

Resiane Silveira (Org.)

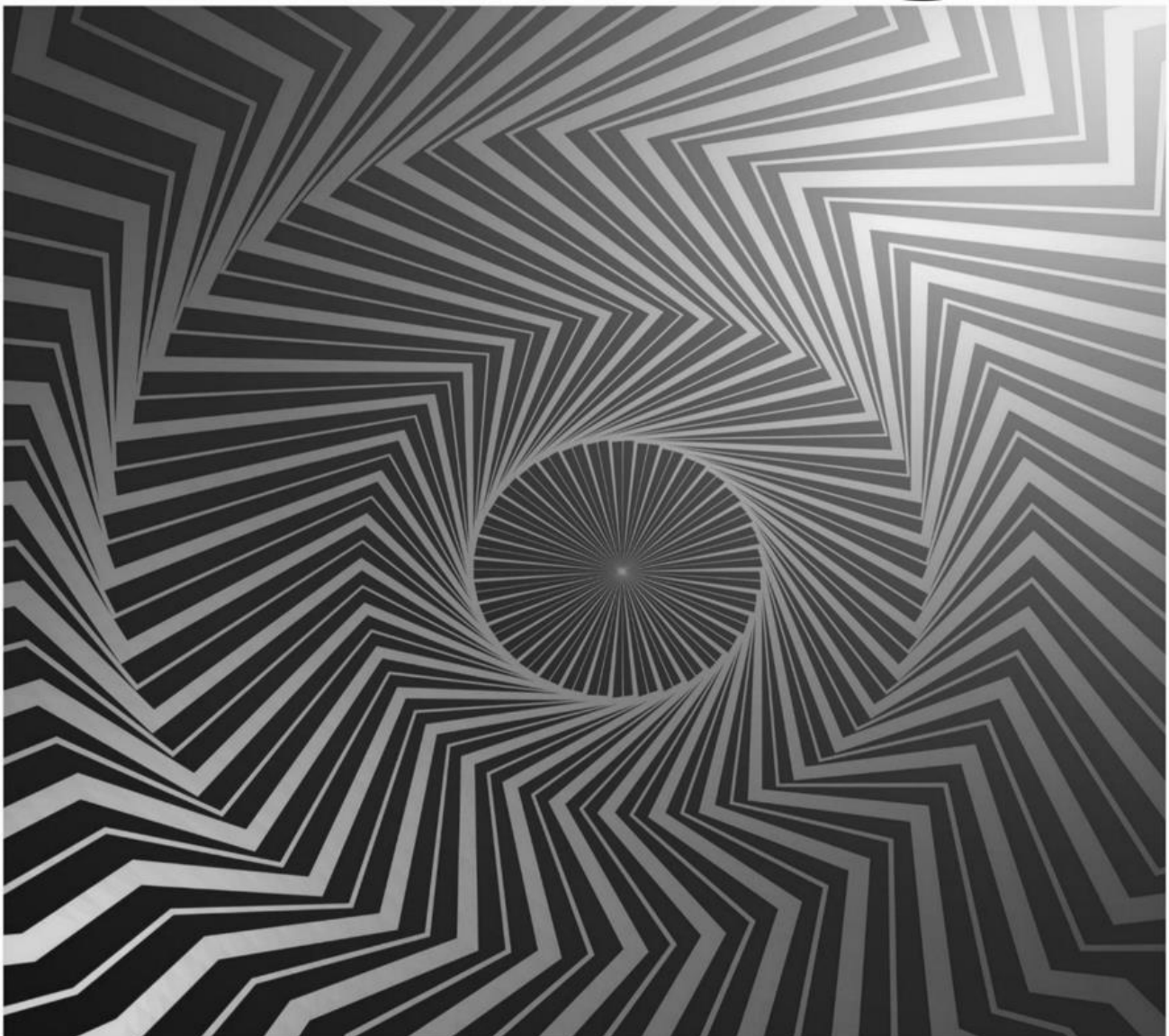
inovações e avanços em Ciência e Tecnologia



V.2 - 2024

Resiane Silveira (Org.)

inovações e avanços em Ciência e Tecnologia



v.2 - 2024


Editora
UNIESMERO

2024 – Editora Uniesmero

www.uniesmero.com.br

uniesmero@gmail.com

Organizadora

Resiane Paula da Silveira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editoração e Arte: Resiane Paula da Silveira

Imagens, Arte e Capa: Freepik/Uniesmero

Revisão: Respectiveos autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Tatianny Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Me. Elaine Freitas Fernandes, Universidade Estácio de Sá, UNESA

Me. Laurinaldo Félix Nascimento, Universidade Estácio de Sá, UNESA

Ma. Jaciara Pinheiro de Souza, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Dra. Náyra de Oliveira Frederico Pinto, Universidade Federal do Ceará, UFC

Ma. Emile Ivana Fernandes Santos Costa, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Me. Rudvan Cicotti Alves de Jesus, Universidade Federal de Sergipe, UFS

Me. Heder Junior dos Santos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP

Ma. Dayane Cristina Guarnieri, Universidade Estadual de Londrina, UEL

Me. Dirceu Manoel de Almeida Junior, Universidade de Brasília, UnB

Ma. Cinara Rejane Viana Oliveira, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Esp. Jader Luís da Silveira, Grupo MultiAtual Educacional

Esp. Resiane Paula da Silveira, Secretaria Municipal de Educação de Formiga, SMEF

Sr. Victor Matheus Marinho Dutra, Universidade do Estado do Pará, UEPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S587i	Silveira, Resiane Paula da Inovações e Avanços em Ciência e Tecnologia - Volume 2 / Resiane Paula da Silveira (organizador). – Formiga (MG): Editora Uniesmero, 2024. 102 p. : il. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5492-075-9 DOI: 10.5281/zenodo.11462787 1. Ciência e Tecnologia. 2. Inovações e Avanços. 3. Inovação Tecnológica. I. Silveira, Resiane Paula da. II. Título. CDD: 607 CDU: 001
-------	--

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora Uniesmero
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.uniesmero.com.br
uniesmero@gmail.com
Formiga - MG
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.uniesmero.com.br/2024/06/inovacoes-e-avancos-em-ciencia-e.html>



AUTORES

**ANDRÉ INÁCIO DO CARMO
CLEITON TAMANINI
FABIANA FERREIRA SILVA
FILIPE WILTGEN
WAGNER COMENALE
WASHINGTON FERREIRA SILVA**

APRESENTAÇÃO

A ciência e a tecnologia, entrelaçadas em uma dança constante de questionamento e inovação, desafiam-nos a transcender os limites do que é conhecido e a vislumbrar o horizonte do desconhecido. Neste espaço de reflexão e descoberta, cientistas e engenheiros são os arquitetos do amanhã, construindo pontes sobre o abismo do desconhecido e iluminando os recantos mais sombrios da ignorância com a luz da compreensão.

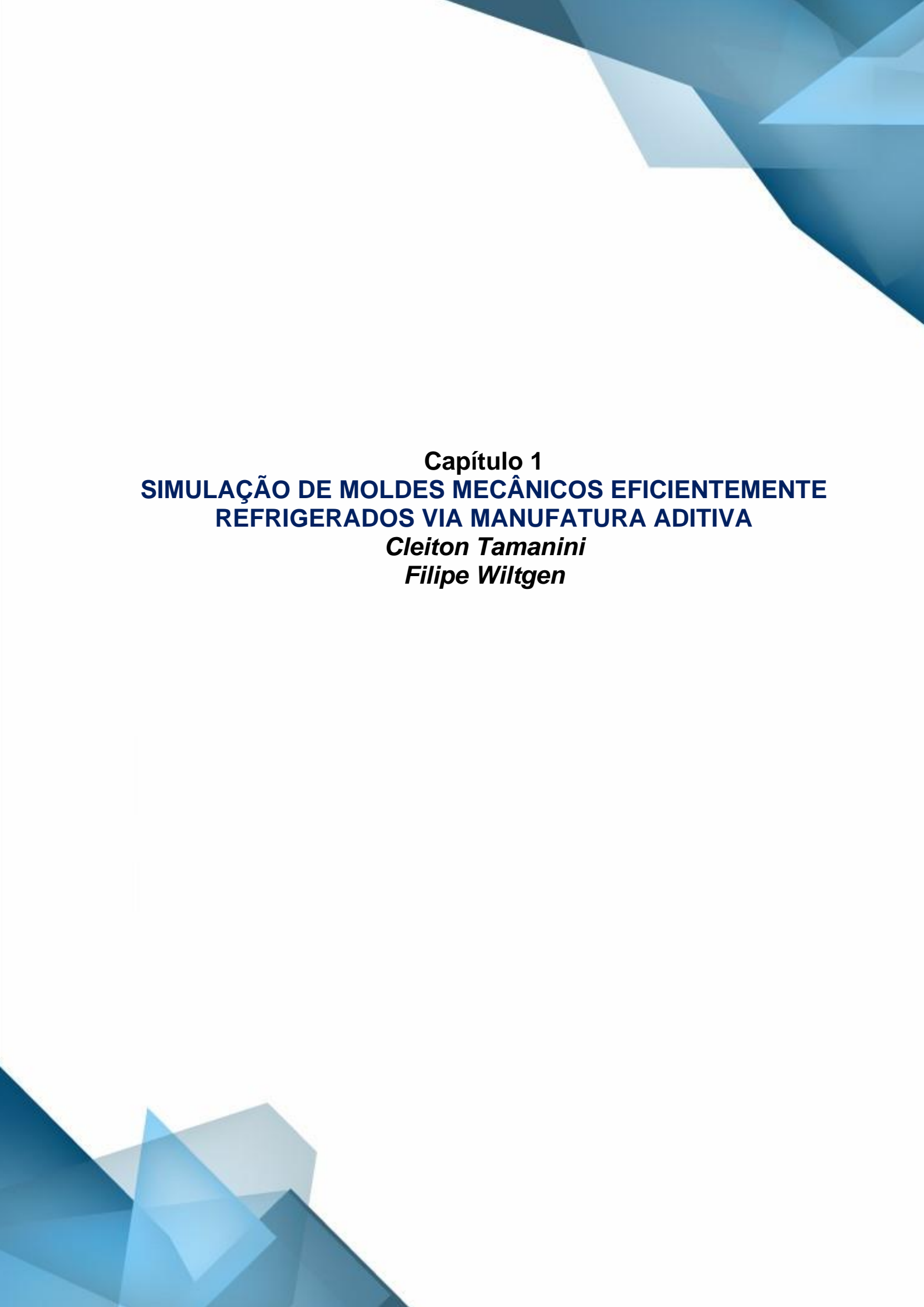
Ao longo dos séculos, a humanidade tem sido marcada por uma busca incessante pelo entendimento mais profundo do mundo que nos cerca e pelas ferramentas para moldar esse mundo de acordo com nossas aspirações. É nesse contexto que a ciência e a tecnologia emergem como as bússolas e as locomotivas de nosso progresso, guiando-nos através das complexidades do universo e impulsionando-nos em direção a novos horizontes de possibilidade.

Num mundo imerso em um incessante fluxo de transformação, é na intersecção entre ciência e tecnologia que vislumbramos os raios da esperança, desvendando os mistérios do cosmos e desbravando os horizontes do conhecimento.

Espera-se que a obra possa inspirar as mentes curiosas e incitar a busca pelo entendimento que saudamos a publicação deste trabalho notável. O livro busca ser um testemunho do poder transformador da ciência e da tecnologia, e como um lembrete constante de que, através da exploração e da inovação, podemos moldar um mundo mais promissor para as gerações vindouras.

SUMÁRIO

Capítulo 1 SIMULAÇÃO DE MOLDES MECÂNICOS EFICIENTEMENTE REFRIGERADOS VIA MANUFATURA ADITIVA <i>Cleiton Tamanini; Filipe Wiltgen</i>	8
Capítulo 2 FONTES DE INOVAÇÃO UTILIZADAS POR EMPRESAS DE PEQUENO PORTE NO APL DE CONFECÇÕES DO AGRESTE PERNAMBUCANO <i>André Inácio do Carmo; Fabiana Ferreira Silva; Washington Ferreira Silva</i>	27
Capítulo 3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA FABRICAÇÃO DE PNEUS UM CAMINHO PARA A MANUFATURA AVANÇADA <i>Wagner Comenale; Filipe Wiltgen</i>	47
Capítulo 4 CULTURA PROJETUAL: UMA POSSÍVEL SISTEMATIZAÇÃO DE CONCEITOS SOBRE DESIGN E TECNOLOGIA <i>Washington Ferreira Silva; André Inácio do Carmo; Fabiana Ferreira Silva</i>	70
Capítulo 5 O DILEMA E O DESAFIO DO EQUILÍBRIO ENERGÉTICO MUNDIAL <i>Filipe Wiltgen</i>	83
AUTORES	100



Capítulo 1
SIMULAÇÃO DE MOLDES MECÂNICOS EFICIENTEMENTE
REFRIGERADOS VIA MANUFATURA ADITIVA
Cleiton Tamanini
Filipe Wiltgen

SIMULAÇÃO DE MOLDES MECÂNICOS EFICIENTEMENTE REFRIGERADOS VIA MANUFATURA ADITIVA

Prof. Me. Cleiton Tamanini

<https://orcid.org/0000-0002-8005-3895>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Mecânico (2015) pelo Centro Universitário Anhanguera de São Paulo. Mestre (2022) em Engenharia Mecânica, pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Proprietário de empresa do ramo de automação, detecção e alarme de incêndio e segurança eletrônica, prestando serviços de manutenção, instalação, programação e projetos (2020 – Presente); Coordenador de projetos na Johnson Controles BE do Brasil, na área de automação, detecção e alarme de incêndio e segurança eletrônica (2012 – 2020).

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/2930488672615726).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Cleiton-Tamanini). Google Acadêmico

(scholar.google.com.br/citations?user=m99kQ4oAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao).

CleitonTamanini@hotmail.com

Writer, Researcher and Mechanical Engineer (2015) from Centro Universitário Anhanguera de São Paulo. Master (2022) in Mechanical Engineering, from the University of Taubaté (UNITAU in Taubaté). Owner of a company in the field of automation, fire detection and alarm and electronic security, providing maintenance, installation, programming and project services (2020 – Present); Project coordinator at Johnson Controles BE do Brasil, in the area of automation, fire detection and alarm and electronic security (2012 – 2020).

Lattes CNPq CV (lattes.cnpq.br/2930488672615726).

ResearchGate Document Base (www.researchgate.net/profile/Cleiton-Tamanini).

Google Scholar (scholar.google.com.br/citations?user=m99kQ4oAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao).

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA em São José dos Campos). Considerando apenas o tempo mais recente na docência, de 2017 a 2023 como professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo (IFSP em Campinas) durante 2022 e 2023, nos cursos de técnico em Eletrônica e graduação em Eng. Elétrica. Professor, Coordenador de curso e Diretor Substituto na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC em Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial, Gestão da Produção Industrial e Automação Industrial.

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

*Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).
Google Acadêmico (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao). Currículo FAPESP (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).*

ProfWiltgen@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@fatec.sp.gov.br

Writer, Researcher and Electrical Engineer (1994) from the University of Taubaté (UNITAU in Taubaté). Master (1998) and PhD (2003) in Electronic Devices and Systems, in area of Controlled Thermonuclear Fusion, from the Institute of Aeronautical Technology (Instituto de Tecnologia de Aeronáutica – ITA in São José dos Campos). Considering only most recent time in teaching, from 2017 to 2023 as professor in Master's Program in Engineering, and Coordinator of Specialization Course in Photovoltaic Solar Energy at the University of Taubaté. Professor at the Federal Institute of Education, Science and Technology in the State of São Paulo (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo – IFSP in Campinas) during 2022 and 2023, in Electronics technician and undergraduate courses in Electrical Engineering. Professor, Course Coordinator and Substitute Director at Faculty of Technology of State of São Paulo (Faculdade de

Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC in Pindamonhangaba), since 2021 in courses of Mechanical Projects, Industrial Maintenance, Industrial Production Management and Industrial Automation.

Lattes CNPq CV (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

ResearchGate Document Base (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).

Google Scholar (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao).

FAPESP Curriculum (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).

RESUMO

Para aumentar a produtividade e conseqüentemente o lucro, as indústrias buscam constantemente formas de ser mais eficiente. Um método muito utilizado para a fabricação de peças é a manufatura formativa, que possibilita produzir em larga escala, chamada de produção em massa. Esse método utiliza moldes mecânicos, que possuem uma ou mais cavidades com as dimensões geométricas do que se deseja produzir, além de canais de refrigeração internos ao molde que visam retirar calor da matéria-prima injetada, de forma a reduzir o tempo de solidificação para a extração das peças. Estes moldes podem ser fabricados por manufatura subtrativa, quando se retira material de um bloco para se esculpir essa cavidade e os canais de refrigeração, ou através da manufatura aditiva, quando se adiciona matéria-prima camada por camada para a construção do molde com a cavidade e os canais de refrigeração integrados. Na manufatura aditiva é possível fabricar um molde com canais de refrigeração com geometrias complexas que acompanham a cavidade, conhecidos como conformados, esses circuitos podem ser ramificados e/ou capilares a fim de distribuir melhor o fluido refrigerante pelo molde os quais não poderiam ser construídos por manufatura subtrativa. O aumento na eficiência da troca de calor leva a obtenção de peças com melhor qualidade, e também, reduz significativamente o ciclo de produção aumentando muito o número de peças que podem ser fabricadas. Utilizando um modelo tridimensional da peça para o molde mecânico é possível fazer uso de simulações que podem permitir a análise de preenchimento do molde, o que permite encontrar possíveis defeitos estruturais ou mesmo melhorias. Observando a dinâmica e o comportamento do fluxo de fluido refrigerante pelos canais de refrigeração é possível analisar parâmetros como pressão e temperatura, essenciais para a refrigeração de um molde mecânico. A pesquisa neste artigo apresenta os resultados de simulações realizadas com uma peça de geometria complexa e as análises advindas da utilização dos canais de refrigeração construídos via manufatura subtrativa, comparados aos canais construídos via

manufatura aditiva.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva, Moldes Mecânicos, Refrigeração de Moldes, Simulação Computacional.

ABSTRACT

To increase productivity and consequently profit, industries are constantly looking for ways to be more efficient. A method widely used for the manufacture of parts is formative manufacturing, which makes it possible to produce on a large scale, called mass production. This method uses mechanical molds, which have one or more cavities with geometric dimensions of what is desired to be produced, in addition to internal cooling channels to mold that aim to remove heat from injected raw material, in order to reduce the solidification time for parts extraction. These molds can be manufactured by subtractive manufacturing, when material is removed from a block to carve that cavity and the cooling channels, or through additive manufacturing, when raw material is added layer by layer to build the mold with the cavity, and integrated cooling channels. In additive manufacturing it is possible to manufacture a mold with cooling channels with complex geometries that accompany the cavity, known as conformed, these circuits can be branched and/or capillary in order to better distribute coolant fluid through mold which could not be built by subtractive manufacturing. The increase in heat exchange efficiency leads to better quality parts, and also significantly reduces the production cycle, greatly increasing number of parts that can be manufactured. Using a three-dimensional model of part for mechanical mold, it is possible to make use of simulations that can allow the analysis of mold filling, which allows finding possible structural defects or even improvements. By observing the dynamics and behavior flow of refrigerant through cooling channels, it is possible to analyze parameters such as pressure and temperature, essential for cooling of a mechanical mold. The research in this paper presents results of simulations carried out with a part of complex geometry and analyzes arising from use of cooling channels built via subtractive manufacturing, compared to channels built via additive manufacturing.

Keywords: Additive Manufacturing; Mechanical Moulds; Mould Cooling; Computer Simulation.

1. INTRODUÇÃO

As indústrias buscam constantemente a redução de custos, modificando e aperfeiçoando seus processos para a melhoria na qualidade de seus produtos. Uma das estratégias utilizadas é a produção em massa, na qual se produzem muitas peças similares em espaços curtos de tempo, reduzindo significativamente o custo unitário da peça e da matéria-prima fazendo uso de manufatura formativa.

A manufatura formativa consiste em injetar matéria-prima pastosa em um molde mecânico com as características do produto final. Seu ciclo produtivo é baseado em um molde, no qual injeta-se matéria-prima quente e no estado físico próximo do líquido, fez-se circular um fluido refrigerante para extrair rapidamente o calor do molde para solidificar o material injetado, e retira-se a peça do molde no qual muitas vezes pronta para ser comercializada.

A construção de moldes é dispendiosa e requer cuidados. O molde deve ter as cavidades no formato correto do que será produzido, os pontos de injeção devem preencher o molde por completo, a refrigeração deve ser rápida e uniforme, entre outros, para se garantir qualidade e velocidade de produção.

A construção tradicional de um molde mecânico se dá por meio de manufatura subtrativa, quando se retira material para a fabricação da peça. Pode-se também, utilizar a manufatura aditiva para a construção de um molde, neste coloca-se o material para a fabricação da peça. Nesse processo da manufatura aditiva do tipo impressão 3D utiliza-se a fabricação com camadas sobrepostas utilizando um modelo computacional em 3D (ALCALDE e WILTGEN, 2018; WILTGEN, 2019).

Para o projeto dos canais de refrigeração, objeto de pesquisa neste artigo, a utilização de manufatura subtrativa limita a produção do molde a canais lineares, o que se resume a canais retilíneos interconectados no interior do molde, com a utilização de tampões para direcionar ou evitar vazamentos do fluido refrigerante ao longo do circuito. Entretanto, há de se observar que a utilização da manufatura aditiva traz liberdade para o desenvolvimento dos moldes mecânicos, possibilitando construir canais que acompanham a cavidade do molde, chamados de conformados, os quais possuem entre suas principais características permitir uma remoção de calor maior e mais rápida do molde, facilitando a solidificação e remoção da peça produzida, o que por consequência diminui o ciclo produtivo (COMENALE e WILTGEN, 2021).

Utilizar simulações computacionais no desenvolvimento de um molde mecânico é muito importante para o desenvolvimento de projetos (LOPES e WILTGEN, 2020; LOPES e WILTGEN, 2021 A; LOPES e WILTGEN, 2021 B).

Com sua análise e utilização como desenvolvimento as simulações ajudam a definir os parâmetros de funcionamento baseados nas observações dos comportamentos dos sistemas simulados, tanto de injeção de matéria-prima, quanto o comportamento dinâmico dos circuitos de refrigeração utilizados. Em última instância, as análises cuidadosas realizadas nos resultados das simulações

computacionais permitem também, construir melhores modelos digitais (desenhos em *CAD*), e desta forma, melhores protótipos (físicos e digitais) (LOPES *et al.*, 2022).

Nesse artigo é apresentada a viabilidade da utilização da manufatura aditiva por meio de simulações computacionais que permitem fazer a comparação entre três diferentes modelos de moldes mecânicos. Um molde com canais de refrigeração do tipo linear construídos via a manufatura subtrativa, e dois modelos distintos, construídos via manufatura aditiva um com canais de refrigeração conformados e outro com canais de refrigeração conformados, ramificados e capilares.

2. PRODUÇÃO EM MASSA E MANUFATURA FORMATIVA

A produção em massa através de manufatura formativa com a utilização de moldes é um dos processos mais utilizados pela indústria, sua principal função é reduzir o custo de fabricação através da produção de um grande número de peças similares, com qualidade no menor custo e tempo possíveis (CARRUPT e PIEDADE, 2021).

Produzir em grande escala exige um alto investimento, sobretudo em maquinários. Dado que a receita para uma larga produção via moldes depende da matéria-prima e da eficiência das máquinas de injeção e de seus moldes, um conjunto que deve ser sempre bem pensado para obter velocidade de produção com peças bem fabricadas. Se isso for seguido de forma eficiente, diminui o custo unitário do produto significativamente.

A manufatura formativa consiste em injetar matéria-prima em um molde, do qual é retirada uma peça no formato do produto idealizado após o término do processo de produção. Para processos industriais são muito utilizados moldes mecânicos, que são fabricados com espaços vazios com as dimensões geométricas do objeto a ser fabricado, chamados de cavidades, podendo haver várias delas, limitadas a capacidade da máquina injetora. Nessas cavidades é injetada a matéria-prima, quase sempre polímeros fundidos, que após sua solidificação, são retirados do molde que é aberto para que se extraia a peça, muitas vezes pronta para ser comercializada (LOPES *et al.*, 2022; CORDOVA, 2018).

