áreas de economia da energia, finanças e matemática aplicada.

Enrique López Droguett

Enrique López Droguett é Professor Associado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Chile, Professor Associado Adjunto do Center for Risk and Reliability na University of Maryland, Pesquisador no The Garrick Institute For The Risk Sciences na University of California, Los Angeles (UCLA), e Professor Visitante do CIMATEC. Prof. López Droguett conduz pesquisa em métodos computacionais para confiabilidade, risco e segurança de sistemas complexos. Seu foco mais recente tem sido o diagnóstico e prognóstico de falhas de sistemas complexos com base na inteligência artificial, combinando Big Data e modelos de física de falha. O Prof. López Droguett possui mais de 240 artigos em revistas especializadas e anais de conferências, e 2 livros em várias áreas de confiabilidade e análise de risco. Prof. López Droguett é o diretor fundador do Center for Advanced Asset Analytics da Universidade do Chile, é Editor Associado do Journal of Risk and Reliability, faz parte do conselho do Board of Directors da International Association for Probabilistic Safety Assessment and Management (IAPSAM) e diretor fundador da Associação Brasileira de Análise de Risco, Segurança e Confiabilidade (ABRISCO).

Flavio de Souza Marinho

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologias Industriais pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, Mestre em Administração pela Universidade Salvador, especialista em Marketing pela Escola Superior de Propaganda e Marketing/ SP (2000) e graduado em Comunicação Social pela Universidade Católica do Salvador (1997).

Flávio Fabrício V. M. Ferreira

Atualmente é Engenheiro de Testes de Software Embarcado na Ford Motor Company Brasil trabalhando no time de Engenharia de Sistemas Elétricos e Eletrônicos (EESE). Trabalha como Líder de Testes em Hardware-in-the-Loop (HiL) no Laboratório de Sistemas Eletrônicos atuando como SCRUM Master. Atualmente aluno de mestrado no GETEC no Senai Cimatec, especialização em MTI (Pós-Graduação) em Tecnologia e Inovação no Senai Cimatec em Salvador/BA e também do curso de Pós Graduação em Engenharia de Software na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (EAD). Possui graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Controle e Automação pela Universidade Federal de Campina Grande/PB (UFCG).

Hernane Borges de Barros Pereira

Doutor em Engenharia Multimídia pela Universitat Politècnica de Catalunya em 2002. Atualmente é Professor Pleno do Departamento de Educação da Universidade do Estado da Bahia e Professor Associado do SENAI CIMATEC. É docente do Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial e do Doutorado Multi-institucional e Multidisciplinar em Difusão do Conhecimento. É consultor ad-hoc do Ministério da Educação. Dentro do âmbito da ciência e tecnologia da informação e inovação, trabalha com temas como: redes sociais e complexas, difusão do conhecimento, engenharia de software, interação homem-computador, etc. usando técnicas de modelagem computacional.

Hugo Saba

Bolsista Produtividade CNPq, Pós Doutorado em Modelagem Computacional no Cimatec (2016), Doutorado em Difusão do Conhecimento na Universidade Federal da Bahia (UFBA)(2013), Mestrado em Modelagem Computacional pela FVC (2005), Especialização em Computação Científica pela Fundação Visconde de Cairu (FVC) (2003) e Graduação em Processamento de Dados pela Faculdade Rui Barbosa (1995), Professor Titular na UNEB. Tem experiência na área de Ciência da Computação, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem computacional, tecnologias sociais, robótica educacional, gestão de projetos e difusão do conhecimento. No âmbito profissional coordena projetos de pesquisa e desenvolvimento, junto a Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs). Coordenador da Câmara de Computação na FAPESB. Na Pós Graduação é Coordenador do Doutorado em Difusão do Conhecimento (DMMDC), Professor Permanente no Programa Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial(MCTI), Professor Colaborador no Mestrado Profissional em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia

para a Inovação (PROFNIT), e Coordenador do Grupo de Pesquisa no CNPq - NÚCLEO DE PESQUISA APLICADA E INOVAÇÃO (NPAI).