Para utilizações industriais, os moldes mecânicos quase sempre são feitos em metal, como aço ou alumínio, e sua construção é robusta para que suportem vários ciclos de injeção, garantindo sua vida útil (DOMINGUES, 2015; BARETA, 2007).

O tipo de material varia de acordo com o que se deseja produzir, cada um com suas vantagens que devem ser bem observadas. Os moldes fabricados em aço têm uma vida útil maior, enquanto os fabricados em alumínio são mais leves e dissipam melhor o calor (DOMINGUES, 2015; EZELRUAKU, 2015).

Devido a velocidade e qualidade na produção, aliados ao conhecimento e maturidade tecnológica na área (WILTGEN, 2021 B), moldes mecânicos são uma das ferramentas mais utilizadas para se alcançar a produção industrial em escala (MARQUES *et al.*, 2015; SILVA, 2009).

3. MOLDES MECÂNICOS

Os moldes mecânicos, são uns dos ferramentais mais utilizados na indústria de transformação, que via de regra são baseadas fortemente em manufatura formativa e produção em escala (BARETA, 2007; DOMINGUES, 2015; HARADA, 2004; MARQUES *et al.*, 2015; TAMANINI e WILTGEN, 2021 B; TAMANINI e WILTGEN, 2022 A).

É possível construir um molde com mais de uma cavidade, ou seja, com mais de uma peça. Um só molde pode vir a possuir várias cavidades, ou seja, a produção de várias peças ao mesmo tempo, o que acelera a produção em escala (LOPES *et al.*, 2022; GOMES e WILTGEN, 2020).

Ao projetar um molde mecânico deve-se estar a atento a fatores importantes tais como, a localização e quantidade de pontos de injeção. Isso permite ao molde garantir o escoamento correto da matéria-prima no interior do molde de forma que seja possível preencher todas as cavidades no molde evitando defeitos como bolhas ou outros tipos de falhas construtivas (DIMLA *et al.*, 2005; DIMLA *et al.*, 2018).

Dentre estes cuidados, o projeto de um sistema de refrigeração eficiente também é importante. Um projeto de sistema de refrigeração em um molde é a construção física de diminutos dutos, chamados de canais, que permitem o escoamento de um fluido refrigerante que extrai o calor das peças nos moldes. Canais de refrigeração em moldes são importantes pois reduzem as tensões residuais nas peças, o que pode causar empenamentos, contrações, fragilidade ou rachaduras no produto final injetado (LOPES, 2022; HARADA, 2004).

A partir da injeção de matéria-prima no molde, inicia-se o processo de resfriamento. A princípio pela troca de calor da matéria-prima com o molde, esse

processo leva a contração do polímero, tornando necessário injetar mais matéria-prima e manter o sistema sob pressão para preencher eventuais espaços deixados por essa contração, esse processo recebe o nome de recalque. Após a finalização com a retirada das peças prontas e resfriadas, é dado início a um novo ciclo de injeção (DOMIINGUES, 2015; WU e TOVAR, 2018).

A refrigeração tem a função de retirar calor para uniformizar a temperatura no molde, o que acelera a solidificação da peça e o ciclo produtivo, além de ajudar a evitar defeitos estruturais no produto final (ALBA *et al.*, 2020; HARADA, 2004; FENG *et al.*, 2021). Entretanto, a refrigeração é o processo que consome mais tempo no ciclo produtivo em manufatura formativa, tornando significativa qualquer melhoria, principalmente quando será utilizada para produção em escala (MARQUES *et al.*, 2013; MARQUES *et al.*, 2014; PARK e DANG, 2017).

Para cumprir os requisitos de diminuir o ciclo produtivo e esfriar o molde de forma eficiente e uniforme, os canais de refrigeração fabricados no interior dos moldes, devem ser colocados o mais próximo possível de suas cavidades (LOPES *et al.*, 2022), tornando-os mais eficazes e possibilitando ao processo ser mais eficiente.

Existem muitos tipos de canais de refrigeração, mas basicamente estão relacionados a manufatura utilizada em sua fabricação. Quando estes canais de refrigeração são fabricados por manufatura subtrativa, são basicamente furos interconectados no interior do molde, com tampões que direcionam o fluxo e evitam vazamentos. Como são canais retilíneos, ou lineares, normalmente não conseguem acompanhar a cavidade do molde e nem retirar calor de forma eficiente (DIMLA *et al.*; SHAYFULL *et al.*, 2013).

Quando estes canais de refrigeração acompanham a cavidade do molde recebem o nome de conformados, como sua forma e construção é complexa são fabricados com o uso da manufatura aditiva (TAMANINI e WILTGEN, 2021A; TAMANINI e WILTGEN, 2021 B; TAMANINI e WILTGEN, 2022 A; TAMANINI e WILTGEN, 2022 B).

Por acompanhar a cavidade interna no molde, estes circuitos formados pelos canais de refrigeração não apresentam ângulos retos o que evita turbulências e aumenta significativamente a troca de calor (CHUNG, 2019; GRIES *et al.*, 2021).

Independente da sua forma de construção, estes canais podem ser classificados em série ou paralelo. Em série é quando há somente um circuito, com uma entrada e uma saída, fazendo com que o líquido percorra toda a extensão do

molde. Quando os canais são em paralelo, podem existir muitos circuitos, com várias entradas e saídas. Normalmente canais em paralelo costumam ser mais eficientes para distribuir o fluido refrigerante pelo molde.

Simulações e suas análises tem mostrado a eficiência dos canais de refrigeração do tipo conformados para a utilização de moldes mecânicos industriais apontando para melhoria significativa na qualidade do produto final e diminuição considerável do ciclo produtivo e aumento do lucro.

4. SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

O uso de simulações para o desenvolvimento de projetos possibilita realizar testes que só seriam possíveis com a construção de protótipos físicos em escala real (WILTGEN, 2019; LOPES *et al.*, 2022; TAMANINI e WILTGEN, 2022).

A realização de simulações possibilita análises de comportamento quando em funcionamento, ajudando na identificação de eventuais problemas e ajustes de parâmetros para a melhorias dos projetos. A utilização das simulações computacionais em modelos 3D com cálculos fluidodinâmicos diminui consideravelmente o tempo para alcançar a maturidade tecnológica (WILTGEN, 2021B; FU e MA, 2016, TAMANINI e WILTGEN, 2022). Os parâmetros utilizados nas simulações realizadas durante esta pesquisa com o programa *Moldex3D* (versão demo) podem ser vistos na Figura 1.



Figura 1. Parâmetros para simulação computacional no modelo de peça e moldes mecânicos da pesquisa.

Fonte: Próprios Autores (2022).

Para a refrigeração foram definidos outros parâmetros (considerações para refrigeração), tais como: tipo de fluido refrigerante, vazão, tempo de resfriamento entre outros, conforme pode ser visto na Figura 2.

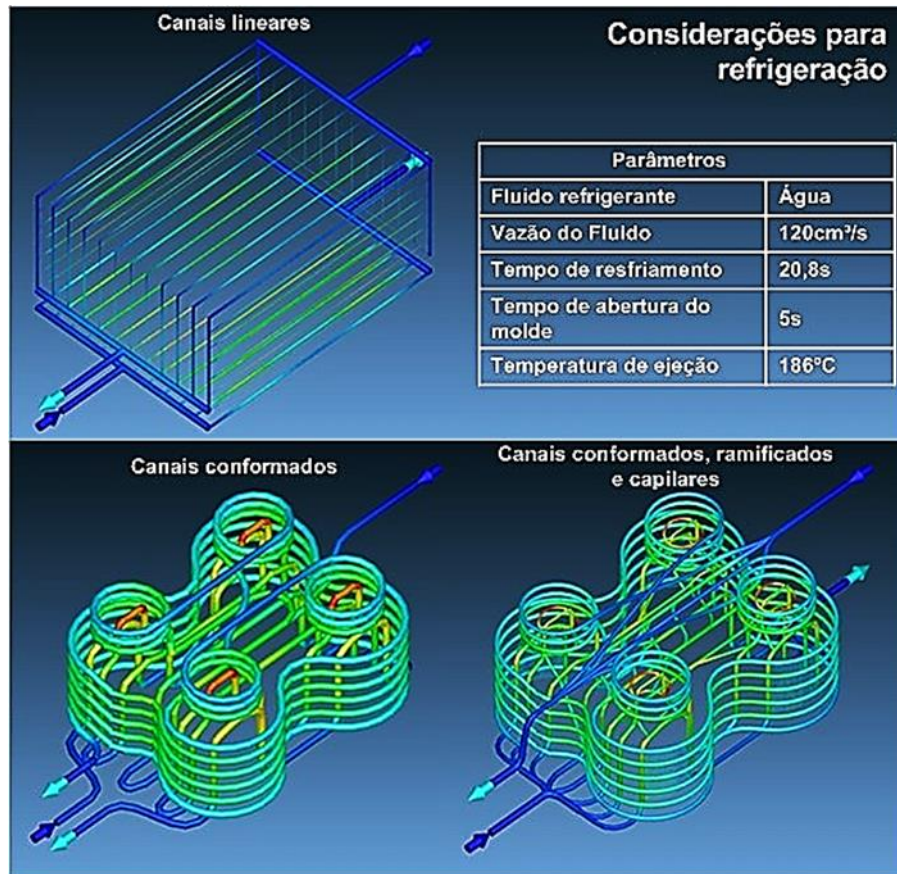


Figura 2. **Parâmetros para refrigeração para os três diferentes modelos de moldes mecânicos da pesquisa.**
 Fonte: Próprios Autores (2022).

A fim de obter uma comparação coerente dos parâmetros utilizados nas simulações (injeção e refrigeração) foram definidos o tipo de material e as dimensões do molde, assim como, ponto de injeção e refrigeração para todos os circuitos. Neste caso o diâmetro dos canais de refrigeração foi fixado em 8mm (entradas e saídas), diferenciando apenas no tipo de projeto para cada tipo de tecnologia construtiva.

Com os dados obtidos das simulações, foi possível realizar análises que permitiram desenvolver os circuitos com canais de refrigeração da melhor forma possível e dentro de suas limitações construtivas.

5. DESENVOLVIMENTO DE MOLDES MECÂNICOS

Para a fabricação de moldes mecânicos utilizou-se da manufatura subtrativa e da manufatura aditiva, cada qual com suas vantagens e desvantagens. A manufatura subtrativa é muito utilizada na indústria dado a maturidade e tradição sedimentada no processo, além do custo relativamente baixo. Lembrando que a manufatura subtrativa, como o nome diz, consiste na retirada de material para a fabricação de uma peça (TAMANINI e WILTGEN, 2022 A).

Apesar da maturidade tecnológica alta, a manufatura subtrativa apresenta muitas limitações e desvantagens na fabricação de moldes mecânicos realmente eficientes. Desperdício de matéria-prima, divisão do molde devido a complexidades construtivas, exigindo maior tempo de fabricação e de utilização. O que pode causar rebarbas e imperfeições. E o pior é que a refrigeração fica limitada a furos (canais) que não conseguem acompanhar a cavidade do molde, não sendo eficiente para a retirada de calor da peça processo (TAMANINI e WILTGEN, 2022 B).

Assim sendo, a pesquisa utilizou a manufatura aditiva como a melhor opção atual para a indústria de manufatura formativa. Devido a sua forma construtiva, não há desperdício de matéria-prima, um molde complexo pode ser fabricado em menos partes sem a necessidade de montagens ou encaixes, o que aumenta também a estanqueidade e resistência do molde aliada a redução de massa e assim do peso dos moldes (TAMANINI e WILTGEN, 2021 B).

Com as definições dos parâmetros, como pode ser visto na Figura 3, foi realizada a simulação sem canais de refrigeração com tempo de ~2,6s (injeção), temperaturas de ~300°C (ponto de injeção) e de ~280°C (pontos distantes). O tempo para a dissipação de calor após o ciclo de refrigeração foi de ~43,5s o que provavelmente apresentaria a fabricação de peças com defeitos inerentes a temperatura excessiva.

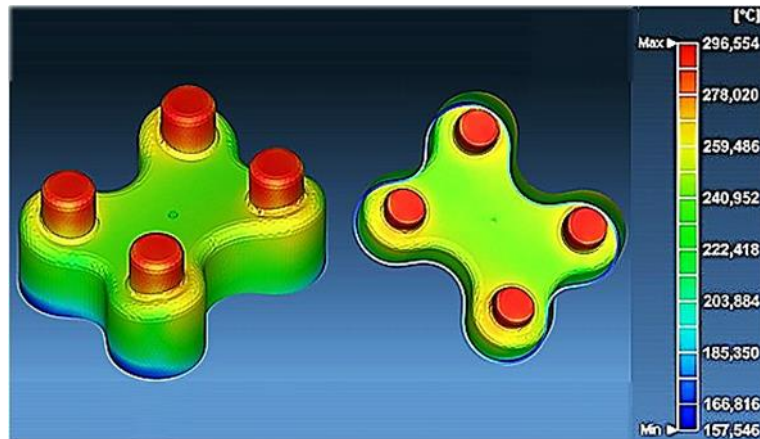


Figura 3. **Simulação dos moldes mecânicos sem os canais de refrigeração.** Fonte: Próprios Autores (2022).

É possível verificar na Figura 3 que é necessária a refrigeração para conseguir melhorar a eficiência do processo. No modelo com canais de refrigeração do tipo linear, a remoção de calor ficou em $\sim 14^{\circ}\text{C}$, com a diminuição do ciclo para ~ 6 minutos. Entretanto, com muitas diferenças de temperatura distribuídas na peça, como pode ser visto na Figura 4.

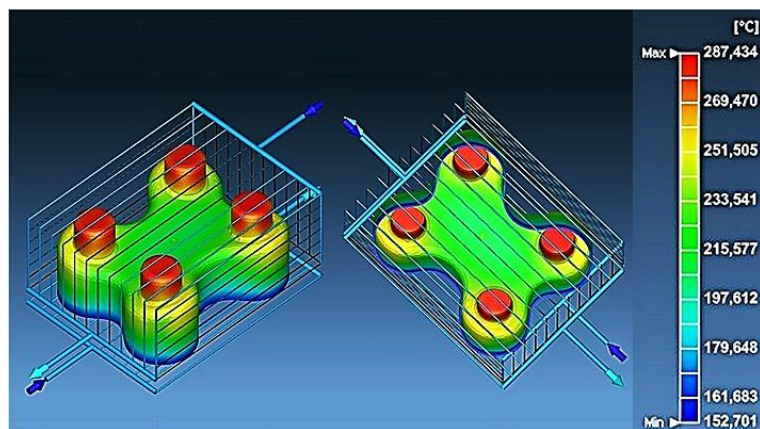


Figura 4. **Simulação dos moldes mecânicos com os canais de refrigeração lineares.** Fonte: Próprios Autores (2022).

Na Figura 4 nota-se claramente a necessidade de um circuito de refrigeração capaz de retirar e distribuir melhor o calor no molde, aumentando a eficiência do processo, para tanto foram projetados canais de refrigeração conformados.

A simulação com os canais de refrigeração conformados houve a diminuição da temperatura para $\sim 153^{\circ}\text{C}$ (final do ciclo), significando que o ciclo poderia ser diminuído para $\sim 34,5$ segundos, além de apresentar uma distribuição uniforme do calor nas áreas da peça. A simulação pode ser vista na Figura 5.

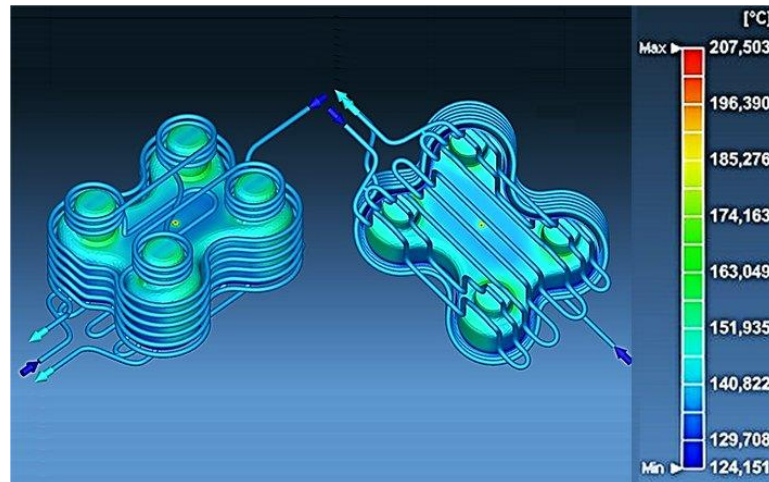


Figura 5. **Simulação dos moldes mecânicos com os canais de refrigeração conformados.**

Fonte: Próprios Autores (2022).

É possível observar na Figura 5 que apesar de retirar e distribuir melhor o calor, ainda é possível melhorar, o que pode significar um grande aumento de produção. Para tanto, os canais de refrigeração conformados devem direcionar o fluxo nas áreas mais quentes da peça, levando ao desenvolvimento de um circuito conformado, ramificado e capilar.

A simulação no circuito conformado, ramificado e capilar, mostra que $\sim 154^{\circ}\text{C}$ de temperatura foi removido, diminuindo o ciclo para $\sim 34,2$ segundos, representando grande uniformidade na temperatura na peça. Esta simulação pode ser vista na Figura 6.

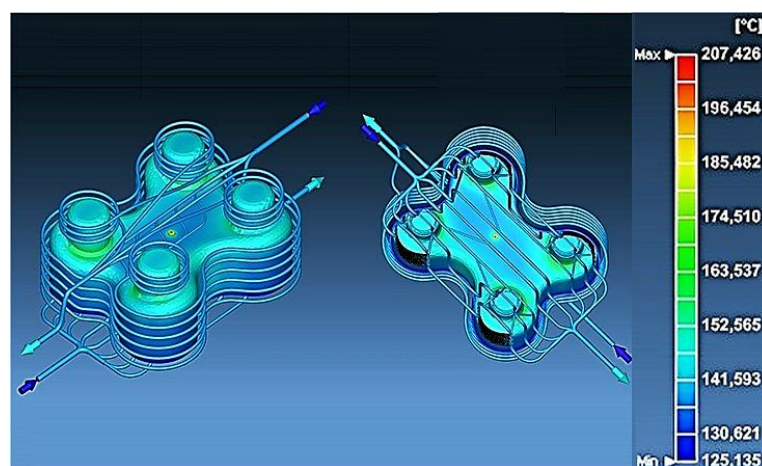


Figura 6. **Simulação dos moldes mecânicos com os canais de refrigeração conformados, ramificados e capilares.**

Fonte: Próprios Autores (2022).

A retirada e distribuição de calor desse modelo apresentado na Figura 6, mostrou-se melhor que os outros projetos simulados, representando um aumento significativo na produtividade.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com o auxílio das simulações foi possível verificar o funcionamento dos circuitos, realizando os aperfeiçoamentos necessários e chegar aos modelos mais eficientes. Para o caso de moldes mecânicos mais complexos, é importante fazer uso desta abordagem. Para a análise comparativa dos canais de refrigeração, tem-se o ciclo de injeção ajustado para ser de ~43,53 segundos e a temperatura necessária para a remoção da peça no molde em ~186°C. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Comparação entre os modelos de canais de refrigeração em moldes mecânicos simulados.

Tipo de molde	Tempo para ejeção (s)	Produção de peças			Ganho anual na produção (%)
		Dia	Mês	Ano	
<i>Sem refrigeração</i>	~1.650	~48	~1.440	~17.520	X
<i>Refrigeração linear</i>	~355	~240	~7.200	~87.600	~500%
<i>Refrigeração conformada</i>	~34,5	~2.504	~75.130	~914.087	~5.217%
<i>Refrigeração conformada, ramificada e capilar</i>	~34,2	~2.526	~75.789	~922.105	~5.263%

Fonte: Próprios Autores (2022).

Os dados obtidos demonstram a importância de um sistema de refrigeração adequado para moldes mecânicos. Um molde sem refrigeração, desconsiderando as perdas com peças defeituosas ou qualquer tipo de parada na produção, seriam produzidas ~17.520 peças por ano utilizando canais lineares, construídos com manufatura subtrativa. Entretanto, utilizando a manufatura aditiva seria possível produzir ~50 vezes mais essa quantidade.

Com a utilização da manufatura aditiva existe a possibilidade de se produzir em ~7 dias o que levaria ~1 ano para ser produzido sem refrigeração nenhuma, ou em ~35 dias seria possível alcançar a produção anual de um molde com refrigeração linear.

O projeto e o desenvolvimento de canais conformados, ramificados e capilares, possibilitou a diferença de ~8.018 peças, o que equivalem a metade da produção

anual de um molde sem refrigeração, ou 1/10 da produção com um molde com refrigeração linear, demonstrando o quanto a indústria tem perdido em produção com a utilização de moldes tradicionais.

7. CONCLUSÃO E PERSPECTIVAS

A produção em escala via manufatura formativa é economicamente viável devido a utilização de moldes mecânicos. Para o aprimoramento dos moldes mecânicos é necessário a utilização da manufatura aditiva tornando-os mais eficientes. A manufatura aditiva agiliza o processo de desenvolvimento, seja pela facilidade das modelagens em três dimensões digitais, seja pelo uso de simulações e cálculos que permitem a construção de protótipos e acelerando o molde final.

Um sistema de refrigeração eficiente só é possível com a utilização de canais de refrigeração, e os canais de refrigeração mais eficientes precisam de geometrias complexas no qual apenas a manufatura aditiva permite realizar. O tempo investido no projeto para o desenvolvimento de canais de refrigeração complexos do tipo conformados, ramificados e capilares se justifica com o aumento significativo da produção e da qualidade do produto final impactando consideravelmente no custo de fabricação, no preço final do produto e no lucro real na indústria.

REFERÊNCIAS

ALBA, A.T.; COLMENERO, J.M.M.; PERETE D.D.; DOÑATE C.M. **A New Conformal Cooling Design Procedure for Injection Molding Based on Temperature Clusters and Multidimensional Discrete Models**. MDPI Polymers, v.12, p.1-35, 2020.

ALBA, A.T.; COLMENERO, J.M.M.; GARCIA, J.D.C.; DOÑATE C.M. **A Hybrid Cooling Model Based on the Use of Newly Designed Fluted Conformal Cooling Channels and Fastcool Inserts for Green Molds**. MDPI Polymers, v.13, p.1-22, 2021.

ALCALDE, E.; WILTGEN, F. **Estudo das Tecnologias em Prototipagem Rápida: Passado, Presente e Futuro**. Revista de Ciências Exatas Universidade de Taubaté. v.24(02), p.12-20, 2018.

BARETA, D.R. **Estudo Comparativo e Experimental de Materiais Aplicados a Insertos Machos de Moldes de Injeção Dentro do Conceito de Molde Híbrido**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2007. 158p.

CARRUPT, M.C.; PIEDADE, A.P. **Modification of the Cavity of Plastic Injection Molds: A Brief Review of Materials and Influence on the Cooling Rates.** *Materials*, v.14, p.1-18, 2021.

CHUNG, C.Y. **Integrated Optimum Layout of Conformal Cooling Channels and Optimal Injection Molding Process Parameters for Optical Lenses.** *Applied Sciences*. v.9(20), p.1-17, 2019.

COMENALE, W.; WILTGEN, F. **Automação Industrial para a Manufatura Avançada com Apoio da Engenharia de Sistemas & Requisitos.** 11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, ABCM, Curitiba, 24 a 26 maio, p.1-9. 2021.

CORDOVA, B.B. **Otimização do Processo de Moldagem por Injeção do ABS via Métodos Estatísticos.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, 2018. 186p.

DIMLA, D.E.; CAMILOTTO, M.; MIANI, F. **Design and Optimisation of Conformal Cooling Channels in Injection Moulding Tools.** *Journal of Materials Processing Technology*. v.164, p.1294-1300, 2005.