Inácio de Sousa Fadigas

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana (1984) e mestrado em Engenharia Civil (Geotecnia) pela Universidade Federal da Paraíba (1987) e Doutorado em Difusão do Conhecimento (UFBA/UEFS/LNCC/UNEB/IFBA/CIMATEC 2011). É professor Titular da Universidade Estadual de Feira de Santana. Tem também especialização em Educação Matemática (UEFS 1998) e experiência na área de Matemática. Coordenou o Núcleo de Educação Matemática Omar Catunda da UEFS de 1997 a 2008. Atualmente participa do grupo Fuxicos e Boatos, dedicado a estudos e pesquisas em Ciência de Redes.

Jamilton Alves Dias

Fisioterapeuta, Pós-graduando em Fisioterapia traumato-ortopédica pela Faculdade de ciências da Bahia, co-fundador e tesoureiro da ONG Instituto PEPO que desenvolve ações voltadas ao direito da pessoa com deficiência.

José Vicente Cardoso Santos

É graduado em Física (UFBA - Universidade Federal da Bahia); Mestre em Educação (Gestão e Tecnologias Aplicadas à Educação) (Universidade Estadual da Bahia - UNEB/GESTEC/2015); Mestre em Administração e Comércio Internacional (CESEC / UNEX - Universidade de Extremadura / Espanha / Badajoz); Pós-Graduado em Física do Estado Sólido - Cristalografia); Pós-Graduado em Auditoria Interna (UNEB - Universidade do Estado da Bahia, UCSAL - Universidade Católica de Salvador e AUDIBRA - Associação dos Auditores do Brasil); Pós- Graduado em Psicopedagogia (UNC - Universidade Contemporânea); Doutor Honoris Causa com a Ordem do Mérito da Chancelaria para a América do Sul (Open Internacional University for Complementary Medicines - UNIMEC) (Título Honorífico). É Professor da: UNEB (Universidade Estadual da Bahia, Campus I: Departamento de Ciências Exatas e da Terra); Centro Universitário SENAI-CIMATEC (Salvador-Ba); Universidade Kroton (Campus Unime - Salvador-Ba); é Instrutor e Autor dos cursos da UNEB-UAB no curso de Licenciatura em Ciência da Computação a Distância (UNEB-UAB); atua também como Analista de Sistemas (Petrobrás, Fundação Clemente Mariani, Fundação Getúlio Vargas etc...); presta consultoria em Educação Superior em Faculdades e Universidades em todo o Brasil. É aluno regular da Faculdade de Tecnologia SENAI CIMATEC do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial no curso de Doutorado em

Modelagem Computacional e Sistemas Cognitivos na área de concentração de Sistemas Complexos. Já atuou como Professor nas seguintes faculdades e universidades (cronológica e respectivamente): UCSAL (Universidade Católica de Salvador), Faculdade Ruy Barbosa, Unibahia (Professor e Coordenador do Curso de Engenharia de Produção Mecânica), Faculdade Dois de Julho (Professor e Coordenador dos Cursos de Administração com Hab. Em Gestão de Negócios Hab, em Comércio Exterior), FACET (Faculdade de Artes, Ciências e Tecnologias) (Professor, Coordenador do Curso de Administração e Diretor), Faculdade Apoio (Professor e Diretor), FACTAE (Faculdade de Ciência e Tecnologia Albert Einstein), Estácio (Professor), e em breves passagens para cursos de Pós-Graduação outras instituições nas cidades de Salvador e Aracaju. Atualmente é Professor da Universidade Estadual da Bahia (UNEB), UNIP/IBES (onde Coordena os cursos de Ciências da Computação e Tecnólogo em Redes de Computadores) e SENAI-CIMATEC (Cursos de Engenharias e Pós-Graduações), Centro Universitário Kroton (Unime - Salvador-Ba).