DIMLA, E.; TRINIDAD, J.R.; GRANADA, A.A.G.; REYES G. **Thermal Comparison of Conventional and Conformal Cooling Channel Designs for a Non-Constant Thickness Screw Cap.** *Journal of The Korean Society for Precision Engineering*. v.35(01), p.95-10, 2018.

DOMINGUES, L.C.F. **Análise Comparativa do Uso de Tecnologias de Fabrico Rápido no Processo Produtivo de Elementos Moldantes para Moldes de Injeção de Plásticos.** Dissertação (Mestrado), Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2015. 133p.

EZELRUAKU, S. **Review of Additive Manufacturing and Characterization of Additive Manufacturing Machine.** Master Thesis. The University of New Mexico, Albuquerque, 2015. 59p.

FENG, S.; KAMAT, A.M.; PEI, Y.T. **Design and Fabrication of Conformal Cooling Channels in Molds: Review and Progress Updates.** *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.171 (121082), p.1-29, 2021.

FU, J; MA, Y., **Mold Modification Methods to Fix Warpage Problems for Plastic Molding Products.** *Computer-Aided Design & Applications*. v.13, p.138-151, 2016.

GOMES, J.; WILTGEN, F. **Avanços na Manufatura Aditiva em Metais: Técnicas, Materiais e Máquinas.** *Revista Tecnologia*, v.41(01), p.1-16, 2020.

GRIES, S.; MEYER, G.; WONISCH, A.; JAKOBI, R.; MITTELSTEDT, C. **Towards Enhancing the Potential of Injection Molding Tools Through Optimized Close-Contour Cooling and Additive Manufacturing.** *MDPI Materials*. v.14(3434), p.1-18. 2021.

HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos: Projetos e Princípios Básicos**. Artliber, 2004. 308p.

LOPES, M.; WILTGEN, F. **Manufatura Aditiva em Moldes Mecânicos**. IX Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia (CICTED 2020). Taubaté, 21-23 outubro, p.1-14, 2020.

LOPES, M.; WILTGEN, F. **Manufatura Aditivava na Indústria Automotiva Voltada para Sistemas de Segurança Veicular**. XLI ENEGEP Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Foz do Iguaçu, 18-21 outubro, p.1-16, 2021 A.

LOPES, M.; WILTGEN, F. **Manufatura Aditiva na Indústria Automotiva de Segurança Veicular**. X Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia e Desenvolvimento (CICTED 2021). Taubaté, 05-07 outubro, p.1-19, 2021 B.

LOPES, M. **Manufatura Aditiva Aplicada em Cintos de Segurança para Melhoria na Indústria Automobilística**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Taubaté - UNITAU, Taubaté, 2022. 195p.

LOPES, M.; TAMANINI C.; WILTGEN, F.; CRUZ F. **A Importância das Simulações na Manufatura Aditiva de Moldes Mecânicos**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v.7(01), p.396-420, 2022.

MARQUES, S.; SOUZA, A.F.; SANTOS, R.F.F. **Efeito do Conformal Cooling em um Molde de Injeção de Plástico por Simulação de Transferência de Calor**. 2º Seminário de Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade. Joinville, 27-29 novembro, p.1-17, 2013.

MARQUES, S.; SOUZA, A. F.; MIRANDA, J.; SANTOS, R.F.F. **Evaluating the Conformal Cooling System in Moulds for Plastic Injection by CAE Simulation**. 9º International Conference on Industrial Tools and Material Processing Technologies. Slovenia, 05-11 April, p.1-7. 2014.

MARQUES, S.; SOUZA, A. F.; MIRANDA, J.; YADROITSAU, I. **Design of Conformal Cooling for Plastic Injection Moulding by Heat Transfer Simulation**. Polímeros. v.25(6), p.564-574, 2015.

PARK, H.S.; DANG, X.P. **Development of a Smart Plastic Injection Mold with Conformal Cooling Channels**. 45th SME North American Manufacturing Research Conference NAMRC. Los Angeles, 4-8 June, v.45, p.48-59, 2017.

SHAYFULL, Z.; SHARIF, S.; ZAIN, A.M.; SAAD, R.M.; FAIRUZ, M.A. **Milled Groove Square Shape Conformal Cooling Channels in Injection Molding Process**. Materials and Manufacturing Processes. v.28, p.884-889, 2013.

SILVA, S.L. **Sistemática para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009. 150p.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. **Moldes com Múltiplos Canais de Refrigeração Via Manufatura Aditiva**. Workshop da UFABC em Engenharia Mecânica. São Bernardo do Campo, 27-29 setembro, p.1-14, 2021 A.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. **Fabricação de Moldes Mecânicos Via Manufatura Aditiva**. X Congresso Internacional de Ciência e Tecnologia (CICTED 2021). Taubaté, 20-22 outubro, p.1-20, 2021 B.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. **Manufatura Aditiva e as Mudanças na Indústria Automotiva**. Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia. v.13(90), p.104-118, 2022 A.

TAMANINI, C.; WILTGEN, F. **Canais de Refrigeração Ramificados e Capilares para Moldes Mecânicos Fabricados Via Manufatura Aditiva**. Congresso Nacional de engenharia Mecânica (CONEM 2022). Teresina, 07-11 agosto, p.1-8, 2022 B.

WILTGEN, F.; ALCALDE, E. **Prototipagem Rápida Aditiva Aplicada em Dispositivos Funcionais de Auxílio Humano**. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. São Carlos, 5-7 agosto, p.1-6. 2019.

WILTGEN, F. **Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico**. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. São Carlos, 5-7 agosto, p.1-4. 2019.

WILTGEN, F. **Manufatura Aditiva em Metais - Leve, Forte e Inovador**. Revista de Engenharia e Tecnologia. v.13(02), p.1-12, 2021 A.

WILTGEN, F. **Testing Plan in Systems & Requirements Engineering for Strategic Engineering Areas**. 26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM). Curitiba, 22-26 November, p.1-8, 2021 B.

WILTGEN, F. **Fabricação de Protótipos para Testes Experimentais**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v.14(02), p.9-22, 2022.

WU, T.; TOVAR, A. **Design for Additive Manufacturing of Conformal Cooling Channels Using Thermal-Fluid Topology Optimization and Application in Injection Molds**. 44th Design Automation Conference. Quebec City, Quebec, Canada. August 26–29, p.1-12, 2018.



Capítulo 2
FONTES DE INOVAÇÃO UTILIZADAS POR EMPRESAS DE
PEQUENO PORTE NO APL DE CONFECÇÕES DO
AGRESTE PERNAMBUCANO

André Inácio do Carmo
Fabiana Ferreira Silva
Washington Ferreira Silva

FONTES DE INOVAÇÃO UTILIZADAS POR EMPRESAS DE PEQUENO PORTE NO APL DE CONFECÇÕES DO AGRESTE PERNAMBUCANO

André Inácio do Carmo

Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, carmoandre2014@gmail.com

Fabiana Ferreira Silva

Professora do Departamento de Administração da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Doutora em Educação e Mestre em Administração (UFPE), fabiana.ferreirasilva@ufrpe.br

Washington Ferreira Silva

Professor do Departamento de Design da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Doutor em Design (UFPE), washington.ferreira@academico.ufpb.br

RESUMO

As empresas de pequeno porte precisam, constantemente, investir em inovação para desenvolverem-se de forma sustentável em um mercado altamente competitivo. Este trabalho teve como objetivo identificar as fontes de inovação utilizadas por empresas de pequeno porte que atuam no segmento do vestuário em Santa Cruz do Capibaribe-PE. Quanto aos procedimentos metodológicos, trata-se de uma investigação quantitativa, classificando-se como exploratória, estudo de caso e pesquisa de campo. Os dados foram coletados mediante a aplicação de questionários, cujos resultados foram sistematizados por meio da estatística descritiva. Dentre os principais resultados, verificou-se que 84,3% das empresas analisadas têm como principal fonte de inovação a participação em feiras e exposições na área do vestuário. Dentre as fontes internas, ressalta-se a importância dos funcionários como promovedores da inovação nas empresas, enquanto que fornecedores, clientes e consultores também desempenham papel importante como fonte externa de inovação. Destaca-se ainda que os centros educacionais de pesquisa

foram mencionados por poucos participantes do estudo como fonte de inovação. Por fim, é pertinente pontuar a necessidade de atualização do presente estudo em virtude da época em que foi realizado e atualmente as empresas atuarem em um novo contexto e terem à disposição novas fontes de informação para inovação, a exemplo da inteligência artificial.

Palavras-chave: Fontes de Inovação. Empresas de Pequeno Porte. Confecções.

ABSTRACT

Small companies constantly need to invest in innovation to develop sustainably in a highly competitive market. This work aimed to identify the sources of innovation used by small companies operating in the clothing segment in Santa Cruz do Capibaribe, Pernambuco, Brazil. As for methodological procedures, this is a quantitative investigation, classified as exploratory, case study and field research. Data were collected through the application of questionnaires, the results of which were systematized using descriptive statistics. Among the main results, it was found that 84.3% of the companies analyzed have as their main source of innovation participation in fairs and exhibitions in the clothing area. Among internal sources, the importance of employees as promoters of innovation in companies stands out, while suppliers, customers and consultants also play an important role as external sources of innovation. It is also noteworthy that educational research centers were mentioned by few study participants as a source of innovation. Finally, it is pertinent to highlight the need to update this study due to the time in which it was carried out and companies currently operating in a new context and having new sources of information available for innovation, such as artificial intelligence.

Keywords: Sources of Innovation. Small Businesses. Clothing.

1 INTRODUÇÃO

Atuar em um cenário altamente competitivo exige maior dinamicidade das organizações para adequar-se e desenvolver-se frente à instabilidade do mercado global. Quando se transpõe esses requisitos para o ambiente empresarial constata-se que as micro e pequenas empresas geralmente não dispõem de infraestrutura e conhecimento para sobreviver neste contexto. Tais dificuldades fazem com que estas empresas busquem alternativas para se tornarem mais competitivas através de conexões com outras organizações. Naturalmente ou de forma planejada, surgem diferentes tipos de redes interorganizacionais que integram vários atores e fortalecem as empresas de modo “geral”. Os Arranjos Produtivos Locais (APLs) correspondem a

uma das formas organizacionais através de redes, onde as relações viabilizam a troca de informações entre os seus agentes.

Segundo Muller et al. (2008), aglomerações produtivas propiciam um ambiente favorável ao compartilhamento de informações, habilidades, recursos e a atuação conjunta dos mais variados agentes, fazendo com que a inovação torne-se um aspecto estratégico para o desenvolvimento e a sustentabilidade dos Arranjos Produtivos Locais. Andrade e Cândido (2010) acrescentam que a maior incidência de capital social fornece um aporte para a consolidação de APLs, favorecendo o desenvolvimento local sustentável. Para esses autores, o capital social pode proporcionar diferentes tipos de inovação em regiões que possuem redes de empresas.

Considerando que o processo de inovação pode ser viabilizado pela disseminação de informações provenientes, tanto do ambiente interno e/ou externo, através da interação dos atores das organizações, esta pesquisa teve como objetivo identificar as fontes de inovação utilizadas por empresas de pequeno porte que atuam no segmento do vestuário localizadas, especificamente, em Santa Cruz do Capibaribe-PE. Esta delimitação justifica-se visto que, segundo Silva (2011), trata-se do município mais importante do APL de Confecções do Agreste Pernambucano.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A inovação apresenta-se como um benefício e um fator essencial à sustentabilidade das redes interorganizacionais, estando diretamente relacionada ao estágio mais elevado de desenvolvimento de Arranjos Produtivos Locais. Dessa forma,

no contexto das transformações econômicas, tecnológicas e político-institucionais das últimas décadas, a inovação assume uma importância estratégica. Para a promoção da inovação, são essenciais as características de cada território, a presença dos atores locais e a criação de redes formais e informais de cooperação, capazes de impulsionar processos de desenvolvimento territorial sustentáveis (MÉNDEZ, 2001, p. 01).

O meio inovador é, para este autor, um fator que deve ser considerado no desenvolvimento das redes. Neste contexto, o território não é visto como um cenário passivo e todos os atores que compõem e estão no entorno da rede são responsáveis

pela sua sustentabilidade. Assim, a inovação é vista como um fenômeno coletivo cujos resultados devem beneficiar todos que compõem o meio inovador.

As fontes de inovação para as empresas podem ser oriundas do seu ambiente interno ou externo. Na principal referência internacional em coleta e tratamento de indicadores sobre inovação, o Manual de Oslo, consta que a maioria das empresas tem uma larga gama de fontes potenciais de informações técnicas e que se faz necessário saber identificá-las. É importante fazer a distinção entre as fontes de mudança interna (endógena) e externa (exógena). Internamente, é provável que o interesse se concentre no papel (ou papéis) do departamento de P&D (Pesquisa & Desenvolvimento) e no envolvimento de todas as partes da empresa, particularmente da área de marketing, nas decisões de inovar e nas atividades de inovação.

Externamente, a responsabilidade vai para as instituições públicas de pesquisa como fontes de informações técnicas e sobre os fluxos de tecnologia entre as empresas do mesmo setor (parceiras e concorrentes). As atividades de inovação podem ser executadas dentro da empresa ou podem envolver a aquisição de bens, serviços ou conhecimento de fontes externas (OECD, 2006). De forma detalhada, as fontes de inovação podem ser:

Fontes internas (dentro da empresa ou do grupo empresarial): P&D dentro da empresa; *marketing*; produção; e outras fontes internas;

Fontes externas (de mercado/comerciais): concorrentes; aquisição de tecnologia incorporada; aquisição de tecnologia não incorporada; clientes ou fregueses; empresas de consultoria; fornecedores de equipamentos, materiais, componentes e *software*;

Instituições educacionais/pesquisa: instituições de ensino superior; institutos governamentais de pesquisa; institutos privados de pesquisa;

Informações geralmente disponíveis: divulgações de patentes; conferências, reuniões e jornais profissionais; feiras e mostras (OECD, 2006, grifos do autor).

Também é relevante destacar a existência de financiamentos provenientes de instituições cujo objetivo é incentivar a inovação nas empresas. Dentro desse contexto, as fontes de fundos podem ser próprias ou provenientes de organizações externas, como bancos, governo e/ou instituições de apoio à pesquisa e ao desenvolvimento.

Ainda sobre o Manual de Oslo, a versão vigente (OCDE, 2018) destaca que redes de conhecimentos facilitam a troca de informações tecnológicas e comerciais.

De um lado, as redes informais tendem a basear-se em contatos pessoais ou surgem no curso normal dos negócios. Já as redes formais podem ser orientadas por organizações de negócios, a exemplo das câmaras de comércio, associações de pesquisa, companhias de serviços tecnológicos, consultores, universidades, organizações públicas de pesquisa ou patrocinadas por recursos de governos locais, regionais ou centrais. Essas fontes de informações para inovação podem ser gratuitas ou não, como está ilustrado na Tabela 1:

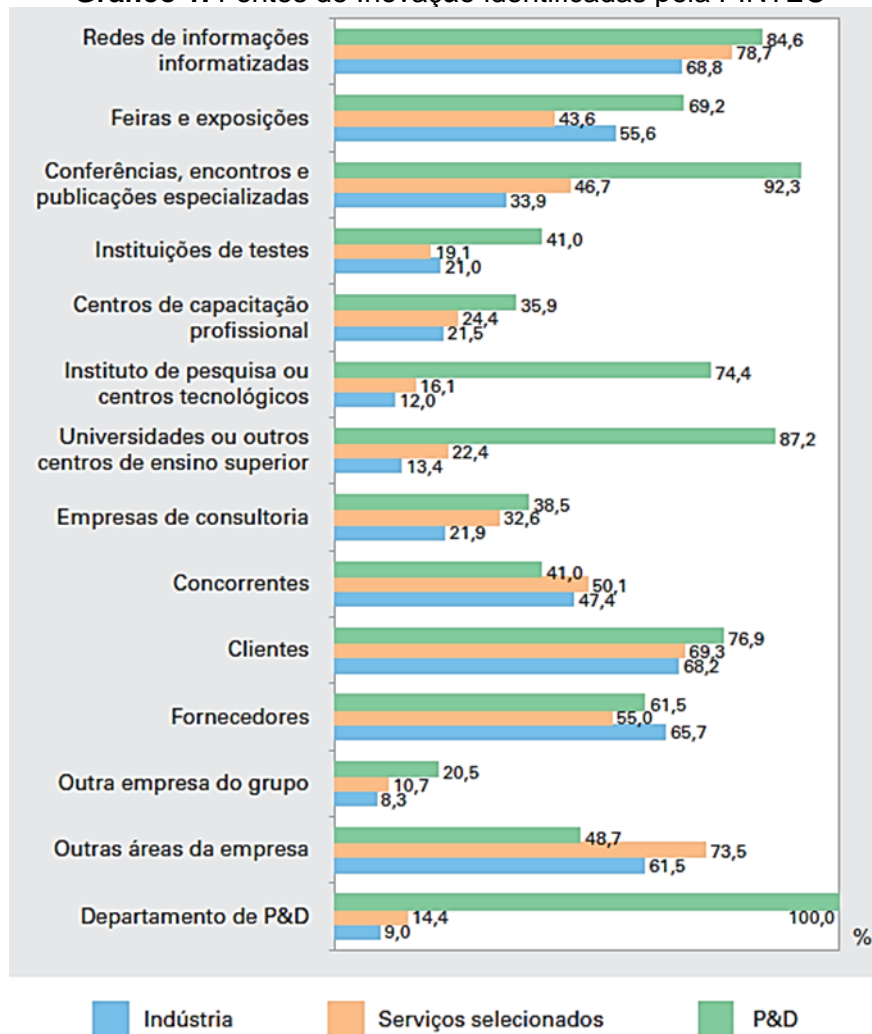
Tabela 1. Fontes para transferência de conhecimentos e tecnologias

	Fontes abertas de informação	Fontes para compras de conhecimentos e tecnologia	Parceiros para cooperação
Fontes no interior da empresa:	•		
P&D	•		
Produção	•		
Marketing	•		
Distribuição	•		
Outras empresas no grupo empresarial	•	•	•
Mercado externo e fontes comerciais:			
Concorrentes	•	•	•
Outras empresas na indústria	•	•	•
Clientes ou consumidores	•		•
Consultores/empresas de consultoria		•	•
Fornecedores de equipamentos, materiais, componentes			
Softwares ou serviços	•	•	•
Laboratórios comerciais	•	•	•
Fontes do setor público:			
Universidades e outras instituições de ensino superior	•	•	•
Institutos de pesquisa governamentais/públicos	•	•	•
Institutos de pesquisa privados e sem fins lucrativos	•	•	•
Serviços especializados públicos/semipúblicos de suporte à inovação	•	•	•
Fontes de informações gerais:			
Divulgação de patentes			
Conferências profissionais, encontros, publicações especializadas e jornais	•		
Feiras e exposições	•		
Associações profissionais, sindicatos trabalhistas	•		
Outras associações locais	•		
Contatos informais ou redes	•		
Padrões e agências de padronização	•		
Regulações públicas (ambiente, segurança)	•		

Fonte: Manual de Oslo (2018)

Além da referência internacional de inovação que é o Manual de Oslo, no Brasil existe a Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. No período de 2006-2008 foram identificadas as principais fontes de informação para inovação em empresas do nosso país, a saber:

Gráfico 1. Fontes de Inovação identificadas pela PINTEC



Fonte: Pesquisa de Inovação Tecnológica (IBGE, 2010)

É pertinente destacar, nos resultados da pesquisa expostos no Gráfico 01, que as principais fontes de inovação para as indústrias são **internas**, a partir de outras áreas da empresa (61,5%) e **externas**, através de seus clientes (68,2%), das redes de informações informatizadas (68,8%), dos fornecedores (65,7%), da participação em feiras e exposições (55,6%) e até de seus concorrentes (47,4%). Todos esses indicadores reforçam a importância da **interação** entre os principais atores de uma rede como provedores da aprendizagem e da inovação organizacional.

Em relação à atualização desses dados, a pesquisa de inovação mais recente publicada pelo IBGE (2022) não traz o detalhamento dessas fontes de informação para inovação nas empresas. Todavia, a referida pesquisa revelou que 47,6% de empresas de confecções de artigos do vestuário destacaram que a dificuldade para estabelecer parcerias constitui uma dificuldade para inovar em seus negócios.

Dentro desse contexto, Mitelka e Farinelli (2005) alertam que apesar dos aglomerados organizados apresentarem o potencial de serem inovadores, a simples concentração industrial não garante que a inovação acontecerá ou que terá sustentabilidade inovativa.

Dessa forma, a atuação em redes constitui uma inovação organizacional quando ultrapassa o modelo de gestão que prioriza ganhos individuais e passa a pensar na coletividade. Logo, a cooperação entre empresas de um aglomerado, visando à aprendizagem e à inovação, constitui uma eficiência coletiva ativa.

Por outro lado, quando a difusão de informações é proveniente da concentração espacial das organizações, caracteriza-se como uma eficiência passiva da coletividade. Schmitz (1997) diz que é necessário haver uma mudança das ações passivas para ativas, através das relações interorganizacionais, visando ao desenvolvimento dos aglomerados.

Bignetti et al. (2008) fizeram um levantamento nos principais eventos e períodos nacionais e internacionais sobre gestão da inovação e os estudos de Nelson e Winter destacaram-se em primeiro lugar dentre os mais referenciados no mundo. Segundo Dosi (2006), o modelo de Nelson e Winter apresenta a evolução das estruturas produtivas destacando que a concentração de empresas constitui uma função positiva para as oportunidades tecnológicas, analisando também as dificuldades de inovação imitativas.

Dessa forma, mostra-se a importância do estabelecimento de relações sociais entre as organizações, pois as empresas que cooperam têm estímulo para inovar por meio da aprendizagem em conjunto, tornando o processo de inovação sistêmico (SANTOS, 2005). Este autor lembra que dentro dos aglomerados, as relações sociais são importantes para o processo de inovação, haja visto que este é desenvolvido através do aprender praticando.

Segundo Alves et al. (2004), o processo de inovação em APLs, na perspectiva interativa e sistêmica, ganha crescente importância devido à consolidação de práticas cooperativas e aos processos de aprendizagem por interação. “Uma empresa não inova sozinha, pois pode se utilizar de informações e conhecimentos que se localizam também fora de seu ambiente” (LEMOS, 2001, p. 06). Isso porque a capacidade de geração, difusão e utilização de novos conhecimentos vem transcendendo a esfera da empresa individual e passando a depender da contínua interação entre as empresas e destas com outras organizações e instituições.

Por outro lado, Pèrez et al. (2004 apud GUIMARÃES; SILVA, 2008) sugerem que a inovação em contextos organizacionais depende também da intenção em adotar algo considerado novo na empresa. Percebe-se que a inovação só é disseminada em um ambiente se houver **prontidão organizacional**, espírito de colaboração e capacidade de absorção. Essas três competências organizacionais são imprescindíveis à implementação de atividades inovativas e relacionam-se diretamente com a **cultura do local** (HAFKESBRINK; SCHROLL, 2010, grifos nossos).

Logo, a partir da intenção em inovar, a organização mobilizará recursos para alcançar resultados positivos viabilizados pelo processo de pré-disposição à aprendizagem. O conceito de organização que aprende demonstra aplicabilidade principalmente em organizações em que as relações interpessoais entre os membros organizacionais são saudáveis, com comunicação ampla e aberta, onde a inovação e mudança são incentivadas, aceitas e as pessoas percebem a interdependência entre suas atividades.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta pesquisa foi delineada, a priori, à luz da classificação proposta por Vergara (2016). Quanto aos fins, foi desenvolvida uma pesquisa exploratória, devido à inexistência de estudos que investigassem, na época, fontes de inovação em empresas do vestuário da cidade analisada; quanto aos meios, a pesquisa foi estruturada sob a forma de estudo de caso uma vez que investigou, detalhadamente, determinado contexto; por fim, foi realizada uma pesquisa de campo, aplicando-se um questionário a uma amostra representativa de empresários do município.