Leandro Brito Santos

Doutor e Mestre em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, especialização em Metodologias Ativas e TDICs na Educação, em Arquitetura de Software e Convergência de Mídias e graduação em Sistemas de Informação. Fundador do Coruja Lab H4ck3r Space (Laboratório maker colaborativo em impressão 3D e IoT) e membro parceiro do Instituto PEPO. Atualmente é pesquisador nos grupos de pesquisa: TICASE, Núcleo de Pesquisa Aplicada e Inovação (NPAI)-UNEB e no grupo Pesquisa em Sistema de Energia Elétrica - (GPSEE) CMBJL – UFOB.

Lucas Santos Reis

Estudante do curso de Bacharelado Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), integrante do Núcleo de Estudos, Pesquisa e Extensão em Tecnologia Assistiva e Acessibilidade do Centro de Ciência e Tecnologia em Energia e Sustentabilidade - CETENS/UFRB, foi bolsista como Bolsista na Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão da UFRB, cursou uma graduação sanduíche na Univerdade de Trás-dos-Montes e Alto Douro (UTAD), Portugal, foi monitor voluntário em Desenho Técnico I. Atualmente é monitor em acessibilidade e inclusão pelo Núcleo de Políticas de Inclusão da UFRB e é Voluntário da ONG Instituto PEPO.

Xisto Lucas Travassos Junior

Professor Adjunto, Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina. Doutor em engenharia elétrica pela École Centrale de

Lyon - França (2007). Mestrado em engenharia elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina UFSC (2004). Graduado em engenharia elétrica pela UFSC (2002). Ainda em 2007 trabalhou como gerente do projeto TRANSLOGISTic na Faculté Polytechnique de Mons (UMONS) na Bélgica. Atuou como professor e pesquisador do SENAI CIMATEC. Atualmente é Professor na UFSC Campus Joinville. Suas principais áreas de interesse são: antenas e propagação, modelagem numérica aplicada em dispositivos eletromagnéticos e compatibilidade eletromagnética.

Luiz Miguel Sergani Costa

Graduando em Engenharia de Transporte e Logística (UFSC). Atua nas áreas de Gestão de Projetos e Gestão de Estoques. Estagiário no Grupo Tigre, exercendo atividades ligadas a Gestão de Estoques e desenvolvimento de ferramentas de Business Intelligence. Bolsista CNPq - de 2018 a 2019 - na pesquisa intitulada “Estrutura de Cooperação para Redes Inter organizacionais do Transporte de Carga” orientado pela Profa. Dra. Elisete da Silva Zagheni.

Marcelo A. Moret

Possui graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1991), mestrado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1996) e doutorado em Ciências Biológicas (Biofísica) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2000). Atualmente é professor associado - SENAI - Departamento Regional da Bahia, professor titular da Universidade do Estado da Bahia e membro do comitê multidisciplinar da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física Estatística e Termodinâmica, atuando principalmente nos seguintes temas: computação, protein folding, auto-similaridade, estatística de tsallis e generalized simulated annealing.

Marcio Nakayama Miura

Professor Permanente do Programa de Pós-Graduação em Administração/ Mestrado Profissional – PPGA/MPA da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Doutor em Administração e Turismo PPGA/UNIVALI.

Marcos Grilo

Licenciado em Matemática pela UEFS (2001), mestre em Matemática pela UFPE (2004) e doutor em Difusão do Conhecimento pela UFBA (2016). É professor adjunto da Universidade Estadual de Feira de Santana. Tem experiência em Geometria e Topologia, Teoria de Redes, Teoria dos Grafos e Ensino de Matemática.

Menilde Araújo Silva Bião

Fisioterapeuta, doutoranda em Modelagem Computacional e Tecnologias Industriais no Centro Universitário SENAI CIMATEC. Mestre em Tecnologias Aplicáveis a Bioenergia, especialização em Órteses, Próteses e Meios Auxiliares de Locomoção e Reabilitação do Membro Superior e Mão. Professora na Faculdade Estácio Feira de Santana. Presidente/Fundadora da ONG Instituto PEPO que desenvolve ações voltadas ao direito da pessoa com deficiência. Referência em Saúde na e- Nable Brasil.

Milton C. Soares

Formado em Engenharia de controle e automação pela FAMEC em 2008 e pós graduado em Especialização em Polimeros pelo SENAI- CIMATEC (2014). Atualmente aluno do curso de metrado do GETEC pelo SENAI-CIMATEC. Atualmente é engenheiro de STA, black belt certificado pela IQF (Treinamento realizado em 2014 em Detroit- MI) - Ford Motor Company Brasil - Matriz. Possui 16 anos de experiência na área automotiva com ênfase em lean manufacturing, qualidade e desenvolvimento de produto.

Paula Hortência dos Santos Magalhães

Fisioterapeuta, pós-Graduanda em Neurofuncional, Formação em pilates, Secretaria/co-fundadora do Instituto PEPO, que desenvolve ações voltadas ao direito da pessoa com deficiência.

Paulo Soares Figueiredo

Doutor em Administração pela Boston University Questrom School of Business. Professor Adjunto, Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia. Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e mestrado em Administração pela Universidade de São Paulo (FEA-USP). É doutor pela Boston University Questrom School of Business, com bolsa da FULBRIGHT Commission. Trabalhou como consultor na Arthur Andersen Business Consulting e como Trainee no Bureau de Service et DIngenierie, em Lausanne, na Suíça. Tem experiência na área de Gestão da Produção & Operacoes, e Gestão Tecnológica, realizando pesquisas e lecionando nos diversos temas dessa área. Possui formação em modelagem matemática (Dinâmica de sistemas), adquirida no Massachusetts Institute of Technology (MIT), Sloan School of Management. Ensinou turmas do premiado curso CORE de gestão voltada ao empreendedorismo, na Boston University, onde também trabalhou como assistente no International MBA, em Pequim e Xangai. Ganhador do prêmio Outstanding Teaching Award by a Doctoral Student nessa mesma escola. cursou Pós Doutorado na Universidade Federal da

Bahia. Professor Adjunto na Escola de Administração da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e membro do Núcleo de Pós Graduação em Administração (NPGA). Professor do curso de especialização em Empreendedorismo da EA-UFBA. Bolsista de Produtividade no SENAI CIMATEC, onde orienta alunos dos cursos de mestrado e doutorado em Gestão e Tecnologia Industrial (GETEC).

Paulo Henrique Ferreira

Paulo Henrique Ferreira é professor adjunto da UFBA, junto ao Departamento de Estatística (DEst) do Instituto de Matemática e Estatística (IME); pesquisador associado (Grupo de Ciência de Dados) do Centro de Ciências Matemáticas Aplicadas à Indústria (CeMEAI | ICMC-USP); fundador e coordenador do Centro de Estudos do Risco (CER-UFBA) de 09/2016 a 12/2018 e de 03/2020 - atual; membro permanente do mestrado em Matemática (área de concentração em Estatística) da UFBA. Paulo Henrique Ferreira é autor do livro “Controle Estatístico de Processos - Uma abordagem prática para cursos de Engenharia e Administração”, publicado pela editora LTC (RJ) em 2013. Doutor em Estatística pela UFSCAR (2015), Mestre em Estatística pela UFSCAR (2011), e Bacharel em Estatística pela UFSCAR (2009). Além disso, tem Pós-Doutorado em Estatística pelo ICMC-USP (2020). Atua principalmente nas seguintes áreas: Regressão, Data Mining, Machine Learning, Análise Multivariada, Análise de Sobrevivência e Confiabilidade, Controle Estatístico de Processos.

Paulo Jorge Silveira Ferreira

Licenciado e Mestre em Economia pela Universidade de Évora e Doutor em Gestão na mesma instituição, é docente e investigador no ensino superior, tendo já lecionado em várias instituições. Atualmente é Professor Adjunto no Instituto Politécnico de Portalegre, onde coordena a gestão financeira dos projetos do Politécnico e onde é Subdiretor da Escola Superior Agrária de Elvas, além de ser afiliado no VALORIZA - Research Center for Endogenous Resource Valuation. Tem vários artigos publicados em revistas internacionais e livros técnicos, com um foco na análise dos mercados financeiros, mas também com uma componente da sua investigação dedicada ao empreendedorismo.