Trata-se de uma pesquisa de natureza quantitativa, tendo como universo o Arranjo Produtivo Local de Confecções do Agreste Pernambucano. No momento da coleta de dados, no ano de 2010, esse APL possuía cerca de 12.000 (doze mil) empreendimentos segundo dados da última pesquisa realizada na região pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE, 2003). Desse total, 8.000 (oito mil) localizavam-se em Santa Cruz do Capibaribe, município que impulsionou a consolidação deste APL. Por esses motivos, os empreendimentos localizados na referida cidade constituíram o universo desta pesquisa. Dada a impossibilidade de investigar todos os sujeitos desse campo, a amostra foi delimitada com base nos seguintes critérios:

- foram investigados apenas os empreendimentos formais;
- que desenvolvem a atividade principal do APL: confecções;
- que tenham contratado e implementado serviços de consultoria na empresa; e
- estivessem com o cadastro ativo nas Associações que representam os empresários, a saber: Câmara de Dirigentes Lojistas (CDL) e Associação Comercial e Industrial de Santa Cruz do Capibaribe (ASCAP).

Essas duas redes empresariais têm forte atuação no município e sempre organizam grupos para participarem de atividades que viabilizam a troca de informações e geram aprendizado.

Através de contato telefônico estabelecido com as instituições locais, a ASCAP informou que possuía 252 associados e a CDL tinha aproximadamente 400 sócios em abril de 2010, sendo que deste total 40% eram indústrias de confecções, ou seja, cerca de 80 dos associados. Somando-se os 252 sócios da ASCAP com os 80 sócios da CDL, obteve-se um universo de 332 empresas que atuam na área de confecção.

Após a aplicação dos critérios da pesquisa, chegou-se a uma amostra de 52 indústrias de confecções associadas às instituições locais, sendo 40 da ASCAP e 12 da CDL. Tais empresas foram contatadas por telefone e foi agendada uma data e horário para aplicação do questionário, sendo possível realizar a coleta de dados com 51 indústrias de confecções, compondo um percentual de 98% de sujeitos consultados conforme o perfil pré-estabelecido. Os dados obtidos com a aplicação dos questionários foram analisados e interpretados com o auxílio da estatística descritiva, sendo sistematizados em gráficos e tabelas. A seção subsequente traz os achados do estudo em conformidade ao objetivo da pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente é apresentada uma demografia das empresas analisadas e, na sequência, são detalhadas as fontes de inovação por elas utilizadas, bem como informações sobre cooperação neste APL de Confecções.

Quanto ao tempo de atuação das empresas, observou-se que a idade média dos negócios é de 12,4 anos, variando de 02 a 30 anos. Constatou-se ainda que os 25% de menor tempo de atuação, estão no mercado há no máximo 08 anos (1º quartil) e os 25% de maior tempo no negócio (3º quartil) estavam no mínimo há 16 anos no mercado, como detalha a Tabela 02:

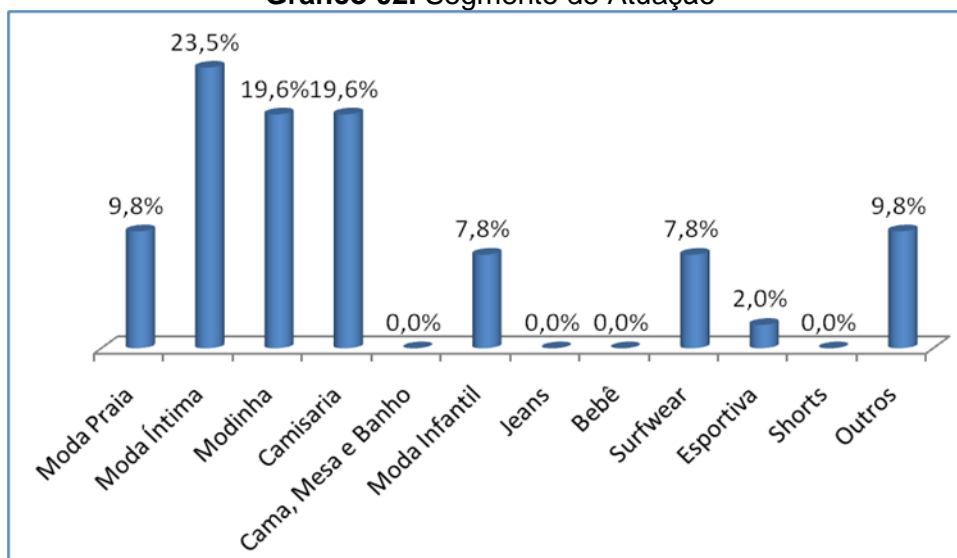
Tabela 02. Tempo do Negócio

Mínima	Média	Mediana	Máxima	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão
2,0	12,4	10	30,0	8,0	16,0	6,8

Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Quanto ao segmento de atuação das empresas (Gráfico 02), nota-se que a maioria (23,5%) concentra-se na área de moda íntima, seguida dos empresários que fabricam e comercializam modinha e camisaria, cada um representando 19,6% do total da amostra. Também merecem destaque o percentual de empresas (9,8%) que desenvolvem moda praia ou atuam em outros segmentos não especificados, 7,8% atuam com moda infantil e o mesmo percentual na área de *surfwear*. Apenas um respondente desenvolve roupas esportivas.

Gráfico 02. Segmento de Atuação



Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Em relação ao total de funcionários nas empresas, desconsiderando os membros da família, verificou-se uma média de 34 pessoas, ocorrendo casos com nenhum membro externo, ou seja, todos são parentes e até a existência de empresa com o número máximo de 370 funcionários sem laços familiares. Constatou-se ainda que os 25% de menor número de empregados com este perfil tinham no máximo 12 colaboradores (1º quartil) enquanto que os 25% com maior número de funcionários sem laços de parentesco (3º quartil) tinham a partir de 40 pessoas empregadas, como detalha a Tabela 03:

Tabela 03. Quantidade de Funcionários sem Considerar os Membros da Família

Mínima	Média	Mediana	Máxima	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão
0	34,7	22	370	12,0	40,0	54,0

Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Por outro lado, quando indagados sobre o quantitativo de membros da família atuando no negócio, observou-se que a média é de 2 parentes trabalhando na empresa, sendo que houve casos com nenhum membro da família empregado ao mesmo tempo em que o número máximo foi de 05 parentes atuando no negócio. Estes dados bem como outros detalhes podem ser observados na Tabela 04:

Tabela 04. Quantidade de Membros da Família Envolvidos no Negócio

Mínima	Média	Mediana	Máxima	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão
0	2,3	2,0	5,0	1,0	3,0	1,4

Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

No que se refere à quantidade de máquinas (corte e costura), observou-se uma média de 27 equipamentos deste tipo nas indústrias, ocorrendo casos de empresas sem nenhuma máquina (aquelas que apenas revendem produtos) e outras com até 350 máquinas. Constatou-se ainda que os 25% que apresentam o menor número desses equipamentos tem no máximo 11 máquinas (1º quartil) enquanto que os 25% com maior número de equipamentos (3º quartil) tem a partir de 27 máquinas, conforme detalhado na Tabela 05:

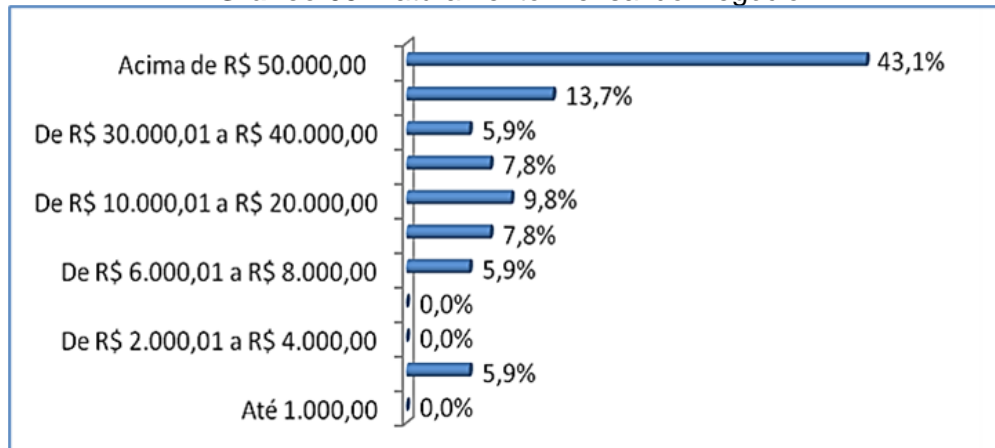
Tabela 05. Quantidade de Máquinas (Corte e Costura) no Processo Produtivo

Mínima	Média	Mediana	Máxima	1º Quartil	3º Quartil	Desvio Padrão
0	27,5	18,0	350,0	11,0	27,0	50,7

Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Em relação ao faturamento mensal do negócio, a maioria (22 dos 51 respondentes) afirmou que este ultrapassa R\$ 50.000,00 por mês. É pertinente destacar que apenas seis empresas faturam menos de R\$ 10.000,00 mensalmente. O faturamento das demais empresas encontra-se detalhado no Gráfico 03:

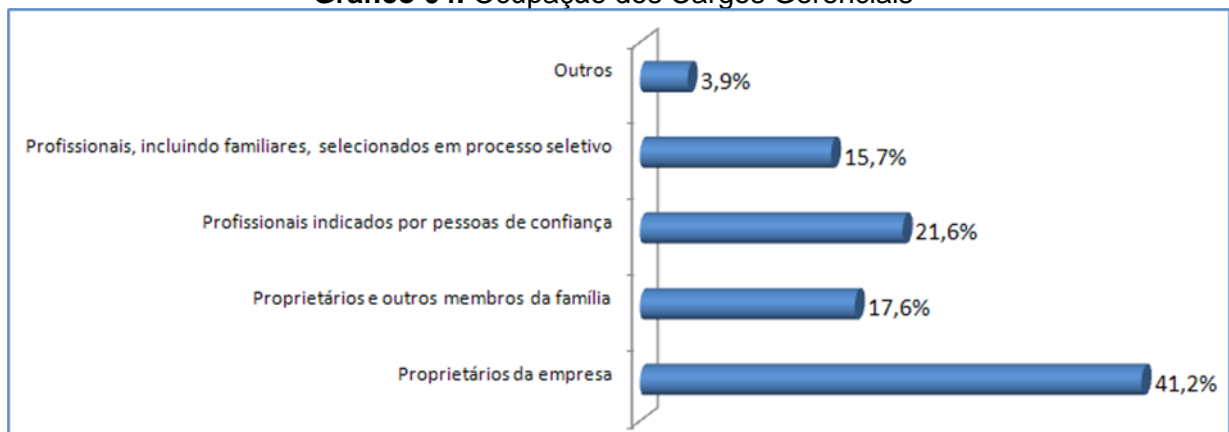
Gráfico 03. Faturamento Mensal do Negócio



Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Para encerrar o perfil das empresas, quanto à ocupação dos cargos administrativos da empresa (Gráfico 04), constatou-se que estes são gerenciados pelos próprios proprietários (41,2%) ou por seus familiares (17,6%), sendo que a soma desses dois grupos atinge um percentual de aproximadamente 60%. É válido destacar também o quantitativo de pessoas que são contratadas através de indicação (21,6%), enquanto que apenas 15,7% realizam um processo seletivo para escolher os funcionários que gerenciam a empresa.

Gráfico 04. Ocupação dos Cargos Gerenciais

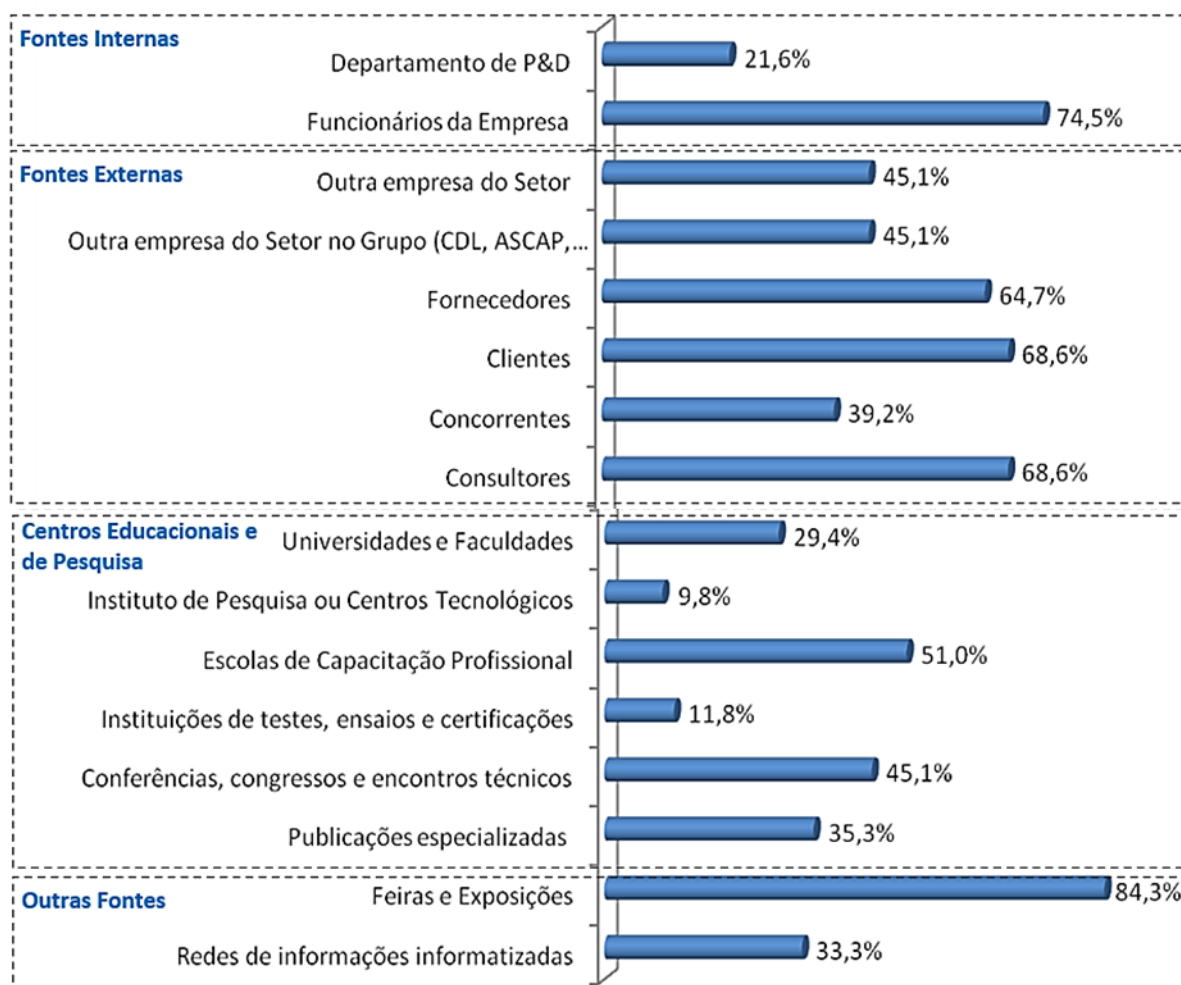


Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

No que tange às **fontes de informação** utilizadas pelos participantes da pesquisa, o conjunto de dados expostos no Gráfico 05 mostram a origem da **inovação**, classificada em fontes internas, fontes externas, provenientes de centros educacionais e de pesquisa ou ainda de outras fontes. É válido destacar que 74,5% das empresas afirmaram que seus funcionários constituem a principal fonte de

inovação interna, 68,6% destacaram os consultores como importante fonte inovação externa, 51% das empresas disseram que as escolas de capacitação profissional (Sistema S) são os principais centros educativos utilizados, enquanto que 84,3% classificaram as feiras e exposições como outras fontes essenciais à inovação. Visando a um melhor entendimento da distribuição da opinião dos 51 empresários, o Gráfico 05 traz todas as fontes de inovação destacadas na pesquisa:

Gráfico 05. Fontes dos Diferentes Tipos de Inovação para a Empresa



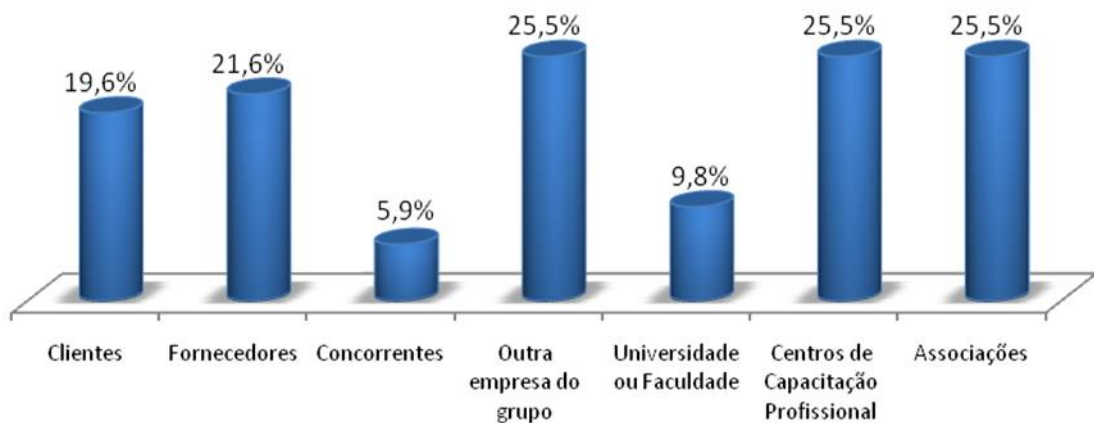
Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Acerca desses achados, ressalta-se ainda a importância das pessoas como fontes de inovação. De acordo com a OCDE (2018), o papel do capital humano na inovação é fundamental tanto para a empresa como para a sociedade.

Em relação ao estabelecimento de parcerias para implementar inovações nas empresas, observou-se que 54,9% dos empresários disseram que não acessaram os demais atores da rede para buscar cooperações inovativas, enquanto que 45,1% afirmaram ter feito parcerias visando à implementação de inovações na empresa.

Dentre os empresários que revelaram estabelecer parcerias para implementar inovações na empresa, apresenta-se no Gráfico 06 os principais atores da rede envolvidos, destacando que a interação com outras empresas do grupo, com os centros de capacitação profissional e com as associações atinge 25,5% cada. É pertinente observar que as empresas também estabelecem parcerias com seus fornecedores (21,6%) e clientes (19,6%). Os índices mais baixos ficaram com a interação com as universidades ou faculdades (9,8%) e com os concorrentes (5,9%). A soma dos valores abaixo não é cumulativa uma vez que a mesma empresa pode ter estabelecido cooperação com mais de um ator da rede.

Gráfico 06. Tipos de Atores que as Empresas Estabeleceram Parcerias para Cooperação

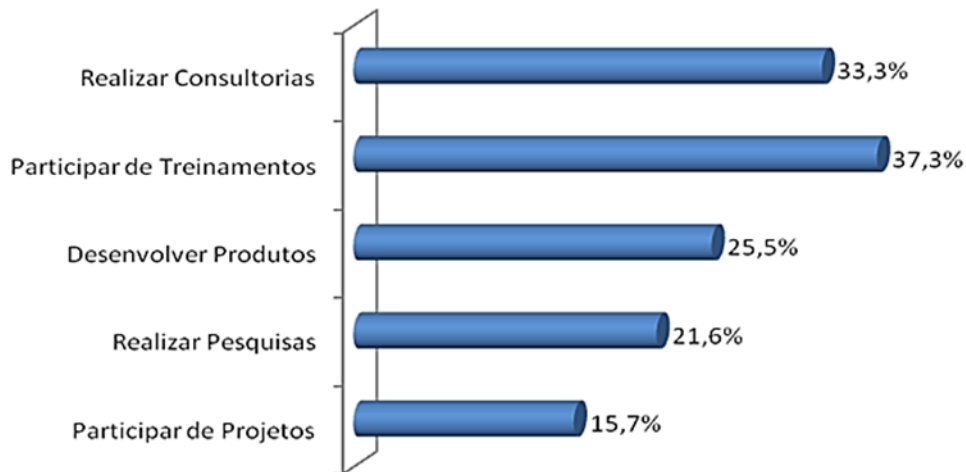


Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

De acordo com a OCDE (2018), as atividades de inovação de uma empresa dependem, de certa forma, de suas relações com as fontes de informação, conhecimento, tecnologias, práticas e recursos humanos e financeiros. Cada interação pode conectar as empresas com outros atores que fazem parte do sistema de inovação.

Quando questionados sobre os objetivos desta cooperação, 37,3% dos empresários destacaram que a finalidade é participar de treinamentos, 33,3% para realizar consultorias, 25,5% visando ao desenvolvimento de produtos, 21,6% para fazer pesquisas e 15,7% para participar de projetos. Esses dados leva-nos a inferir que a cooperação constitui uma importante fonte de inovação visto que proporcionam a disseminação de conhecimentos e tecnologias para empresas que atuam, especialmente, em arranjos produtivos locais. Isso pode ser constatado no Gráfico 07, que ilustra os objetivos do estabelecimento de parcerias para os participantes da pesquisa:

Gráfico 07. Objetivo da Parceria Estabelecida com os Atores da Rede



Fonte: Dados da Pesquisa (jul./2010)

Acerca dos dados expostos no Gráfico 07, é pertinente salientar que os empresários atribuem à consultoria os resultados das inovações radicais. Neste contexto, supõe-se que as inovações incrementais tenham outras fontes de aprendizagem, como: o *learning by doing* (aprender fazendo) introduzido num trabalho de Arrow (1962), baseado na experiência das pessoas; o *learning by using* (aprender usando), expressão usada por Rosenberg (1976) que associa o uso de novos produtos e processos ao aumento da eficiência ao longo do tempo; o *learning from inter-industry spillovers* (aprender a partir da interação entre as indústrias), relacionado ao aprendizado com o que os concorrentes e as outras firmas estão fazendo; e o *learning by interacting* (aprender interagindo), que permite uma maior interação entre os produtores e os usuários (CABRAL, 2009).

Por fim, destaca-se que as universidades (29,4%) e centros de pesquisa (9,8%) foram poucos utilizados como fontes de inovação externa. Tais resultados são preocupantes, pois de acordo com Dzisah e Etzkowitz (2008), esses ambientes têm um papel fundamental na disseminação da inovação, visto que as instituições de ensino e pesquisa constituem uma das hélices essenciais à sustentabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inovação constitui uma condição de sobrevivências para qualquer organização, independente do seu tipo ou porte. Todavia, inovar não é fácil, requer investimentos e existem desafios à mudança em diferentes esferas, incluindo questões que envolvem desde a cultura organizacional até adaptações de infraestrutura.

Esses desafios são ainda maiores em empresas de pequeno porte e, neste estudo, foi ressaltada a importância da cooperação e atuação em redes interorganizacionais, a exemplo de Arranjos Produtivos Locais (APLs).

Ao analisarmos as principais fontes de inovação utilizadas pelas empresas participantes da pesquisa em Santa Cruz do Capibaribe-PE, principal município do APL de Confeções do Agreste Pernambucano, um dos principais achados foi que 84,3% das empresas analisadas têm como principal fonte de inovação a participação em feiras e exposições na área do vestuário.

Dentre as fontes internas, foi ressaltada a importância dos funcionários como provedores da inovação nas empresas, enquanto que fornecedores, clientes e consultores também desempenham papel importante como fonte externa de inovação. Destaca-se ainda que os centros educacionais de pesquisa foram mencionados por poucos participantes do estudo como fonte de inovação.

Por fim, é pertinente pontuar a necessidade de atualização do presente estudo em virtude da época em que foi realizado e atualmente as empresas atuarem em um novo contexto e terem à disposição novas fontes de informação para inovação, a exemplo da inteligência artificial.

REFERÊNCIAS

ALVES, Janaína S. et al. **Arranjos produtivos e inovativos locais de calçados: um estudo comparativo dos APILs de França/SP e Campina Grande/PB**. XI SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 08 a 10 de novembro de 2004.

ANDRADE, Elisabeth de O.; CÂNDIDO, Gesinaldo A. **Relações entre capital social, arranjos produtivos locais e a geração do desenvolvimento local sustentável: uma análise preliminar**. 2010. In: V Encontro Nacional da ANPAS. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro5/cd/artigos/GT7-289-337-20100902192434.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

DOSI, G. **Mudança técnica e transformação industrial: a teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores**. Campinas, SP: Unicamp, 2006.