Renato Garcia

Economista, graduado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (1991), Mestre (1996) e Doutor (2001) em Economia pela Universidade Estadual de Campinas. Foi Professor do Departamento de Engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo de 2002 a 2014. Atualmente é Professor Associado do Instituto de Economia da Universidade

Estadual de Campinas, em regime de dedicação exclusiva (MS5.1; RDIDP). É editor-adjunto da Revista Brasileira de Inovação e coordena um projeto de pesquisa, com apoio da Fapesp, sobre o tema "Geografia da Inovação". Seus trabalhos de pesquisa estão inseridos na área de Economia, com ênfase em Economia Industrial e da Tecnologia, atuando principalmente em temas como geografia da inovação, sistemas locais de produção e aglomerações de empresas, interações universidade-empresa, indústria brasileira, política industrial, estratégias empresariais e metodologia de análise regional.

Renelson Ribeiro Sampaio

Pós-Doutorado (2010/11), realizado no Departamento de Sociologia da Universidade de Wisconsin Madison com o Professor Erik Olin Wright. Doutorado (1986) na área de Economia da Inovação Tecnológica no Science Policy Research Unit - SPRU, University of Sussex, Inglaterra. Mestrado (1979) em History and Social Studies of Science - University of Sussex, Inglaterra. Pós-Graduação (1974-75) em Física-Matemática - UnB, e Bacharelado em Física (1973) - Departamento de Física da UFMG. Atuou na área de planejamento e políticas públicas em ciência e tecnologia, na Secretaria de Tecnologia Industrial - STI (1981/82), na Assessoria de Planejamento da Presidência do CNPq (1982/85) e no Ministério de Ciência e Tecnologia - MCT (1985/88). No período 1998 - 2006, quando atuou no Instituto Euvaldo Lodi - IEL/BA, foi responsável pela concepção e desenvolvimento do sistema da RETEC - Rede de Tecnologia da Bahia. A RETEC é uma rede que integra ofertas e demandas tecnológicas, apoiada pelo IEL Nacional foi implantada em vários estados da federação. Participou também, em 2002, do grupo de trabalho de criação do SBRT - Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas, patrocinado pelo MCT ? Ministério de Ciência e Tecnologia. Professor Titular e pesquisador no Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador/BA, sendo professor permanente no Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia Industrial, no Doutorado em Gestão e Tecnologia Industrial e no programa de Mestrado e Doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Trabalhos de pesquisa nos seguintes temas: Geração e difusão de conhecimento em processos de inovação nas organizações; Estudos na competitividade de aglomerados industriais (Sistemas Locais de Produção) com base metodologia da Dinâmica de Sistemas.

Roberto C. Costa

Graduado em engenharia eletrônica (2004) e MBA em gestão de projetos (2012) pela UNIFACS (Universidade Salvador); pós-graduado Master in Technology and Innovation (2019) e Especialista em Elétrica e Eletrônica Automotiva (2008) pelo SENAI CIMATEC, atualmente aluno do mestrado

MCTI no SENAI CIMATEC, 6-Sigma Master Black Belt e Supervisor de Desenvolvimento de Produto na Ford Motor Company. Possui mais de 14 anos de experiência na indústria automotiva, trabalhando em desenvolvimento de produto dentro e fora do país, executando/orientando mais de 20 projetos 6-sigma Black Belt, responsável por treinamento e capacitação de diversas turmas de Green Belt e Black Belt dentro da Ford.

Roberto Luiz Souza Monteiro

Doutor em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia. Professor e Pesquisador/Centro Universitário SENAI CIMATEC. Pós-doutorado em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pelo Centro Universitário SENAI CIMATEC, doutorado em Difusão do Conhecimento pela Universidade Federal da Bahia, mestrado em Modelagem Computacional pela Fundação Visconde de Cairu, bacharelado em Sistemas de Informação, pela Universidade Estácio de Sá e licenciatura em Administração pela Universidade do Estado da Bahia. Atualmente é professor da Universidade do Estado da Bahia e do Centro Universitário SENAI CIMATEC. Tem experiência na área de Informática e Sociedade, com ênfase em Ciências Sociais Aplicadas, Ciência da Computação, com ênfase em Linguagem Formais e Autômatos e Modelagem Computacional com ênfase em Sistemas Complexos, atuando principalmente nos seguintes temas: projeto de compiladores, sistemas embarcados, análise de redes sociais e complexas e inteligência artificial.

Rodrigo Santiago Coelho

Possui graduação (2003) em Engenharia Mecânica com ênfase em Mecatrônica pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG, Belo Horizonte-Brasil) e doutorado (2008) pelo Max-Planck Institut für Eisenforschung (MPIE, Düsseldorf-Alemanha), título pela Ruhr-Universität Bochum (RUB, Bochum-Alemanha). Realizou Pós-Doutorado (2008-2010) no Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialia und Energie (HZB, Berlin-Alemanha) com ênfase em análises de textura cristalográfica usando luz síncrotron. Trabalhou como pesquisador júnior (2010-2011) na Technische Universität Berlin (TU Berlin, Alemanha) e no HZB (2011-2014). Atualmente é Professor Associado e Pesquisador Líder do Instituto SENAI de Inovação em Conformação e União de Materiais (ISI C&UM) no SENAI-CIMATEC (Salvador, Bahia-Brasil) e Professor convidado na TU Berlin, Alemanha (desde 2010). Atua como Revisor em 05 Periódicos Internacionais Indexados. Tem experiência nas áreas de processos de fabricação, propriedades mecânicas dos materiais e caracterização microestrutural, com ênfase em metalurgia física, soldagem, métodos de difração com raios-X de laboratório, luz síncrotron e nêutrons bem como com elétrons retroespalhados no MEV (EBSD).

Thaise Campos Alves

Mestre em Engenharia e Ciências Mecânicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Possui graduação em Engenharia de Produção pela Sociedade Educacional de Santa Catarina (2014). Atualmente é Analista em planejamento da Multibras S/A Eletrodomésticos. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Engenharia do Produto.

Thiago Barros Murari

Doutor em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial pelo SENAI CIMATEC (2016). Atualmente é professor do PPG em Gestão e Tecnologia Industrial (GETEC) no Centro Universitário SENAI-CIMATEC e analista de produto no Estudo de Design da Ford Motor Company Brasil.

Trazibulo Henrique Pardo Casas

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Feira de Santana (1984), mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1991) e doutorado em Informática na Educação pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2003). Atualmente é professor adjunto b da Universidade Estadual de Feira de Santana. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Informática na Educação, atuando principalmente nos seguintes temas: informática, informática na educação, educação matemática e educação, ciência cognitiva, cibercultura, filosofia e tecnologia, difusão do conhecimento.

Valter de Senna

Pós-doutorado em Probabilidade e Estatística pela Universidade de Southampton (1985). Doutorado em Pesquisa Operacional - University of Southampton (1983). Mestrado em Pesquisa Operacional - University of Southampton (1977), Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1974), e Graduação em Matemática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1970). Atualmente é Professor Associado do SENAI Cimatec e docente do Programa de Pós-graduação em Modelagem Computacional e Tecnologia Industrial. Tem experiência na área de Modelos Matemáticos e de Pesquisa Operacional, Probabilidade e Estatística Aplicadas, Áreas de Interesse: Analytics; Modelos Estatísticos e Matemáticos em Medicina; Séries Temporais.