GUIMARÃES, Tomás de Aquino; SILVA, Antônio Isidro da. Conhecimento, Aprendizagem e Inovação em Organizações: uma proposta de articulação conceitual. In: XXXII Encontro Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração (ENANPAD) **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

HAFKESBRINK, J.; SCHROLL, M. **Organizational Competences for Open Innovation in Small and Medium Sized Enterprises of the Digital Economy**.

2010. Disponível em: <http://www.innowise.eu/Dokumente/Organizational%20Competences%20for%20Open%20Innovation%202010.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

IBGE. **Pesquisa de Inovação Tecnológica – PINTEC**: período de 2006-2008. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <http://www.pintec.ibge.gov.br/>. Acesso em: 15 nov. 2013.

IBGE. **Pesquisa de Inovação Semestral**: indicadores básicos. 2022. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102067.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2024.

LEMOS, C. **Inovação para arranjos e sistemas produtivos de MPME**. Rio de Janeiro, IE/UFRJ, 2001. Disponível em: <http://www.redesist.ie.ufrj.br>. Acesso em: 22 jun. 2023.

MÉNDEZ, Ricardo. Innovación y redes de cooperación para el Desarrollo Local. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**. v. 2, n. 3, 2001. p. 37-44. Disponível em: <http://www.yorku.ca/hdrnet/images/uploaded/PDL242.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2023.

MITELKA, L.; FARINELLI, F. De aglomerados locais a sistemas de inovação. In: LASTRES, H.M.M.; CASSIOLATO, J.E.; ARROJO, A. **Conhecimento, sistemas de inovação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: UFRJ – Contraponto, 2005.

MULLER, C. A. da S. et al. Dimensão da Inovação em Arranjos Produtivos Locais. In: XXXII Encontro Nacional dos Programas de Pós-graduação em Administração (EnANPAD) **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

OECD. **Manual de Oslo**: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 2006. 3. ed. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4639.html>. Acesso em 28 set. 2023.

OECD. **Manual de Oslo**: diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 2018. 3. ed. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4161223/mod_resource/content/1/Manual%20de%20Oslo%20-%20FINEP%20Inovacao.pdf. Acesso em: 30 abr. 2024.

SANTOS, L.D. **Concorrência e cooperação em arranjos produtivos locais: o caso do pólo de informática de Ilhéus-BA**. 152f. Dissertação (Mestrado). Curso de Economia, Universidade Federal da Bahia, 2005.

SCHMITZ, H. Collective efficiency and increasing returns. Working Paper, n. 50. **Journal of Development Studies**, UK, 1997.

SEBRAE. **Estudo de Caracterização Econômica do Polo de Confecções do Agreste Pernambucano**. Recife: FADE/UFPE/SEBRAE-PE, 2003.

SILVA, F. F. **Inovação em Redes Interorganizacionais**: um estudo sobre os impactos das práticas de consultoria no APL de Confecções do Agreste

Pernambucano. 251f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, Recife, 2011.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração.** 16. ed. São Paulo: Atlas, 2016.



Capítulo 3
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA FABRICAÇÃO
DE PNEUS UM CAMINHO PARA A MANUFATURA
AVANÇADA
Wagner Comenale
Filipe Wiltgen

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NA FABRICAÇÃO DE PNEUS UM CAMINHO PARA A MANUFATURA AVANÇADA

Prof. Me. Wagner Comenale

<https://orcid.org/0000-0002-2841-5457>

Pesquisador, Bacharel em Matemática com ênfase em informática (2001) pela Fundação Santo André (FSA em Santo André) e Engenheiro Elétrico com ênfase em Eletrônica (2010) pelo Centro Universitário FEI (FEI em São Bernardo do Campo). Mestre em Engenharia Mecânica, na área de Automação e Dinâmica dos Sistemas (2024), pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Professor no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (ETEC em Santo André e São Caetano do Sul) desde 2018, nos cursos de técnico em Automação Industrial, Eletrotécnica, Eletrônica e Mecatrônica. Engenheiro Especialista de projetos na área de Automação e Controle, entre os anos de 2010 à 2023 e atualmente Coordenador de Projetos América Latina na Prometeon Tyre Group.

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/6938079424491363).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Wagner-Comenale-2).

WagnerComenale@hotmail.com ou WagnerComenale@gmail.com

Researcher, Bachelor of Mathematics with emphasis on IT (2001) from Fundação Santo André (FSA in Santo André) and Electrical Engineer with emphasis on Electronics (2010) from Centro Universitário FEI (FEI in São Bernardo do Campo). Master in Mechanical Engineering, in the area of Automation and Systems Dynamics (2024), from the University of Taubaté (UNITAU in Taubaté). Professor at the Paula Souza State Center for Technological Education (ETEC in Santo André and São Caetano do Sul) since 2018, on technician courses in Industrial Automation, Electrotechnical, Electronics and Mechatronics. Specialist Engineer for projects in the Automation and Control area, between 2010 and 2023 and currently Project Coordinator in Latin America at Prometeon Tire Group.

Lattes CNPq CV ([lattes.cnpq.br/ 6938079424491363](https://lattes.cnpq.br/6938079424491363)).

ResearchGate Document Base (www.researchgate.net/profile/Wagner-Comenale-2).

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA em São José dos Campos). Considerando apenas o tempo mais recente na docência, de 2017 a 2023 como professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo (IFSP em Campinas) durante 2022 e 2023, nos cursos de técnico em Eletrônica e graduação em Eng. Elétrica. Professor, Coordenador de curso e Diretor Substituto na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC em Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial, Gestão da Produção Industrial e Automação Industrial.

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).

Google Acadêmico (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao). Currículo FAPESP (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).

ProfWiltgen@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@fatec.sp.gov.br

Writer, Researcher and Electrical Engineer (1994) from the University of Taubaté (UNITAU in Taubaté). Master (1998) and PhD (2003) in Electronic Devices and Systems, in area of Controlled Thermonuclear Fusion, from the Institute of Aeronautical Technology (Instituto de Tecnologia de Aeronáutica – ITA in São José dos Campos). Considering only most recent time in teaching, from 2017 to 2023 as professor in Master's Program in Engineering, and Coordinator of Specialization Course in Photovoltaic Solar Energy at the University of Taubaté. Professor at the Federal Institute of Education, Science and Technology in the State of São Paulo (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo –

IFSP in Campinas) during 2022 and 2023, in Electronics technician and undergraduate courses in Electrical Engineering. Professor, Course Coordinator and Substitute Director at Faculty of Technology of State of São Paulo (Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC in Pindamonhangaba), since 2021 in courses of Mechanical Projects, Industrial Maintenance, Industrial Production Management and Industrial Automation.

Lattes CNPq CV (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

ResearchGate Document Base (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).

Google Scholar (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao). FAPESP Curriculum (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).

RESUMO

Este artigo tem como objetivo apresentar um estudo referente ao desenvolvimento de um sistema de controle baseado em uma técnica de inteligência artificial que seja capaz de atuar em tempo real no controle de uma extrusora de parafuso único para a fabricação de pneus automotivos através de um modelo de produção baseado na manufatura avançada. O processo de extrusão, é considerado uma das principais etapas no processo de fabricação do pneu, responsável pela produção de diferentes partes que compõem um pneu, tem influência direta em aspectos qualitativos, pois interfere na uniformidade dos pneus fabricados. Atualmente o processo produtivo para se obter um material extrudado é manual, são utilizados operadores humanos que através de seus conhecimentos e experiências prévias determinam o modo de operação da máquina. Por se tratar de um processo complexo e não linear, e também por estar constantemente submetido a diferentes fontes de perturbações externas, a pesquisa visa substituir o atual sistema de controle manual por um sistema de controle baseado na técnica de inteligência artificial conhecida como lógica nebulosa, que permite modelar matematicamente problemas complexos e não lineares através de regras simples em funções de pertinência. A pesquisa foi desenvolvida e submetida a testes em ambiente fabril industrial. Para este estudo foi utilizado uma extrusora de parafuso único com ~200mm de diâmetro destinada a fabricação de pneus automotivos. Este artigo apresenta o desenvolvimento e os resultados práticos do sistema de controle automatizado e inteligente que utiliza como referência a pressão de saída do material extrudado para atuar no controle da velocidade do parafuso da extrusora de tal forma a garantir que o fluxo constante de material extrudado, e assim, consequentemente mantendo o peso final do produto extrudado com variações inferiores a ~3% de variação em relação ao valor do peso

ajustado permitindo a uniformidade na fabricação.

Palavras-chave: Manufatura Avançada. Extrusão. Fabricação de Pneus. Lógica Nebulosa. Sistemas de Controle e Automação.

ABSTRACT

This paper aims to present a study related to the development of a control system based on an artificial intelligence technique that is capable of acting in real time control of a single screw extruder for manufacture tires through a production model based on advanced technology. The extrusion process is one main steps in tire manufacturing process responsible for different parts that are considered a tire, it has a direct influence on quality, as it interferes with uniformity of tires manufactured. Currently, production process to obtain an extruded material is manual, they are experiences that, through their knowledge and prior knowledge, determine way the human machine operates. Because it is a complex process, and also because it is constantly researching different sources of alternative linear perturbations, replacing current control system with a manual control system based on artificial intelligence technique known as logic nebula, which mathematically modeling problems allows complex and nonlinear through simple rules in membership functions. The research was developed and industrially tested in environment. For this study, a single screw extruder with ~200mm diameter was used to manufacture automotive tires. This paper presents development and practical results of automatic and intelligent control system that uses as a reference an output pressure of extruded material to act in control screw speed in a way that guarantees constant flow of extruded material, and thus, consequently, keeping final weight extruded product with variations of less than ~3% compared to configured weight value to allow manufacturing uniformity.

Keywords: Advanced Manufacturing, Extrusion, Tire Manufacturing, Fuzzy Logic, Control and Automation Systems.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas controladores eletrônicos empregados na automação industrial são muito importantes para controlar e automatizar de forma adequada processos industriais. A busca pela qualidade nos produtos manufaturados e o atendimento por demandas do mercado consumidor cada vez mais exigente, torna fundamental não só implementar controle automáticos, mas também realizar o controle dos processos industriais com eficiência para que a indústria seja sempre competitiva.

Para conseguir a competitividade com eficiência utilizam-se diferentes tipos e técnicas de controle nos processos industriais. Os processos industriais, podem ser

discretos, contínuos ou por bateladas. Quase sempre são implementados a partir de métodos tradicionais, algumas vezes por um modelo tecnológico disruptivo, baseado em técnicas de manufatura avançada utilizando a eletrônica digital, via a Internet e com automação dos processos industriais (Arbix *et al.*, 2017; Junior *et al.*, 2020).

Na teoria e na prática são utilizados os métodos tradicionais baseados em teorias clássicas de controle, assim como, as teorias mais modernas com a intenção de obter uma solução sistemas quase sempre lineares. Em sistemas tipo de é necessário que se conheça detalhadamente o processo a ser controlado, como também, todo o modelo matemático que descreve o processo. Existem aplicações que seus respectivos sistemas possuem características não lineares, neste tipo de sistema é impossível de obter um modelo matemático que reproduza o processo em questão. Tornando a forma tradicional de controle inviável de ser aplicada via os métodos tradicionais da teoria de clássica de controle (Oliveira *et al.*, 2010; Cambolm *et al.*, 2014; Arbix *et al.*, 2017; Junior *et al.*, 2020).

Atualmente existem processos produtivos industriais que estão sob controle contínuo de seres humanos, realizando constantes intervenções para atuar no funcionamento das máquinas. Estes procedimentos de controle operacionais são baseados nos conceitos heurísticos, a qualidade das decisões, estão atreladas a experiência dos operadores humanos, independentemente da solução escolhida. Isso significa que a qualidade e a velocidade da solução dependem única e exclusivamente das habilidades específicas de quem opera a máquina. Esses operadores, dado sua experiência prévia, possuem a capacidade de distinguir e critério para determinar quais os parâmetros operacionais adequados para qualquer tipo de perturbação, como por exemplo mudanças climáticas ou da natureza do processo e até mesmo da própria matéria-prima (Cambolm, *et al.*, 2014).

Para melhorar o funcionamento dos sistemas não lineares, uma alternativa possível é a utilização da inteligência artificial através da Manufatura Avançada (MA). Os sistemas de controle nebulosos podem ser utilizados como uma técnica heurística no qual pode-se reproduzir a forma humana de agir e permite manusear informações qualitativas com dados imprecisos e incertos, via processos complexos e não lineares de forma eficiente (Gomide e Gudwin, 1995; Sampaio *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2010; Junior *et al.*, 2020).

Na inteligência artificial são utilizadas técnicas permitem o controle do processo de forma independente, autônomo e sem qualquer interferência humana. Entretanto,

para que isso possa se tornar rotineiro na indústria atual, é necessário investimento intelectual antes do investimento tecnológico. As atuais e as futuras gerações de engenheiros serão capazes de integrar de forma coerente processos, máquinas e humanos através de pesquisa e desenvolvimento de técnicas voltadas para implementação real da MA (Wiltgen, 2020).

Este estudo tem como objetivo, substituir o modelo atual de controle baseado em soluções particularmente humanas, por uma técnica de inteligência artificial baseada em lógica nebulosa. Para isso deve ser implementado um controlador que possui múltiplas entradas e uma única saída (*MISO – Multiple Input and Single Output*) do tipo *Mamdani* em lógica nebulosa.

A teoria de modelagem e controle nebuloso relaciona as entradas e saídas, agregando vários parâmetros de processo e de controle. Desta forma, os sistemas de processos considerados complexos, podem proporcionar resultados mais precisos, além de um desempenho estável e mais robusto. A grande simplicidade de implementação de sistemas de controle nebuloso pode reduzir a complexidade de um projeto a um ponto em que problemas anteriormente intratáveis passam agora a ser solúveis (Gomide e Gudwin, 1995).

No decorrer deste artigo, serão abordados os resultados obtidos a partir da implementação da lógica nebulosa para o controle da pressão de saída da borracha extrudada por uma extrusora de parafuso simples para a fabricação de pneus automotivos.

2. A MANUFATURA AVANÇADA

A evolução da sociedade e da indústria, passa por períodos em que ocorreram mudanças significativas. Não só as revoluções industriais anteriores, mas também, o advento das revoluções industriais, tais como a MA que remete a processos de transformação disruptivos, em que ocorrem inovações tecnológicas baseadas em processos digitais altamente integrados e automatizados.

São considerados elementos essenciais para a implantação da MA a digitalização, conectividade e a automação, neste tripé são estabelecidas relações funcionais que agregam valor em diferentes aspectos no que tange o desenvolvimento de produtos, processos e gestão (Oreiro e Feijó, 2010).

Mundialmente observa-se o declínio da indústria de manufatura, com menor intensidade nos países desenvolvidos, porém constata-se maior aplicação entre os países emergentes. A desindustrialização não é apenas um processo migratório das instalações e produções fabris para países em desenvolvimento, principalmente países asiáticos, houve também o declínio de algumas economias, a perda da importância da indústria de transformação e a redução da capacidade produtiva dos bens de maior complexidade, como conhecimento, mão de obra qualificada e infraestrutura de suprimentos. As consequências destas migrações evidenciaram dificuldades econômicas significativas, que impactam diretamente na indústria de transformação e refletiram no produto interno bruto (PIB) dos respectivos países (Oreiro e Feijó, 2010; Arbix *et al.*, 2017; Bento e Malagutti, 2020; Comenale e Wiltgen, 2021).

Por se tratar de processo de evolução altamente tecnológica, cada país através de seus governos, indústrias, centro de pesquisas, universidades, investidores e sociedade devem ter como objetivo o desenvolvimento da MA para o fortalecimento do setor manufatureiro (Wiltgen, 2020).

Basicamente para se implementar um sistema de controle baseado na MA, deve-se ter uma arquitetura que contemple a utilização de tecnologias digitais integradas, tecnologia de nuvem, realidade aumentada, Internet das coisas, robôs autônomos, banco de dados, simulações e manufatura aditiva. Logo a introdução da MA nas indústrias, pretende aliar os conceitos de digitalização, conectividade e automação, com o objetivo de tornar os processos industriais mais eficientes, flexíveis e personalizados (Tropia *et al.*, 2017; Albertin *et al.*, 2017; MCT&I, 2017; Mendes *et al.*, 2017; Pontes e Arcuri, 2018; Comenale e Wiltgen, 2021).

Os benefícios da aplicação da MA para uma fábrica moderna são baseados nas aplicações das tecnologias aos processos para uma maior flexibilidade e interdependência produtiva, disseminar o conhecimento orientado para o resultado, suprir a carência tecnológica com investimentos em pesquisa e desenvolvimento, elevar a produtividade, elevar a qualidade dos produtos e da mão-de-obra, reduzir custos e elevar os níveis de segurança.

Dentre os países em desenvolvimento o Brasil possui muitos setores industriais cuja à adoção de tecnologias digitais para sistemas de controle ainda são incipientes (Vermulm, 2018). A ausência de tecnologia e a falta de investimentos é uma realidade que impossibilita a solução de problemas comuns aos processos produtivos nacionais.

O setor da borracha é muito abrangente, tem início na agricultura através do cultivo e da extração do látex nas árvores, e se estende até indústrias de beneficiamento. Por ser um setor muito amplo, existe uma grande discrepância tecnológica entre as indústrias de pequeno porte em relação as indústrias de grande porte, geralmente as grandes indústrias possuem maiores investimentos por consequência possuem sistemas e maquinários mais complexos e modernos com elevados níveis de automatização dos seus sistemas de controle, o que permite a integração dos diversos processos industriais.

As indústrias de pneus, nacionais e internacionais, estão igualmente defasadas tecnologicamente, justifica-se a defasagem tecnológica, aos longos períodos sem investimentos no segmento tanto para a manutenção quanto para a atualização tecnológica das máquinas, equipamentos e dos processos industriais. A atualização tecnológica, a automação das máquinas e equipamentos através de modernos dispositivos e sistemas de controle modernos e a conectividade do ambiente industrial com o ambiente corporativo são premissas para a MA (Bento e Malagutti, 2020).

Talvez isso venha a ser uma boa oportunidade para debater sobre a indústria no futuro alocando investimentos em pesquisa e desenvolvimento, para a evolução tecnológica da indústria (Wiltgen, 2020). A consolidação dos processos de integração de sistemas e utilização de sistemas de controle, sensores e atuadores podem vir a estabelecer uma estratégia dentro dos conceitos da MA, para alavancar e reposicionar a indústria brasileira (Arbix *et al.*, 2017; Comenale e Wiltgen, 2021).

3. EXTRUSORAS DE BORRACHA

A extrusora, é considerada como uma das principais máquinas do processo de manufatura principalmente para a indústria de fabricação e transformação de borracha. O princípio fundamental de funcionamento do processo de extrusão de borracha consiste basicamente na conversão de uma matéria prima inicialmente no estado sólido em uma massa fluída, basicamente pela aplicação de calor e transformação mecânica. Seu funcionamento consiste em transportar uma massa de elastômero pelo barril da extrusora, de uma extremidade a outra, utilizando um parafuso sem fim, o objetivo pressionar o material extrudado contra o ponto de saída da extrusora, a fim de se obter na saída da extrusora um perfil de material extrudado

com dimensões definidas por uma feira modeladora ou matriz de extrusão (Santos *et al.*, 2010; Rauwendaal, 2013; Silva *et al.*, 2014; Sales *et al.*, 2014; Quelho, 2018).

Conforme pode ser visto na Figura 1, uma extrusora de borracha é constituída de um corpo cilíndrico oco e fixo, comumente chamado corpo da extrusora ou de barril. No interior do barril está posicionado o parafuso rotativo sem fim, acoplado a um sistema de redução mecânica tracionado por um motor elétrico. Deste modo a extrusão da borracha ocorre pelo movimento de rotação do parafuso sem fim.

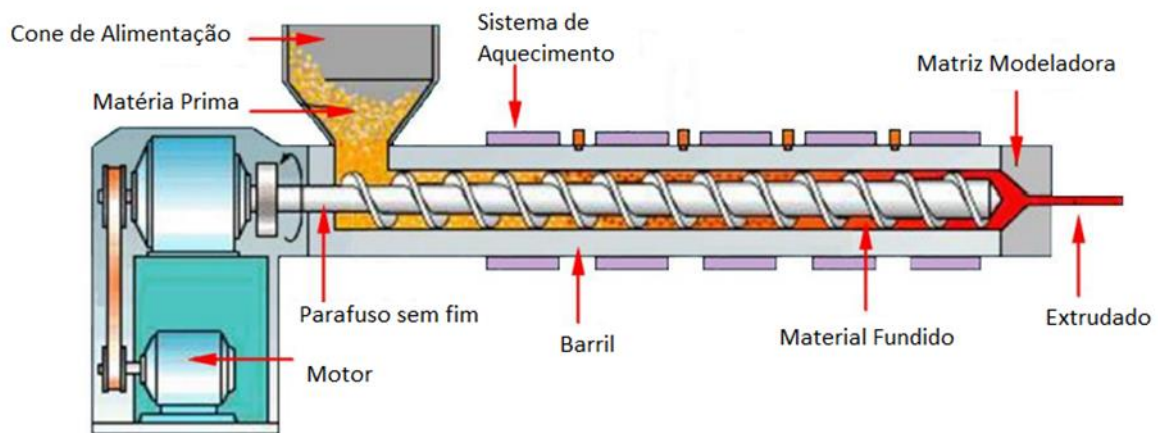


Figura 1. Elementos principais de uma extrusora de alimentação a frio.
Fonte: Adaptado de Quelho (2018).

O processo de extrusão está dividido em três etapas básicas, alimentação da matéria-prima, processamento da extrusora e a saída do material extrudado pela matriz modeladora.

A alimentação da extrusora é realizada com a matéria-prima no estado sólido e no formato de uma manta de borracha, utiliza-se um funil de alimentação para direcioná-la para o interior do barril. Uma vez que a matéria-prima entra em contato com o parafuso sem fim, ela será transportada e submetida a um processamento por três zonas geometricamente distintas.

A primeira zona conhecida como zona de alimentação possui uma maior profundidade do canal do parafuso proporcionando uma maior área de recepção do material no estado sólido. A segunda zona é chamada de zona de fusão responsável em fundir o polímero, e por fim, a terceira zona é chamada de zona de compressão, possui uma profundidade reduzida do canal do parafuso, causando assim a compressão do material no canal do parafuso. A geometria construtiva do parafuso sem fim provoca o aumento gradativo do atrito mecânico, e assim, ocorrem os

processos de cisalhamento, aquecimento e homogeneização da massa. Dentro da extrusora acontece a transformação termomecânica que provocam alterações nas propriedades físicas da matéria-prima, a matéria prima processada é conduzida a saída pela matriz de extrusão que irá modelar e definir o formato e as dimensões do material extrudado (Rodriguez *et al.*, 2004; Previdi *et al.*, 2005; Yamashita, 2009; Abeykoon *et al.*, 2011; Rauwendaal, 2013; Abeykoon, 2014B; Mahto e Murmu, 2015; Abeykoon, 2016; Quelho, 2018; Resonnek e Schoppner, 2019; Comenale *et al.*, 2022).

Em uma extrusora de borracha frequentemente ocorrem intercorrências que afetam não só a qualidade do produto, mas também, provocam instabilidades no fluxo da matéria-prima extrudada. Constantes modificações nos parâmetros funcionais da extrusora podem reproduzir efeitos indesejáveis na qualidade do produto fabricado. Durante o processo de extrusão, a borracha sofre complexas transformações termomecânicas que induzem fortes mudanças físico-químicas em suas propriedades (Previdi *et al.*, 2005).

Por ser submetido há diversas fontes de perturbações, o processo de extrusão em borracha deve permitir ajustes durante a fabricação dos produtos, posto isto atualmente tais intervenções dependem exclusivamente da experiência dos seus operadores especialistas.