ÍNDICE REMISSIVO

A

análise 17, 18, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 32, 38, 40, 51, 83, 87, 97, 98, 99, 100, 101, 106, 107, 109, 111, 117, 123, 130, 141, 142, 146, 153, 156, 158, 159, 161, 162, 163, 165, 166, 169, 183, 195, 201, 203, 205, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 235, 241, 248, 263, 267, 275, 285, 289, 293, 296, 301, 307, 308, 309
ANP 19, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 161, 201
aplicações 17, 18, 19, 20, 75, 80, 84
automotiva 18, 47, 50, 162, 306, 309
avaliação 18, 19, 50, 83, 91, 92, 101, 108, 116, 117, 119, 123, 128, 203, 208, 210, 212, 215, 217, 220, 223, 228, 230, 231, 235, 236, 237, 238, 245, 248, 259, 260, 263, 264, 266, 267, 268
avaliação quantitativa 19, 263

B

Banco do Brasil 18, 80, 81, 107, 108, 300
bateria 19, 112, 114, 117, 119, 120, 123, 124, 125, 126, 128, 131

C

ciclo de vida 19, 112, 113, 116, 117, 118, 119, 127, 129, 131, 132, 133, 198, 200, 203, 246
ciência 138, 161, 180, 302, 308, 310
competitividade 18, 137, 308
concessão 18, 85, 108
conhecimento 16, 18, 47, 48, 50, 53, 54, 55, 56, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 82, 140, 157, 158, 159, 160, 164, 165, 168, 169, 180, 196, 197,

228, 246, 247, 248, 252, 253, 255, 271, 274, 277, 282, 283, 289, 290, 293, 294, 296, 302, 308, 310
corporações 19, 245, 247, 248, 249, 252, 255, 256, 257, 261, 268
crédito 18, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 105, 106, 107, 108, 109, 111

D

decisões 19, 109, 138, 139, 140, 141, 142, 145, 146, 155, 157, 160, 161, 195, 196, 197, 217, 251, 267
desafios 19, 24, 51, 75, 245, 264
desenvolvimento 17, 18, 29, 30, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 81, 86, 110, 114, 116, 117, 130, 132, 139, 140, 141, 142, 145, 148, 151, 153, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 165, 169, 192, 195, 197, 198, 202, 204, 205, 217, 223, 226, 229, 233, 235, 240, 242, 245, 247, 250, 251, 252, 254, 255, 256, 260, 263, 269, 300, 302, 305, 306, 308, 309

E

equações 19, 172, 173, 175, 178, 188, 190, 192, 294
equações não lineares 19, 173, 178, 190
estudo de caso 18, 47, 82, 113, 248

F

fabricação 19, 50, 51, 61, 100, 101, 116, 126, 202, 222, 229, 232, 309

G

G7 18, 22, 24, 35, 36, 37, 38, 39, 40

H

habilidades 18, 47, 49, 52, 53, 54, 60, 61, 69, 73, 74, 75, 226, 252
habilitação 19, 105, 106, 107, 222, 223, 236, 238, 239, 240

I

indústria 17, 18, 47, 48, 50, 53, 58, 60, 74, 75, 94, 96, 97, 101, 113, 115, 135, 139, 140, 145, 253, 255, 308, 309
inovação 19, 20, 54, 61, 86, 138, 140, 141, 145, 161, 197, 245, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 261, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 302, 308
instituições 10, 19, 59, 85, 93, 138, 139, 140, 249, 250, 257, 304, 307
interdisciplinar 17, 52, 61, 62
intervenção 18, 91

L

linguagem 17, 54
linha de crédito 18, 78, 81, 82, 83, 93, 95, 105, 106, 108, 109

M

manufatura 17, 19, 51, 52, 53, 124, 125, 222, 240
matemática 19, 20, 97, 273, 276, 295, 297, 301, 306, 310
MCDA 18, 82, 83, 84, 89, 91, 102, 105, 108, 111
mediação 17
melhoria ambiental 19
mestrado 9, 17, 19, 273, 274, 275, 276, 279, 282, 295, 299, 302, 303, 305, 306, 307, 308, 309, 310
método 28, 34, 72, 84, 85, 88, 90, 91, 92, 98, 102, 107, 123, 140, 141, 161, 182, 195, 197, 201, 202, 206, 207, 211, 214, 231, 232, 233, 275, 276, 298
metodologia 17, 18, 19, 20, 24, 25, 28, 30, 32, 33, 34, 38, 50, 56, 58, 59, 60, 62, 81,

82, 106, 108, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 162, 198, 201, 202, 205, 208, 209, 215, 216, 308
modelagem 16, 17, 18, 19, 52, 62, 66, 73, 80, 88, 171, 172, 173, 184, 190, 191, 205, 206, 217, 223, 235, 236, 238, 240, 302, 305, 306
modelo 19, 28, 48, 52, 54, 55, 63, 67, 74, 75, 81, 88, 91, 93, 109, 113, 138, 139, 141, 142, 155, 160, 162, 183, 184, 187, 189, 190, 191, 197, 204, 205, 206, 207, 214, 215, 223, 235, 238, 239, 240, 245, 248, 249, 251, 259, 260, 261, 262, 263, 265, 266, 267, 268, 271, 297
multicritério 18, 19, 78, 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 101, 106, 108, 109, 197, 198, 200, 201, 216

O

oportunidades 17, 19, 23, 28, 29, 60, 72, 229, 245, 247, 252, 257, 258, 264, 268
organizações 16, 56, 60, 61, 90, 142, 145, 158, 160, 163, 165, 166, 168, 169, 196, 246, 247, 248, 251, 252, 253, 254, 255, 267, 268, 308

P

países 18, 21, 22, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 80, 140
paridade 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 36, 37, 38, 39, 40, 41
políticas 18, 24, 30, 41, 153, 157, 159, 161, 167, 252, 308
políticas públicas 18, 308
pós-graduação 17, 20, 145
preocupação ambiental 19, 113
processo decisório 18, 78, 81, 83, 89, 90, 98, 139, 141, 195, 216
produtividade 18, 50, 51, 86, 139, 140
produtos 18, 19, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 58, 62, 72, 74, 81, 100, 111, 119, 140, 142, 146, 153, 154, 156, 158, 159, 160, 165,

166, 167, 168, 169, 194, 195, 196, 197,
198, 199, 203, 204, 205, 206, 208, 216,
217, 233, 246, 247, 252, 253
programas 9, 10, 11, 19, 20, 75, 130, 245,
248, 250, 261, 273, 279, 282, 289
próteses 19, 223, 227, 229, 230, 231, 232,
236, 238, 240, 241

R

ramo automotivo 18
reabilitação 19, 222, 223, 227, 230, 231,
236, 239, 240
redes 20, 61, 74, 140, 142, 146, 261, 265,
271, 273, 274, 275, 276, 277, 279, 280,
281, 284, 285, 288, 293, 295, 296, 297,
302, 309
regressões fractais 18, 21, 22, 24, 32, 35,
38, 40

S

serviços 18, 50, 51, 54, 72, 81, 85, 94, 95,
96, 97, 111, 119, 140, 142, 158, 159, 160,
165, 166, 167, 168, 169, 226, 246, 247
simulações 17, 55, 248, 260, 264, 267
sistemas complexos 16, 17, 18, 19, 170,
172, 173, 191, 246, 301

sociedade 19, 20, 80, 139, 140, 148, 157,
158, 160, 163, 164, 165, 196, 224
startups 19, 245, 247, 248, 249, 250, 252,
255, 256, 257, 261, 263, 267, 268, 270

T

taxas 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 32, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 81, 93,
204, 205, 250
tecnologia 51, 52, 56, 114, 116, 129, 138,
161, 195, 198, 199, 200, 208, 210, 216,
226, 230, 236, 255, 302, 308, 310
tecnologias 18, 50, 52, 61, 62, 74, 132, 140,
148, 233, 242, 247, 249, 302
temáticas 19, 20, 82, 273, 274, 275, 276,
277, 294, 295
tomadas de decisões 19, 138, 140, 141, 161
transformações 18, 49, 55, 61

V

veículo 19, 50, 65, 112, 113, 114, 117, 118,
120, 131, 132, 255
veículos 19, 50, 113, 114, 115, 116, 124,
130, 132, 137, 227

www.pimentacultural.com

Construção do conhecimento em organizações na perspectiva da modelagem de processos industriais e sistemas complexos

SÉRIE COMPARTILHANDO SABERES
VOLUME 3

Sistema FIEB