A falta ou a lentidão na execução do controle do processo, com o objetivo de atenuar as interferências das perturbações, geram elevadas quantidades de produtos fabricados fora das especificações de operação, acarretando o reprocessamento deste material em outras máquinas ou até mesmo o completo descarte, quando este está caracterizado como produto final a ser consumido, o que por consequência elevam-se os custos operacionais de fabricação dos produtos.

A qualidade do material extrudado está diretamente vinculada ao comportamento das perturbações que atuam no fluxo de fusão do material, apesar de ser o principal parâmetro a ser monitorado e controlado, poucas são as técnicas de controle disponíveis que priorizam o controle do fluxo de fusão do material extrudado. (Rauwendaal, 2013; Abeykoon, 2014A; Abeykoon, 2014B).

Ao fazer uso das técnicas de MA minimizam-se os impactos sobre importantes indicadores industriais, produtividade, redução de custos, controle de processos, adequação da produção, controle de qualidade, utilização dos recursos naturais de forma mais eficiente, dentre outros, apontam para uma transformação profunda nas estruturas industriais. A estimativa anual de redução de custos industriais para o

Brasil, a partir da implantação da MA, será de ~70 bilhões de reais por ano. Essa economia envolve ganhos de produtividade com a redução nos custos operacionais (Santos *et al.*, 2018).

4. DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE NEBULOSO

Em 1965, o professor Lotfi A. Zadeh publicou um estudo que mencionava os primeiros conceitos da lógica nebulosa. Neste estudo foram associados os conceitos da lógica clássica com os conjuntos no qual o objetivo do Prof. Zadeh foi estabelecer uma relação de pertencimento dos elementos aos conjuntos de forma proporcional.

Cada elemento pode assumir infinitos valores entre 0 e 1 e ao mesmo tempo estar vinculado a diferentes conjuntos, este conceito diferencia-se da tradicional lógica *Booleana* no qual os elementos podem assumir apenas dois valores 0 e 1 e pertencer ou não pertencer a um determinado conjunto. Este novo conceito possibilitou o desenvolvimento de uma alternativa de controle para processos com características ambíguas, baseados na lógica *Booleana*, eram incapazes de automatizar (Gomide e Gudwin, 1995; Silva *et al.*, 2019).

Aplicações desenvolvidas tendo como base a teoria de controle clássico, exige-se conhecer detalhadamente o modelo matemático que representa o processo a ser controlado, o que nem sempre é possível em sistemas que possuem comportamento não lineares ou complexos.

Diferentemente da lógica clássica, a lógica nebulosa opera com conceitos inexatos ou de imprecisão, sua utilização é indicada para condições de ambiguidade de modelos matemáticos ou na tratativa de fenômenos empíricos. Possui a capacidade de tratar dados tanto no âmbito objetivo quanto no subjetivo, deste modo suas características intrínsecas possibilitam a modelagem de sistemas complexos e não-lineares somente pela experiência de operadores especialistas através de métodos baseados na linguagem natural do ser humano (Cambolm, *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2019).

Ao observar este comportamento, conclui-se que o controle nebuloso possui vantagens em relação aos sistemas clássicos, permitindo maior flexibilidade e simplicidade como proposta de um sistema de controle (Bilobrovec *et al.*, 2004; Sampaio *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2010; Comenale e Wiltgen, 2022; Comenale *et al.*, 2022).

Para estabelecer qual o modelo de sistema de controle a ser adotado é necessário não só conhecer o processo a ser controlado, mas também identificar a relação de todas as interferências referente as perturbações que influenciam o processo produtivo e operacional. Um sistema de controle é considerado eficiente quando utiliza uma estratégia de controle apropriada ao processo e faz uso de dispositivos sensores capazes identificar quaisquer interferências, mas também possui meios de monitorar estas variáveis de forma precisa e confiável com objetivo de elevar a qualidade dos produtos e, ao mesmo tempo melhorar a eficiência em aspectos relacionados a utilização de recursos naturais e recursos operacionais (Abeykoon, 2016).

No processo de extrusão de borracha, o fluxo constante e uniforme do material extrudado é fundamental para se obter produtos de qualidade. Perturbações ambientais ou da matéria prima podem causar variações na pressão de saída do material extrudado pela matriz modeladora, a consequência disso são variações nas dimensões e no peso do extrudado.

Diante das constantes perturbações impostas ao sistema torna-se fundamental desenvolver um sistema de controle que garanta a qualidade do produto extrudado através do fluxo constante do material pela fieira modeladora. Como a massa de elastômero fundida processada no interior da extrusora possui um comportamento não newtoniano, as técnicas de controle baseadas na teoria de controle clássica não são recomendadas para aplicações não lineares ou complexas, o que implica na utilização de técnicas voltadas para o controle nebuloso, principalmente por possuir vantagens significativas em relação aos sistemas de controle clássicos, como a simplicidade e a flexibilidade de operação permitindo uma transição gradual dentro de um intervalo contínuo (Abeykoon, 2016; Bilobrovec *et al.*, 2004; Oliveira *et al.*, 2010; Sampaio *et al.*, 2007).

O processo de extrusão é considerado um processo produtivo complexo, as diferentes perturbações impõem aos operadores especialistas humanos dificuldades para realizar ajustes manuais de forma rápida, eficaz e eficiente. Isso demonstra ser importante a utilização de um sistema de controle automatizado na extrusora, preferencialmente capaz de lidar com múltiplas variáveis não-lineares baseados em um sistema de lógica nebulosa.

Na Figura 2, pode-se observar um controlador baseado em lógica nebulosa que é composto pelas seguintes etapas: aplicação do método nebuloso (*Fuzzyficação*),

regras de seleção e decisão (bases de conhecimento e dados), funções de pertinência adequadas (Inferência), e uso do método reverso nebuloso (*Defuzzyficação*) (Gomide *et al.*, 1995; Sellitto, 2002; Bilobrovec *et al.*, 2004; Sampaio *et al.*, 2007; Simões e Shaw, 2007; Oliveira *et al.*, 2010; Vidal, 2015; Abeykoon, 2016).

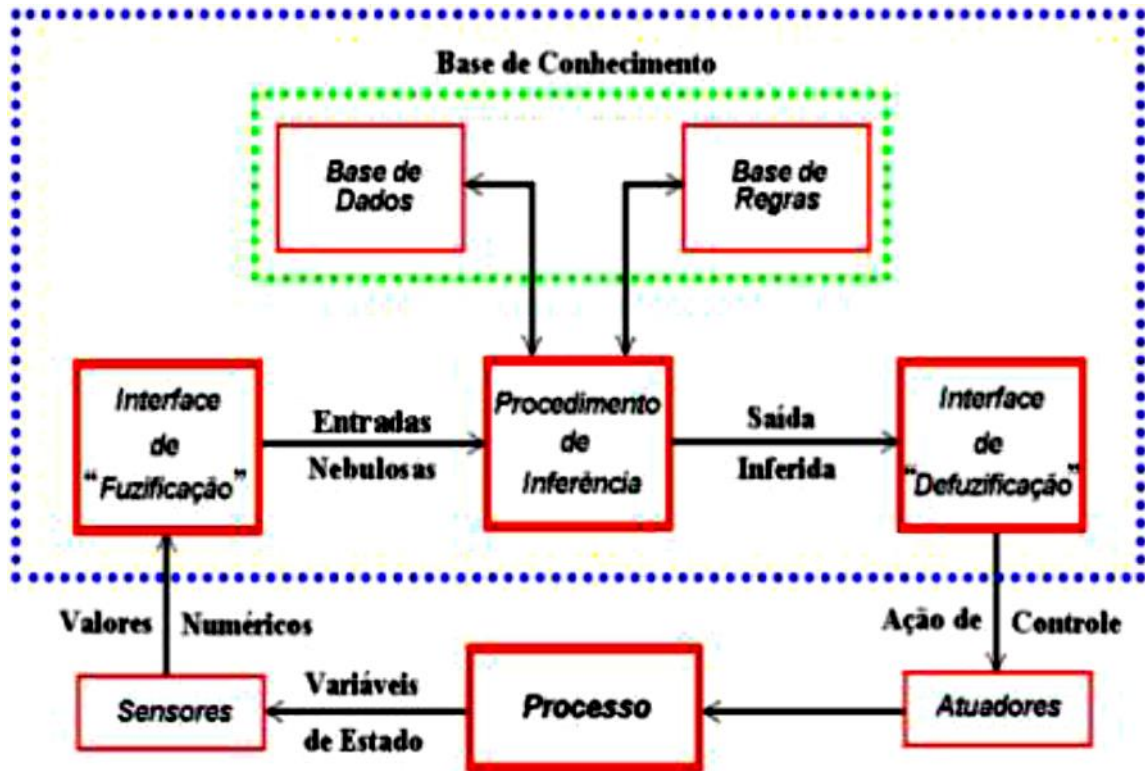


Figura 2. Estrutura de um controlador em lógica nebulosa.
 Fonte: Adaptado de Sandri e Correa (1999).

O monitoramento das variáveis do processo produtivo é realizado através de sensores e transdutores e deverão sofrer um processo de conversão nebulosa. Cada variável da conversão nebulosa pode assumir infinitos valores no intervalo $[0,1]$ para a definição das funções linguísticas de pertinência, conforme Figura 3.

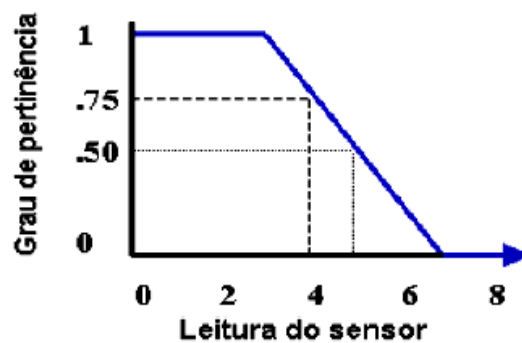


Figura 3. Técnica nebulosa em um valor medido do processo.
 Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2010).

Na formação da base de conhecimento um conjunto de regras são definidas para estabelecer a relação de dependência entre as variáveis de entrada e saída, e convertem os dados nebulosos em um valor numérico aplicável ao controle. No processo em questão as funções de pertinência estão representadas no formato gráfico e obtidas através de suas respectivas funções (formato triangular) (Bilobrovec *et al.*, 2004; Junior *et al.*, 2020). O método de reversão nebulosa aplicado é o de Centro-do-Máximo (C-o-M), no qual apenas os pontos máximos das funções de pertinência interferem resultado final.

O equipamento utilizado é uma extrusora de parafuso simples, com ~200mm de diâmetro e com uma vazão de ~30kg/min de produto extrudado, opera com temperatura de processamento de ~125°C, velocidade de rotação do parafuso da extrusora variável e de no máximo ~20 RPM, obtida através de um motor trifásico de corrente alternada com potência de ~400 HP e velocidade nominal de ~1.150 RPM.

Para realizar a aquisição dos dados foi utilizado um Controlador de Automação Programável (CAP), possuem maior capacidade de memória e alta velocidade para o processamento dos cálculos matemáticos para a implementação da Lógica Nebulosa. O controlador modelo *1756L61* possui um sistema operacional multitarefa com capacidade de armazenamento 2Mbytes de memória RAM e suporta endereçar uma grande quantidade de pontos de entradas e saídas (~128.000 digitais e ~4.000 analógicas) e flexibilidade em se comunicar em diversas redes de comunicação.

Para realizar a medição das variáveis de processo e do ambiente foram utilizados um transdutor de pressão, instalado próximo a matriz modeladora, para a medição da pressão de saída do material extrudado, o modelo do transdutor é: *DYNA-4-3.5C-15/46*, o qual possui faixa de medição de 0 a 350 bar de pressão, sinal de saída 0-10V, com sensibilidade de ~30mV/Bar, foi também utilizado um sensor para a medição da temperatura ambiente modelo *RH T-WM TRANSMITTER*, com faixa de operação de -10°C à +65°C e sinal de saída analógico de 4-20mA.

Além das variáveis pressão e temperatura, foi também utilizado os valores medidos da viscosidade de amostras da matéria-prima, obtidos através do viscosímetro modelo *MV1500* ou *MV2000*, com faixa de medição de 0 à ~99 *Mooney*.

Para o desenvolvimento da aplicação dois programas foram utilizados, *RSLogix5000* para a programação do controlador lógico programável e o *Factory Talk View* utilizado para a interface gráfica homem máquina configurada para a visualização dos parâmetros de controle da extrusora.

Neste processo serão monitoradas as variáveis pressão, temperatura e viscosidade afim de controlar a velocidade do parafuso da extrusora com o objetivo de manter constante a pressão de saída do material extrudado e conseqüentemente o seu fluxo, para que não ocorra variações que influenciem a qualidade do produto extrudado.

5. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE CONTROLE NEBULOSO

Nesta pesquisa, foi desenvolvido um sistema de controle nebuloso para o controle do processo de extrusão da borracha. O modelo foi desenvolvido a partir do monitoramento das variáveis de pressão, temperatura e viscosidade para o controle da velocidade do parafuso da extrusora, a fim de se obter uma vazão constante do material extrudado pela matriz modeladora para que o peso final do material extrudado permaneça dentro das tolerâncias admissíveis especificadas pelo processo.

Para o desenvolvimento de um sistema de controle nebuloso, as variáveis de entrada, pressão, temperatura e viscosidade monitoradas e convertidas em variáveis nebulosas. Neste processo as variáveis de entrada se transformam em variáveis nebulosas e assumem infinitos valores no intervalo $[0,1]$ determinadas por funções de pertinência criadas na base de conhecimento do sistema.

Todas as variáveis analisadas possuem uma faixa de atuação e controle. O controle da pressão varia entre $\sim -2,5$ à $\sim +2,5$ Bar. Deve-se considerar que esta faixa de controle atue sobre a função do ajuste da pressão de operação. O controle da temperatura está delimitado por uma faixa de controle de $\sim 0^{\circ}\text{C}$ à $\sim 50^{\circ}\text{C}$, pois os valores de temperatura ambiente monitorados durante a realização dos estudos estão dentro desta faixa.

Para o processo de extrusão utilizam-se lotes de compostos de borracha que são submetidos a medições da sua respectiva viscosidade. O processo para determinar a viscosidade de um elastômero puro ou de uma composição não vulcanizada, é através de um equipamento denominado viscosímetro *Mooney*, utilizado na medição da resistência da borracha ao cisalhamento (Guerra *et al.*, 2004).

Por apresentarem características distintas, as variáveis monitoradas interferem de diferentes formas, por este motivo, na base do conhecimento são criadas regras que em conjunto com os valores de pertinência de cada variável, realizam o controle de velocidade da extrusora. A cada alteração do valor das variáveis monitoradas, o

sistema de controle nebuloso deverá gerenciar o controle de velocidade do parafuso da extrusora com o objetivo de manter a pressão e o fluxo do material extrudado na saída da matriz modeladora da extrusora constantes.

Por fim, para o controle de velocidade da extrusora foram utilizadas funções de pertinência do tipo triangular. O modelo de controle proposto na pesquisa utiliza um Sistema de Inferência Nebuloso no qual foi implementada a técnica do tipo *Mamdani* (Simões e Shaw, 2007; Oliveira *et al.*, 2010).

Na Figura 4 pode ser visto o diagrama do controlador nebuloso, o sistema de controle possui realimentação do tipo malha fechada. A variação da pressão de saída do material extrudado pode assumir valores positivos e negativos, conseqüentemente a rotação do motor do parafuso da extrusora poderá diminuir ou aumentar como mostra o diagrama da Figura 4.

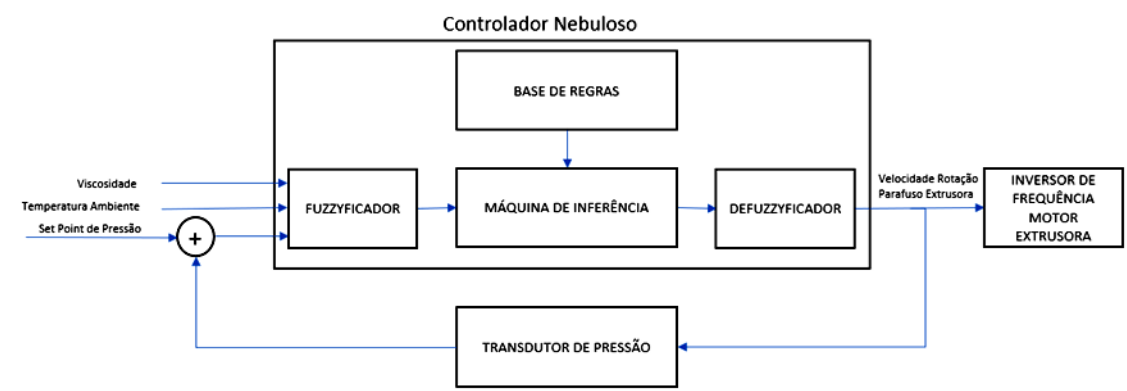


Figura 4. Diagrama de controle nebuloso utilizado na fabricação de pneus.
Fonte: Próprio Autores (2022).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes e a verificação da validação do sistema de controle nebuloso proposto foi obtido através de experimentos com o equipamento em regime de operação referentes ao tempo de assentamento e sobressinal.

Na Figura 5 observa-se o comportamento instável do peso do material extrudado ao longo do processo de extrusão, isso ocorre, devido o controle da extrusora estar sendo realizado manualmente pelos operadores humanos e não pelo sistema de controle nebuloso. Nota-se que através do controle manual, o peso do material extrudado apresenta variações acima dos valores admissíveis para o controle qualitativo do produto (cor vermelha após a marcação de 0,984).

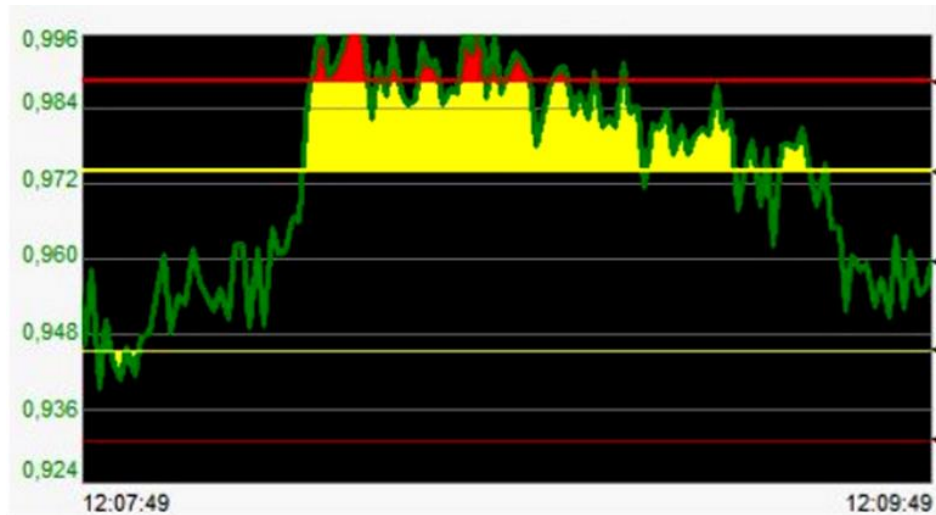


Figura 5. **Variação do peso do material extrudado sem o controle nebuloso.**
 Fonte: Próprio Autores (2022).

O controle da pressão tem como benefícios a diminuição na variação do peso do produto extrudado, diminuição do produto extrudado a ser reutilizado, economia de energia elétrica e o tempo de disponibilidade de máquina. Estas vantagens culminaram em questões atualmente relevantes como a eficiência energética, e também, a elevação dos níveis qualitativos do produto extrudado.

É importante ressaltar que, os distúrbios considerados estão dentro de uma faixa específica de controle, estes valores que delimitam as funções de pertinência. Em situações com grandes variações dos valores nas variáveis de entrada, o sistema proposto pode elevar ou reduzir a rotação do motor do parafuso da extrusora na tentativa de manter a pressão constante. Evidentemente para grandes variações, o sistema pode não ser capaz de manter a pressão da saída do material extrudado constante para não exceder a velocidade nominal do motor.

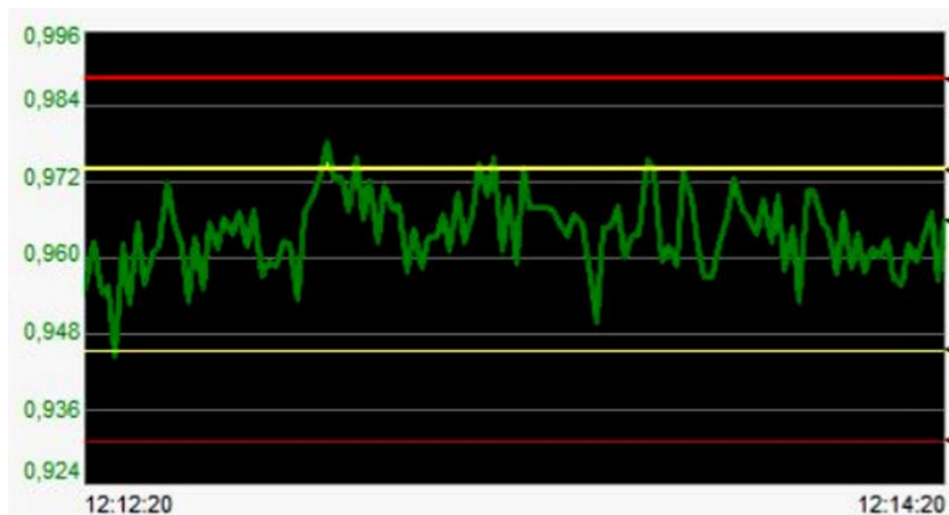


Figura 6. **Variação do peso do material extrudado com o controlador nebuloso.**
 Fonte: Próprio Autores (2022).

Ao contrário do observado na Figura 5 no qual as respostas do sistema ultrapassam os limites admissíveis (região na cor vermelha acima de $\sim 0,984$), oriundo de controle realizado manualmente pelos operadores humanos, na Figura 6 nota-se uma diferença significativa do comportamento entre um sistema controlado manualmente e o sistema com o controlador nebuloso. O controlador nebuloso se mostrou muito estável e confiável, principalmente devido à variedade de produtos extrudados ao qual o sistema de controle se adaptou e conseguiu atender todas às especificações na fabricação dos pneus.

7. CONCLUSÃO

Ao utilizar um conjunto de regras coerentes e funções de pertinência adequadas, a lógica nebulosa se mostrou eficaz para o controle da pressão de saída do material extrudado a partir da velocidade do parafuso da extrusora, visto que as técnicas de controle tradicionais nem sempre funcionam bem em sistemas complexos ou não lineares. Além disso, foi simples implementar esta solução, não houve a necessidade de modelar o sistema a ser controlado, pois foram considerados e incorporados nos sistemas de controle os conhecimentos heurísticos dos operadores humanos acostumados com este processo.

O inversor de frequência utilizado possui diversas parametrizações, assim como o controlador de automação programável que permite atingir uma alta velocidade de processamento, como ambos são dispositivos que interferem na resposta do sistema de controle. Deve ser observado que a substituição destes dispositivos por outros similares, mas não os mesmos aqui utilizados, podem alterar a resposta final do sistema de controle nebuloso.

Foi constatado que o controlador nebuloso pode ajustar a pressão de saída de forma eficiente, pois garantiu que o peso do material extrudado não ultrapassasse os limites qualitativos especificados (máximo 3%).

Assim sendo, pode-se concluir que a aplicação com base na teoria nebulosa teve êxito no desenvolvimento deste controlador, tendo em vista os resultados obtidos e apresentados neste artigo.

Durante este desenvolvimento, ficou patente a praticidade e confiabilidade ao aplicar este tipo de controlador. Esta metodologia deve ser considerada como um

avanço tecnológico na fabricação de pneus que é um sistema complexo devido a extrusão da borracha.

A redução dos índices energéticos, a redução no consumo de matéria-prima e o aumento da disponibilidade da máquina, permitiu aumentar o volume de produção e a diminuição de desperdícios no processo produtivo utilizado durante a execução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ABEYKOON, C.A.; LI, K.; MCAFEE, M.; MARTIN, P.J.; IRWIN, G.W. **Extruder Melt Temperature Control with Fuzzy Logic**. 18th IFAC World Congress. Milano, 28 August and 10 September, p.8577-8582, 2011.
- ABEYKOON, C.A. **Novel Soft Sensor for Real-Time Monitoring of the Die Melt Temperature Profile in Polymer Extrusion**. IEEE Transactions on Industrial Electronics. v.61(12), p.7113-7123, 2014 A.
- ABEYKOON, C.A. **Novel Model-Based Controller for Polymer Extrusion**. IEEE Transactions on Fuzzy Systems. v.22(06), p.1413-1430, 2014 B.
- ABEYKOON, C.A. **Single Screw Extrusion Control: A Comprehensive Review and Directions for Improvements**. University of Manchester. v.1, p.1-13, 2016.
- ALBERTIN, M.R.; ELIENESIO, M.L.B.; AIRES, A.S.; PONTES, H.L.J.; JÚNIOR, D.P.A. **Principais Inovações Tecnológicas da Indústria 4.0 e suas Aplicações na Manufatura**. XXIV Simpósio de Engenharia de Produção - SIMPEP2017. Bauru - SP, 8 a 10 de novembro, p.1-13, 2017.
- ARBIX, G.; SALERNO, M.S.; ZANCUL, E.; AMARAL, G.; LINS, L.M. **O Brasil e a Nova Onda de Manufatura Avançada**. Centro Brasileiro de Análise e Planejamento, v.36(03), p.29-49, 2017.
- BENTO, A.R.; MALAGUTTI, T.F. **Aplicação da Indústria 4.0 como Forma de Melhoria nos Processos de Manufatura no Setor Automotivo**. Revista Ling Acadêmica, v.10(01), p.9-27, 2020.
- BILOBROVEC, M.; MARÇAL, R.F.M.; KOVALESKI, J.L. **Implementação de um Sistema de Controle Inteligente Utilizando a Lógica Fuzzy**. XV Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia de Processos. Bauru, 8 a 10 de novembro, p.1-7, 2004.
- CAMBOLM, W.L.L.; SILVA, S.A.; GOMES, H.P. **Aplicação de Técnicas Fuzzy no Controle de Pressão em Sistemas de Abastecimento de Água**. Eng Sanit Ambient. v.19(01), p.67-77, 2014.

- COMENALE, W.; WILTGEN, F. **Automação Industrial para a Manufatura Avançada com Apoio da Engenharia de Sistemas & Requisitos**. 11º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, v.01(01), p.1-8, 2021.
- COMENALE, W.; WILTGEN, F. **Controlador Nebuloso para Extrusoras de Borracha**. XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, v.01(01), p.1-10, 2022.
- COMENALE, W.; WILTGEN, F.; ALMEIDA, L.F. **Lógica Nebulosa para o Controle de Extrudoras de Parafuso Simples Aplicada ao Processo de Fabricação de Pneus**. Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão, v.01(01), p.1-21, 2022.
- GOMIDE, F.A.C.; GUDWIN, R.R. **Modelagem, Controle, Sistemas e Lógica Fuzzy**. SBA Controle & Automação. v.4(03), p.97-115, 1994.
- GOMIDE, F.A.C.; GUDWIN, R.R.; TANSCHKEIT, R. **Conceitos Fundamentais da Teoria de Conjuntos Fuzzy, Lógica Fuzzy e Aplicações**. Proc. 6th IFSA Congress – Tutorials. São Paulo, 21 a 28 julho, p.1-38, 1995.
- GUERRA, B.B.; FURTADO, C.R.G.; COUTINHO, F.M.B. **Avaliação Reológica de Elastômeros e suas Composições**. Polímeros: Ciência e Tecnologia. v.14(4), p.289-294, 2004.
- JUNIOR, M.A.B., SOARES, V.A., GONÇALVES, G.J.C., MUNHOZ, M.R., DIAS, L.G., BARBARA, G.V.; BREGANON, R. **Implementação de um Controlador Fuzzy para Controle de Temperatura**. Brazilian Journal of Development, v.6(06), p.38231-38245, 2020.
- MAHTO, P.K.; MURMU, R. **Temperature Control for Plastic Extrusion Process**. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. p.5748-5658, 2015.
- MCT&I Plano de CT&I para Manufatura Avançada no Brasil**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC. Brasília. 2017. 68p.
- MENDES, C.R.; SIEMON, F.B.; CAMPOS, M.M. **Estudo de Caso da Indústria 4.0 Aplicados em uma Empresa Automobilística**. Pós-Graduação em Revista, v.01(04), p.15-25, 2017.
- OLIVEIRA, D.N.; BRAGA, A.P.S.; ALMEIDA, O.M. **Fuzzy Implementado em Ladder com Funções de Pertinência Descontínuas**. XVIII Congresso Brasileiro de Automática. Bonito, 12 a 16 setembro, p.411-416, 2010.
- OREIRO, J.L.; FEIJÓ, C.A. **Desindustrialização: Conceituação, Causas, Efeitos e o Caso Brasileiro**. Revista de Economia Política. v.30(02), p.219-232, 2010.
- PONTES, J.; ARCURI, A.S.A. **A Manufatura Avançada entre Dois Extremos**. Revista Administracion Publica y Sociedad, v.01(05), p.26-37, 2018.

PREVIDI, F.; SARAVESI, S.; PANAROTTO, A. **Design of a Feedback Control System for Real-Time Control of Flow in a Single-Screw Extruder**. 16th Triennial World Congress. Prague. p.1111-1121, 2005.

QUELHO, P.E.Q. **Desenvolvimento de Extrusora Experimental e Software para Controle e Supervisão das Variáveis de Extrusão do ABS**. Dissertação de Mestrado no Centro Universitário de Volta Redonda. 2018. 150p.

RAUWENDAAL, C. **Polymer Extrusion**. Germany Munich. 2013. p.934.

RESONNEK, V.; SCHOPNER, V. **Self-Optimizing Barrel Temperature Setting Control of Single Screw Extruders for Improving the Melt Quality**. AIP Conference Proceedings. Taipei, 6 February, p.030010-1-030010-5, 2019.

RODRIGUEZ, M.R.; PERDOMO, J.; STREFEZZA, M.; COLMENARES, W. **Control Extrusora de Plástico usando Control PI Difuso Adaptado com El Error de Predicción Del Modelo**. Revista Ciencia e Ingenieria. v.25(01), p.61-66, 2004.

SALES, J.C.; SANTOS, M.C.; BRANDÃO, F.S.; BRAGA, W.A.; MORAIS, J.E.V.; SALES, A.J.M.; SOMBRA, A.A. **Extrusão na Indústria de Cerâmica Vermelha no Ceará**. 58º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Bento Gonçalves, 18 a 21 maio, p.1-11, 2014.

SAMPAIO, L.M.D.; OLIVEIRA, M.J.F.; IGNACIO, A.A.V. **Lógica Nebulosa: Aplicações e Tendências**. Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha. Rio de Janeiro, 7 a 8 de novembro, p.1-15, 2007.

SANDRI, S.; CORREA, C. **Lógica Nebulosa**. V Escola de Redes Neurais. S. J. dos Campos, 19 de julho, p.c073-c090, 1999.

SANTOS, D.M.; BUKZEM, A.L.; COUTINHO, N.D.; ASCHERI, J.L.R.; ASCHERI, D.P.R. **Principais Considerações da Extrusão Termoplástica de Alimentos**. Revista Processos Químico. v.1, p.38-44, 2010.

SANTOS, M.; MANHÃES, A.M.; LIMA, A.R. **Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades para o Brasil**. X Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe (X SIMPROD). São Cristovão, 22 a 24 de novembro, p.1-13, 2018.

SELLITTO, M.A. **Inteligência Artificial: Uma Aplicação em uma Indústria de Processo Contínuo**. Gestão & Produção. v.9(03), p.363-376, 2002.

SILVA, M.L.; SANTOS, L.; CHOUPINA, A. **A Extrusão em Tecnologia Alimentar: Tipos, Vantagens e Equipamentos**. Rev. de Ciência Agrária. v.38(01), p.3-10, 2014.

SILVA, L.M.; SILVA, E.J.A.; FERREIRA, L.M.; GONÇALVES, R.M.; SILVA, B.Q. **Estado da arte dos fundamentos e ideias da Lógica Fuzzy aplicada as Ciências e Tecnologia**. Revista Brasileira de Geomática. v.7(03), p.149-169, 2019.

SIMÕES, M.G.; SHAW, I.A. **Controle e Modelagem Fuzzy**. São Paulo, 2007. 186p.

TROPIA, C.E.Z.; SILVA, P.P.; DIAS, A.V.C. **Indústria 4.0: Uma Caracterização do Sistema de Produção**. XVII Congresso Latino-Ibero-americano de Gestão Tecnológica – ALTEC 2017. Ciudad de México, 16 a 18 de outubro. p.1-14, 2017.

VERMULM, R. **Políticas para o Desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil**. Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial -IEDI. São Paulo. 2018. 31p.

VIDAL, L.C. **Aplicação Fuzzy x Pid**. Curitiba. 2015. 149p.

YAMASHITA, D.M. **Compostos de Borracha**. ITAL. Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens. v.1(01), p.1-9, 2009.

WILTGEN, F. **A Manufatura Avançada Precisa de uma Engenharia Avançada**. Revista Tecnologia. v.41(02), p.1-11, 2020.



Capítulo 4
CULTURA PROJETUAL: UMA POSSÍVEL
SISTEMATIZAÇÃO DE CONCEITOS SOBRE DESIGN E
TECNOLOGIA

Washington Ferreira Silva
André Inácio do Carmo
Fabiana Ferreira Silva

CULTURA PROJETUAL: UMA POSSÍVEL SISTEMATIZAÇÃO DE CONCEITOS SOBRE DESIGN E TECNOLOGIA

Washington Ferreira Silva

*Professor do Departamento de Design da Universidade Federal da Paraíba – UFPB,
Doutor em Design (UFPE), washington.ferreira@academico.ufpb.br*

André Inácio do Carmo

*Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de
Pernambuco - UFPE, carmoandre2014@gmail.com*

Fabiana Ferreira Silva

*Professora do Departamento de Administração da Universidade Federal Rural de
Pernambuco – UFRPE, Doutora em Educação e Mestre em Administração (UFPE),
fabiana.ferreirasilva@ufrpe.br*

RESUMO

A expressão *cultura projetual* é utilizada com múltiplos significados e com finalidades diversas no meio acadêmico. O senso comum nos direciona a pensar que essa expressão está diretamente relacionada a práticas profissionais, entretanto a pesquisa realizada em literatura específica demonstrou diferentes abordagens adotadas. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo sistematizar conceitos basilares sobre design, tecnologia, cultura e arte de projetar a fim de contribuir com uma melhor compreensão dessas expressões. Trata-se de uma pesquisa de natureza qualitativa e teórica, classificando-se como revisão bibliográfica. Os dados foram tratados com base em análise de conteúdo. Dentre os principais resultados, destaca-se a sistematização de conceitos sobre design e tecnologia, bem como outros termos que permeiam essas temáticas. Por fim, ressalta-se a necessidade de atualização constante dos achados tendo em vista o contexto temporal em que foram coletados e as constantes mudanças vivenciadas na atualidade.

Palavras-chave: Conceitos. Cultura Projetual. Design. Tecnologia.

ABSTRACT

The expression project culture is used with multiple meanings and for different purposes in academia. Common sense directs us to think that this expression is directly related to professional practices, however research carried out in specific literature demonstrated different approaches adopted. Therefore, the present work aimed to systematize basic concepts about design, technology, culture and the art of designing in order to contribute to a better understanding of these expressions. This is research of a qualitative and theoretical nature, classified as a bibliographic review. The data was processed based on content analysis. Among the main results, the systematization of concepts about design and technology stands out, as well as other terms that permeate these themes. Finally, the need to constantly update the findings is highlighted, taking into account the temporal context in which they were collected and the constant changes experienced today.

Keywords: Concepts. Project Culture. Design. Technology.

1 DESIGN E TECNOLOGIA

O ser humano distingue-se dos outros animais por diversos aspectos, dentre eles, a inteligência e a capacidade de raciocínio e reflexão. Entretanto, a habilidade de comunicação pode ser considerada a sua maior capacidade. Não que os outros animais não se comuniquem, mas só os humanos têm a habilidade de armazenar essas informações e repassá-las para seus descendentes.

Se imaginássemos que a fala não fosse uma capacidade inata dos seres humanos e sim uma invenção, poderíamos chamá-la de tecnologia? E o que foi dito, poderíamos atribuir como cultura? E essa “invenção”, neste caso, a fala, seria um objeto de design? Provavelmente as principais respostas seriam: depende, talvez, sim e não! Logo, se já é extremamente difícil definir o que é design, imagina-se então quando o combinamos à tecnologia e à cultura.

Diversos autores associam design à indústria, aos processos de produção, à criatividade e às técnicas utilizadas na elaboração de um objeto, com o intuito de solucionar geralmente um problema. Isso fica claro na afirmação de Marcus (2002), para o qual o design ainda está associado à estética do *Good Design*, ou seja, refere-se à época da boa forma, em que os objetos eram produzidos valendo-se do uso da simplicidade, com poucos ornamentos e racionalização dos materiais pelas indústrias. Já o senso comum, associa o termo design exclusivamente ao formato do objeto em si.

Segundo Bonsiepe (1997), célebre teórico da área, design consiste no domínio através do qual se estrutura a interação entre os usuários e os produtos, facilitando ações efetivas. Sendo que, todo design é design de interfaces, no sentido de não somente se projetar à funcionalidade do produto, tarefa designada. Esse autor também considera atributos da engenharia, programação e outras áreas de desenvolvimento, além da a interação do produto com o usuário, como podemos observar abaixo, no diagrama ontológico do design. Esse diagrama é constituído por três domínios, unidos por uma categoria central, onde temos:

- um usuário ou agente social que quer realizar uma ação efetiva;
- uma tarefa que o usuário quer cumprir, exemplo: cortar pão, passar batom, tomar uma cerveja ou abrir um canal num dente;
- uma ferramenta ou um artefato que o usuário precisa para realizar efetivamente a ação, que pode ser, por exemplo, uma faca, um batom, um *walkman*, um copo, entre outros.

Diante do exposto podemos nos questionar **como** esses três campos heterogêneos (um corpo, um objetivo e uma ferramenta ou uma ação) **podem ser acoplados um ao outro?** Simplesmente unindo esses três domínios pela interface. Para tanto, deve-se levar em conta que a interface não é “uma coisa, mas o espaço no qual se estrutura a interação entre corpo, ferramenta (objeto ou signo) e o objetivo da ação” (BONSIEPE, 1997, p. 16).

Logo, em vez de atribuir ao design a função de simplesmente fazer capas e superfícies “bonitinhas” para produtos e mensagens, podemos usar a interface como o domínio central do design, pois ela:

- revela o caráter de ferramenta dos objetos e o conteúdo comunicativo das informações;
- transforma objetos em produtos;
- transforma sinais em informação interpretável;
- transforma simples presença física em disponibilidade (BONSIEPE, 1997, p. 16).

No entanto, é importante salientar primeiramente que o design não é o produto ou a mensagem; não é a manifestação material das formas visuais, mas o processo que conduz a obtenção do produto ou da mensagem. Além disso, nem todas as formas de design são comunicação.

Assim como o termo design, a palavra tecnologia só passou a se tornar representativa após a revolução industrial, na segunda metade do século XIX, para representar a reestruturação radical das sociedades ocidentais como resultado do processo de industrialização. Mas essa palavra já foi utilizada anteriormente referindo-se aos estudos das artes e, posteriormente, passou a referir-se aos sistemas das artes mecânicas e industriais.

Desta forma, tecnologia passou a ser compreendida como a aplicação de um conhecimento ou ciência, em áreas específicas, sendo principalmente associada às ciências para produção, à engenharia e ao design de sistemas industriais. Por essa razão, diversos autores a associavam como sendo os sistemas de máquinas e/ou processos.

Atualmente, segundo Murphie (2002), ela se tornou de “caráter artificial, isto é, a tecnologia não é um objeto natural, mas um objeto feito pelos humanos”. Entretanto, Simpson (1995) a define como um aglomerado de conhecimentos, processos, habilidades e produtos cujo objetivo é controlar e transformar. Já o senso comum geralmente só associa tecnologia a algo relacionado a computadores, meios digitais e objetos da chamada “última geração”.

Não podemos falar de tecnologia sem definir também o que é técnica. Segundo Murphie (2002), técnica pode ser definida simplesmente como o uso de habilidade para realizar alguma coisa. Todavia, esse conceito é um pouco mais complexo. Barret (1978 apud MURPHIE, 2002), enfatiza a centralidade da técnica nas relações entre cultura e tecnologia, considerando que “toda tecnologia está intimamente envolvida com a técnica através da qual nós a usamos”, afirmando que “se nossa civilização tivesse que perder toda sua técnica, todas as nossas máquinas e aparatos tornar-se-iam uma enorme pilha de rebotalhos ou sucata”.

Desta forma, observamos a importância da técnica nos processos tecnológicos, uma vez que uma não seria possível sem a outra. Esse pensamento também é verificado em Mauss (1992 apud MURPHIE, 2002), que chama de técnica tudo aquilo que é efetivo, ou seja, que funciona e é tradicional, podendo ser repassado através da cultura. Este autor complementa seu pensamento afirmando que “muitas das coisas que nós pensamos como naturais são, de fato, específicas da mesma técnica e da mesma cultura”. Logo, questões como tecnologia, máquinas e técnicas são fundamentais para qualquer entendimento a respeito da cultura.

2 REVISITANDO ALGUNS CONCEITOS DE CULTURA

Termos como design, tecnologia e cultura são de difícil definição, tanto que, Williams (1983 apud MURPHIE, 2002) considera cultura uma das duas ou três palavras mais complicadas das línguas. No senso comum, essa questão adquire proporções menores, sendo comumente associado à arte, às tradições e ao grau de instrução de um indivíduo.

Entretanto, se considerarmos que a cultura tem grandes laços com a linguagem, como afirma Lévi-Strauss (1958 apud SOUZA, 2008) e se ressaltarmos a complexidades desses laços, temos a linguagem como um produto da cultura, como parte da cultura e, ainda, como condição da cultura.

Dessa forma, este autor diz que toda esta dimensão cultural é considerada como um “sistema simbólico, no qual se destacam a linguagem, as regras matrimoniais, as relações econômicas, a arte, a ciência e a religião”, no qual também podemos incluir o design. Todos esses sistemas, segundo este autor, visam exprimir aspectos das realidades psíquica e social que os sistemas simbólicos estabelecem uns com os outros”.

Já em um outro enfoque, Laraia (2001) define cultura como sendo um processo de “endoculturação”, ou seja, algo dependente de aprendizado, em que os comportamentos tendem a projetar as percepções de aprendizagem. Desta forma, para se compreender o processo cultural, segundo a autora, é fundamental olhar para o processo contínuo de modificação, que resulta em uma mudança cultural, podendo ser de dois modos: o primeiro, um processo interno resultante da dinâmica do próprio sistema cultural; e o segundo, externo e resultante do fruto do contato de um sistema cultural com outro.

Para Hofstede (1984), cultura é a programação coletiva da mente que distingue os membros de uma organização dos de outra, em que o termo programação indica “as reações mais prováveis e compreensíveis em função do passado de cada um”. Para esse autor, o homem tem sua conduta e suas experiências definidas pelos costumes, pelas linguagens e pelos comportamentos no trabalho, sendo que essas ações são definidas como produtos de sua própria cultura.

Todavia, Hofstede (1984) revela que os grupos humanos pensam, sentem e agem de forma diferente e, desta forma, representa distintos níveis de manifestações

culturais, cujas práticas variam de cultura para cultura e podem ser representadas por símbolos, heróis e rituais, conforme o diagrama a seguir:

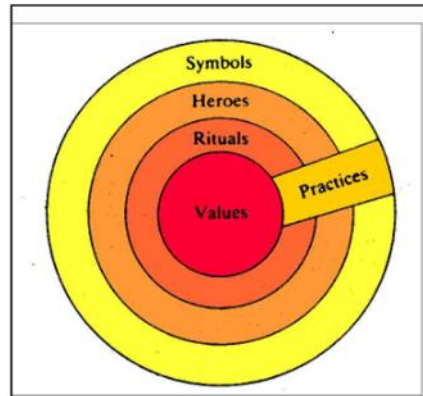


Figura 1. Diagrama de Cultura
Fonte: Hofstede (1994)

Na Figura 1, os três primeiros níveis são agrupados pelo autor sob o termo práticas, por estarem visíveis ao observador externo, em que os símbolos são palavras, gestos, figuras ou objetos que carregam um significado particular que só é reconhecido por aqueles que compartilham a mesma cultura/ideologia. Já os heróis são pessoas, vivas ou mortas, reais ou imaginárias, que nos servem como modelos de comportamento. Enquanto os rituais são atividades coletivas, tecnicamente supérfluas para alcançar objetivos desejados, mas que, dentro de uma cultura, são consideradas como socialmente essenciais. Já no centro, temos os valores, que são responsáveis pelas grandes tendências de preferir certas circunstâncias a outras, formando as identidades culturais.

Logo, a teoria de Hofstede (1991) pode ser percebida a partir dos seguintes níveis: natureza humana, cultura, e personalidade. O primeiro significa o que todos os indivíduos têm em comum, ou seja, o que é determinado geneticamente. É o nível de programação mental percebido através da capacidade humana de sentir medo, raiva, amor, alegria, tristeza, da necessidade de contato com outros, de jogar, de fazer exercício, da capacidade de observar o meio e de falar sobre isso com outros seres humanos. Já o segundo, isto é, a cultura, é responsável por estabelecer a forma como a natureza humana é expressa. E o terceiro, a personalidade, seria a programação mental única, não compartilhada pelo indivíduo com os outros, uma vez que combina herança genética com experiências pessoais e influência cultural. Além disso, o consumo também é influenciado por aspectos e dimensões culturais, que classificam-se em:

- Índice da distância de poder: refere-se ao grau em que indivíduos com menos poder esperam e aceitam distribuições desiguais de poder em sua cultura;
- Individualismo x coletivismo: refere-se ao grau em que uma cultura enfatiza o indivíduo e o núcleo familiar em relação à sociedade como um todo;
- Masculino x feminino: refere-se ao grau em que os papéis masculinos tradicionais de assertividade e competição são enfatizados;
- Índice de incerteza: refere-se ao grau em que indivíduos mostram-se ansiosos acerca de eventos incertos;
- Valores longo prazo x curto prazo: refere-se ao grau em que a sociedade adota, ou não, uma devoção a um comprometimento de longo prazo e a valores tradicionais.

Já Roger Keesing (1974 apud LARAIA, 2001), divide cultura em dois estágios. O primeiro considerando cultura como sistemas (padrões de comportamento socialmente transmitidos) adaptativos, servindo para adequar as comunidades humanas aos seus embasamentos biológicos, incluindo tecnologias e modos de organização econômica, padrões de estabelecimento, de agrupamento social e organização política, além de crenças e práticas religiosas. E no segundo, referindo-se à cultura através das bases de teorias idealistas, subdividindo-a em três abordagens:

- sistema cognitivo, que consiste em tudo aquilo que alguém tem de conhecer ou acreditar para operar de maneira aceitável dentro de sua sociedade;
- sistemas estruturais, que é uma criação acumulativa da mente humana, sendo os princípios da mente o mito, a arte, o parentesco e a linguagem;
- sistemas simbólicos, com símbolos e significados sobre modos de relação entre os homens e entre os homens e o meio, também compreendendo padrões de comportamento.

Desta forma, podemos entender cultura com um processo dinâmico e multiplicador, cheio de signos, comportamentos e significados, passados de geração à geração como uma herança crescente. Com isso percebemos que todas as palavras de grande importância, como tecnologia e especialmente cultura, exercem fatores de mudanças sociais, que se efetivam através do seu contexto. Um exemplo disso é de como a tecnologia influenciou largamente as culturas populares, fazendo com que o

turismo se tornasse um serviço em constante expansão devido ao desenvolvimento de novas tecnologias de transportes, bem como as mudanças e/ou a criação de hábitos culturais com a inclusão do aparelho celular como um produto popular.

Logo, é a partir dos estudos sobre cultura, que surgem questões como: até que ponto uma mudança cultural poderia ser a mola propulsora para o desenvolvimento de práticas e das metodologias do design? E o que será então cultura do design e cultura projetual? Com base nessa reflexão e na busca pelo entendimento da relação do conceito de cultura com o design e com o ato de projetar, enfocaremos a seguir essas terminologias sistematizando estes campos de práticas e saberes.

3 A ARTE DE PROJETAR E A CULTURA PROJETUAL

A palavra projetar, vem do latim “projectare” que significa arrojado, lançar, dirigir adiante ou em distância. Entretanto, Maldonado (1991) relaciona o ato de projetar com a conotação ambiental, em que somos estimulados a buscar obstinadamente a satisfação de nossas mais profundas necessidades como seres humanos, ou seja, a necessidade de confirmar tudo o que somos, fazemos e queremos fazer.

A partir desse pensamento percebemos que o ato de projetar está tão presente e intenso nas atitudes humanas que podemos dizer que essa necessidade e capacidade de criar é uma característica humana e que está presente desde as gerações passadas.

Diante disso, de acordo com Guber (1998), são essas características que “diferenciam o homem nas suas funções mais elementares, desencadeada do acionar humano, isto é, do *homo sapiens*”. Além disso, esse autor relaciona uma outra característica de diferenciação, o “*homo socius*”, ou seja, a tendência de o homem agrupar-se e relacionar-se com o resto dos seres da sua mesma espécie, fazendo que a simples interação, passe a ser denominada de socialização. A partir dessas duas definições, o homem permite o seu desenvolvimento no meio artificial no qual vive, sendo o principal responsável pelo ato de projetar seus próprios objetos, permitindo comunicar e receptor informações, além de dar um significado simbólico aos artefatos desenvolvidos.

Logo, o homem não somente interpreta, organiza e modifica o seu ambiente, ele também cria um significado, um lugar e um tempo para cada uma das atividades e objetos que os cerca. Deste modo, o ser humano significa e ressignifica os objetos

e pensamentos dentro da sociedade e entre os integrantes de cada cultura. Um exemplo disso é que o ato de projetar dos europeus não é igual às técnicas empregadas pelos africanos, decorrentes de termos culturais diferentes.

De acordo com Moles (1971 apud GUBER, 1998) o elemento da cultura representa, ao mesmo tempo, a concretização de um grande número de ações do homem na sociedade e inscreve-se na categoria das mensagens que o meio social envia ao indivíduo, ou reciprocamente, que o “*homo fabe*” aporta à sociedade. Diante disso, o autor afirma que, na medida em que o homem foi adquirindo cultura, suas necessidades ficaram mais complexas, desencadeando na ocupação de distintos papéis e subculturas, dentre elas, a cultura projetual.

Mas o que seria então cultura projetual? Como não foi encontrada uma definição exata do termo, observemos os seguintes usos dessa expressão no Quadro 1:

<p>Exemplo 01: O desenvolvimento de uma cultura projetual voltada à discussão das questões ambientais e à reorientação dos comportamentos sociais pode promover a transformação dos fatores – desenvolvimento e conservação – atualmente paradoxais, em elementos intrínsecos e complementares. Para designar essa cultura projetual utiliza-se o termo “ecodesign” ou “eco-concepção” (SILVA; HEEMANN, 2007).</p>
<p>Exemplo 02: <i>Intuito</i> é um escritório especializado em <i>design</i> industrial. Nossos projetos são desenvolvidos em um ambiente de cultura projetual sistêmica envolvendo o uso responsável da informação aplicada, considerando aspectos <i>tecnológico</i>-produtivos, ergonômicos, mercadológicos e o monitoramento de tendências de estilo de vida e consumo (INTUITO, 2009).</p>
<p>Exemplo 03: As pesquisas em Design vêm contribuir para o desenvolvimento de uma cultura projetual capaz de enfrentar a transição para a sustentabilidade e de promover o aparecimento de uma nova geração de produtos e serviços sustentáveis (MANZINI, 2007 apud PEROBA, 2008).</p>
<p>Exemplo 04: O design tem uma trajetória marcada por seis paradigmas e destaca ao longo desta trajetória um aumento gradual na consideração de aspectos humanos e sociais, e corresponde à saída radical de uma cultura científica em direção àquilo que podemos chamar de cultura projetual (KRIPPENDORFF, 2000 apud PEROBA, 2008).</p>
<p>Exemplo 05: O design brasileiro, junto ao modelo pós-moderno na década 1980, não produziu em quantidade significativa, é verdade, mas, certamente, iniciou um novo processo para o reconhecimento de uma estética multicultural brasileira. Foi aberto, então, no Brasil, nesse período, uma nova estrada para o design por meio da decodificação do próprio pluralismo étnico e estético local, cujo modelo, de forma mais madura desponta como uma nova cultura projetual somente a partir da segunda metade dos anos 1990. Essa nova realidade nos conduz a um aspecto que, hoje, começa a ser conhecido como uma estética multicultural, em que se nota uma forte presença dos signos híbridos e de uma energia singularmente brasileira (MORAES, 2008).</p>

Quadro 1. Usos da expressão cultura projetual

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Diante do exposto, podemos verificar que a expressão “cultura projetual” é empregada com significados e objetivos diferentes. A partir da análise dos exemplos apresentados, foram identificadas características através das quais a cultura projetual pode ser associada às dimensões técnica, configuracional e conceitual.

Na Dimensão Técnica estariam enquadradas a prática e a experiência profissional, bem como a teoria metodológica projetual, conforme apresentado nos Exemplos 02 e 04.

Já a Dimensão Configuracional está associada a elementos de concepção de projetos, tais como forma, textura, material e cor, ou seja, relaciona-se principalmente aos fatores estéticos. Um exemplo disso seria o uso desse termo para designar os projetos desenvolvidos pela estética da boa forma.

E na Dimensão Conceitual temos a inserção de valores culturais e simbólicos ao termo, como uma cultura projetual centrada em valores ambientais, apresentado nos Exemplos 01 e 05.

Entretanto, é fundamental ressaltar que apesar dessa categorização, existem casos em que o termo está vinculado a duas ou até mesmo às três dimensões apresentadas, como pode ser observado no Exemplo 03. Desta forma, é importante analisar e verificar o contexto do uso da expressão cultura projetual para tentar identificar melhor o seu significado e, deste modo, compreender quais valores e questões culturais estão inseridos nessa temática.

Logo, as experiências resultantes da arte de se projetar algo, bem como todas as questões culturais envolvidas são partes fundamentais para se compreender a cultura projetual.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conceituar termos não é um trabalho simples, principalmente quando se tem em conjunto palavras que já possuem definições múltiplas ou divergentes. Deste modo, esse artigo analisou os principais temas que envolvem a expressão cultura projetual para um melhor entendimento da mesma.

De forma geral, verificou-se que não há um consenso no uso desta terminologia, bem como que seu uso é empregado para designar diferentes abordagens. Dessa pesquisa, identificou três tipos de dimensões para uma possível

categorização de cultura projetual, passando pelos campos técnicos, configuracionais e conceituais do ofício de projetar.

Face ao exposto, sugere-se para trabalhos futuros, que essa categorização possa ser melhor estudada e atualizada com base em periódicos internacionais. Além disso, é pertinente analisar possíveis sub-categorias da terminologia cultura projetual, visto essa expressão às vezes é utilizada de forma generalizada ou referente a especificidades de determinadas áreas.

REFERÊNCIAS

BONSIEPE, Gui. **Design do material ao digital**. Florianópolis: FIESC/IEL, 1997.

GUBER, Nestor Daniel. **Responsabilidade no projeto do produto: uma contribuição para a melhoria da segurança do produto industrial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1998.

HOFSTEDE, Geert. **Cultures and organizations: software of the mind**. London: McGraw-Hill UK, 1991.

INTUITO. Disponível em: <http://www.intuitodesign.com.br/>. Acesso em: 15 de dez. 2023.

LARAIA, Roque de Barros. **Cultura: um conceito antropológico**. 14. ed. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

MALDONADO, T. **Desenho Industrial**. Portugal: Edições 70, 1991.

MARCUS, George. **What is Design Today?** New York: Abrams, 2002. p. 07-55.

MORAES, Dijon de. **Design e Multiculturalismo**. Belo Horizonte: Centro de Estudos Teoria, Cultura e Pesquisa em Design. UEMG, 2008.

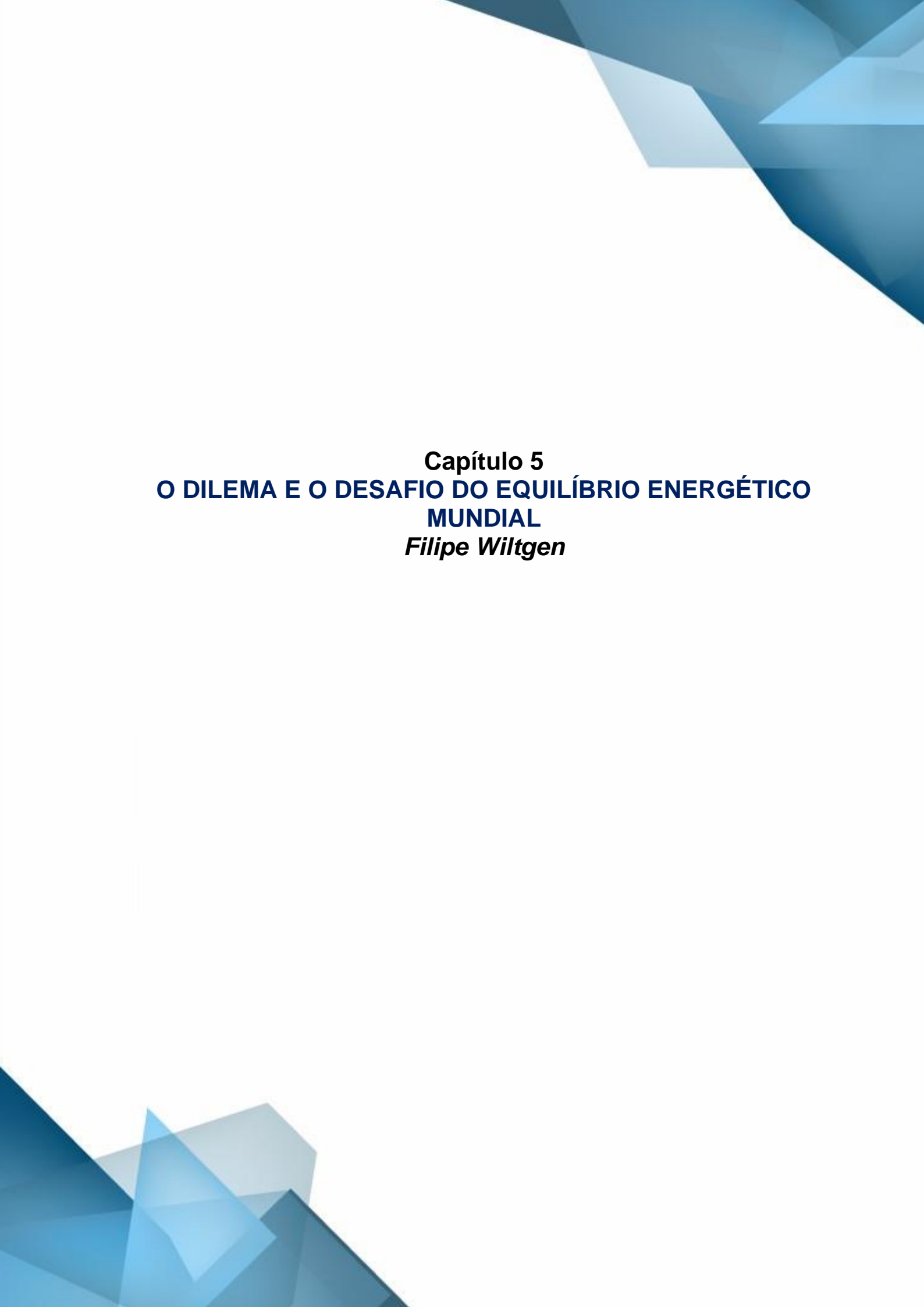
MURPHIE, Andrew; POTTS, John. **Culture and Technology**. Palgrave Macmillan: LTD, 2002.

PEROBA, Ana Rita Valverde. **Design Social: um caminho para o designer de Moda?** São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2008.

SILVA, J. S. G. da; HEEMANN, A. **Eco-concepção: Design, ética e sustentabilidade ambiental**. In: I Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí, 2007.

SIMPSON, L. C. **Technology, Time and the Conversations of Modernity**. Routledge: Psychology Press, 1995.

SOUZA, E. C. L.; CASTRO-LUCAS, Cristina. **Uma nova maneira de refletir os conceitos de cultura, empreendedorismo e inovação:** uma metodologia de vida. In: XXXII Encontro Anual da ANPAD, 2008, Rio de Janeiro. Anais. 2008. p.1-16.



Capítulo 5
O DILEMA E O DESAFIO DO EQUILÍBRIO ENERGÉTICO
MUNDIAL
Filipe Wiltgen

O DILEMA E O DESAFIO DO EQUILÍBRIO ENERGÉTICO MUNDIAL

Prof. Dr. Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador, Professor e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA em São José dos Campos). Considerando apenas o tempo mais recente na docência, de 2017 a 2023 como professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar

Fotovoltaica na Universidade de Taubaté. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo (IFSP em Campinas) durante 2022 e 2023, nos cursos de técnico em Eletrônica e graduação em Eng. Elétrica. Professor, Coordenador de curso e Diretor Substituto na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC em Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial, Gestão da Produção Industrial e Automação Industrial. Atualmente Editor-Chefe da Revista de Pesquisa Aplicada e Tecnologia (REPATEC) da FATEC de Pindamonhangaba.

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).

Google Acadêmico (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao).

Currículo FAPESP (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).

Writer, Researcher, Teacher and Electrical Engineer (1994) from University of Taubaté (UNITAU in Taubaté). Master (1998) and PhD (2003) in Electronic Devices and Systems, in area of Controlled Thermonuclear Fusion, from Institute of Aeronautical Technology (Instituto de Tecnologia de Aeronáutica – ITA in São José dos Campos). Considering only most recent time in teaching, from 2017 to 2023 as

professor in Master's Program in Engineering, and Coordinator of Specialization Course in Photovoltaic Solar Energy at University of Taubaté. Professor at Federal Institute of Education, Science and Technology in State of São Paulo (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo – IFSP in Campinas) during 2022 and 2023, in Electronics technician and undergraduate courses in Electrical Engineering. Professor, Course Coordinator and Substitute Director at Faculty of Technology of State of São Paulo (Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo – FATEC in Pindamonhangaba), since 2021 in courses of Mechanical Projects, Industrial Maintenance, Industrial Production Management and Industrial Automation. Currently Editor-in-Chief of Journal of Applied Research and Technology (REPATEC) at FATEC in Pindamonhangaba.

Lattes CNPq CV (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

ResearchGate Document Base (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).

Google Scholar (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao).

FAPESP Curriculum (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).

RESUMO

A energia é sem dúvida um recurso fundamental para a vida humana. A pergunta importante a ser respondida é, existe a possibilidade de viver sem energia, e a resposta completa é um paradigma. Assim sendo, a resposta é sim, é possível viver sem energia, mas a resposta é também não, pois da forma como vive-se hoje e com a quantidade de pessoas acumuladas em centros urbanos não é possível viver sem energia. Isso mostra a atual dependência da energia para a sobrevivência humana, principalmente nos centros urbanos superpopulosos. O crescimento populacional tem impactado de forma muito contundente na produção de insumos, alimentos, medicamentos e energia, tudo com um custo muito alto para os finitos recursos naturais do planeta. A velocidade do consumo dos recursos naturais não permite ao planeta se recuperar em tempo hábil para repor estes recursos naturais. Há alguns anos este limite tem sido ultrapassado após seis ou sete meses de um ano, ou seja, os recursos de um ano inteiro têm ficado escassos em meio ano. Este artigo tem como objetivo mostrar o atual desafio e dilema na tentativa de manter o importante equilíbrio energético no mundo. Buscando soluções energéticas mais eficientes, e de longo prazo com o objetivo de observar o problema de forma mais profunda, com o objetivo de vislumbrar um caminho para o futuro.

Palavras-chave: Energia; Energia Nuclear; Eletricidade; Recursos Naturais; Sustentabilidade.

ABSTRACT

Energy is undoubtedly a fundamental resource for human life. The important question to be answered is, is there a possibility of living without energy, and complete answer is a paradigm. Therefore, the answer is yes, it is possible to live without energy, but the answer is also no, because way we live today and with number of people accumulated in urban centers, it is not possible to live without energy. This shows current dependence on energy for human survival, especially in overpopulated urban centers. Population growth has had a major impact on production of inputs, food, medicines and energy, all at a very high cost to the planet's finite natural resources. The speed of consumption of natural resources does not allow the planet to recover in a timely manner to replenish these natural resources. For some years now, this limit has been exceeded after six or seven months of a year, that is, resources for an entire year have become scarce in half a year. This article aims to show current challenge and dilemma in trying to maintain important energy balance in the world. Seeking more efficient, long-term energy solutions with aim of observing problem in more depth, with aim of envisioning a path for the future.

Keywords: Energy; Nuclear Energy; Electricity; Natural Resources; Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

Por um lado, entende-se a grande necessidade da utilização das fontes de energia para o desenvolvimento humano, por outro lado igualmente importante, tem-se a escassez de recursos naturais cada vez mais pungente e significativamente menor a cada ano. Ambos concorrentes e ambos importantes para sustentabilidade da espécie humana neste planeta. O grande dilema atual é que para produzir mais energia na forma atual escolhida por grande parte sociedade mundial, requer cada vez mais de uso dos limitados recursos naturais (GREENSTONE *et al.*, 1999; HODGSON, 2010).

Todos sabem que nossas fontes de energia convertem o calor irradiado do Sol transformando em outras formas de energia presentes na natureza. Entretanto, devido aos mecanismos de controle ambientais presentes no planeta, sua regulação depende de um equilíbrio muito tênue entre seu uso e seus impactos. Durante milhares de anos, os seres humanos foram se desenvolvendo e sua população crescendo de forma

exponencial nas últimas décadas, a cerca de ~12.000 mil anos a população humana sobrevivia sem conseguir ultrapassar a marca de 1 bilhão de habitantes (WILTGEN, 2024 A), e hoje tem-se à marca de ~8 bilhões de pessoas no ano de 2024.

Com tantos habitantes aglomerados em grandes centros urbanos, a diferença demográfica, ainda faz piorar a escassez de recursos naturais nestas regiões o que demanda recursos de outras regiões de forma exagerada. Em grandes centros urbanos a necessidade e demanda de energia, principalmente elétrica, faz com que seja necessária uma nova forma de encontrar equilíbrio entre a energia demandada e a produzida. De tal maneira que possa haver um equilíbrio energético estável e que seja contido o avanço da utilização de recursos naturais de forma tão ineficiente.

As escolhas feitas pelos países do primeiro mundo em realizar uma transição energética no qual foi suplantada a utilização da energia nuclear, se mostra desde sua implantação como desastrosa, e será sem dúvida uma das maiores negligências, imprudências e imperícias mundiais para com o futuro da espécie humana na Terra.

É fácil perceber que na atual situação, será preciso utilizar fontes de energia que sejam muito eficazes e independentes dos mecanismos regulatórios da natureza. Existem três fontes de energia que podem operar sem a interferência direta da natureza, a de combustíveis fósseis, que além de serem muito poluentes estão ficando cada vez menos disponíveis e sua eficiência é pequena para a demanda atual e futura.

De forma similar, tem-se a energia geotérmica, que depende da extração do calor interno da Terra, no qual sua eficiência depende da zona de calor existente e em locais mais favoráveis. E por fim, a única forma de energia que além de não depender da natureza, é sem dúvida a mais eficiente de todas, a energia nuclear (HODGSON, 2005).

Atualmente a única forma de energia nuclear capaz de ser utilizada como um reator para a produção de calor e eletricidade é a de fissão nuclear. Com o tempo e as mudanças climáticas, todas as outras formas de produzir energia serão desafiadas e a produção energética mundial dependerá das fontes de energia de fissão nuclear as quais tem sido desativada ao longo dos anos (BURGESS *et al.*, 2020; MONTALVÃO, 2011; WILTGEN, 2022 D; EL-GUEBALY, 2009; WILTGEN, 2023 A).

Neste artigo serão discutidas as alternativas tendo em vista o grande dilema de manter o equilíbrio energético mundial mesmo com a contundente escassez de recursos naturais. Neste tem-se o impacto da ação antropogênica na limitação dos recursos naturais, a importância de entender o papel da energia nuclear na transição

energética mundial para buscar o equilíbrio. A busca pela energia nuclear de fusão como forma de amenizar a crescente demanda de energia atual e futura. Por fim, uma discussão sobre as perspectivas futuras a respeito do desenvolvimento energético mundial e as alternativas existentes para retomar a produção de energia de forma eficiente, consciente e sustentável sem comprometer ainda mais os recursos naturais do planeta. Preparando sempre a humanidade para os desafios futuros.

2. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada é do tipo exploratória qualitativa e quantitativa baseada em estudo científico testado e aplicado na prática. De tal forma que a pesquisa permite argumentar o estudo por meio de análises e percepções qualitativas e quantitativas investigando um determinado problema apresentando hipóteses baseadas nos resultados obtidos na pesquisa aplicada para facilitar a compreensão do tema abordado.

3. O IMPACTO ANTROPOGÊNICO NA DISPONIBILIDADE DE RECURSOS NATURAIS

Na década de 80 surgiram duas teorias importantes que apesar de não terem relação direta, ambas têm aplicações interessantes para o processo de ensino e aprendizagem. A primeira teoria é a do *Prof. Seymour Papert* com o “aprender a aprender” na prática (PAPERT, 1986; PAPERT, 2020; PAPERT and HAREL, 1991; ACKERMANN, 2001; BADA, 2015), usando a técnica chamada de Construcionismo utilizando a experimentação criativa do fazer

Tudo o que se faz tem consequências, ação e reação (terceira lei de Newton). A presença humana na Terra teve início tão discreto quanto o surgimento de qualquer espécie via a evolução natural. Durante mais de 12 mil anos a espécie subsistia e enfrentava diversos desafios de sobrevivência os quais impuseram um forte crescimento nas formas de comunicação para a transferência de conhecimento. O conhecimento permitiu uma redução na mortalidade da espécie o que levou a uma estabilidade a princípio frágil devido à falta de recursos tecnológicos, os quais foram sendo obtidos ao longo dos anos (FELTRIN, 2018).

A prova de que a espécie realmente era capaz de transformar seu ambiente

surgiu com a substituição dos seres humanos nômades caçadores-coletores, para seres humanos que cultivavam e criavam espécies.

Esta pequena, mas importante transformação fez com que os recursos naturais comesçassem a ser importantes na construção de ferramentas, abrigos para animais e famílias humanas, com isso surgiram as primitivas cidades, antes delimitadas por grandes espaços de terras para sobrevivência e regularidade alimentar. E depois pela urbanização no qual as pessoas passaram a conviver mais perto umas das outras, e saindo dos campos para morar em cidades cujo o propósito era de sobrevivência da espécie em um ambiente mais seguro e protegido, resquícios dos instintos naturais humanos. Entretanto, este processo de morar em cidades demanda mais recursos naturais pelo fato de ser necessário concentrar muitas pessoas em um lugar relativamente pequeno (CARVALHO, 2022; FRIGO, 2018).

Este fato por si só foi um dos mais importantes para os efeitos atuais referente os impactos antropológicos na natureza e na sustentabilidade dos recursos naturais. A presença humana e a exploração dos recursos naturais causam um desequilíbrio que afeta a produção e a demanda de energia, proporcionado pela necessidade de transformação dos recursos para o condicionamento e a operacionalização das máquinas, e combustíveis necessários, por exemplo, para a conversão energética.

A disponibilidade dos recursos naturais depende diretamente do consumo, como os recursos naturais precisam de um tempo para se recompor, a vida moderna do ser humano tem consumido de forma muito veloz os recursos disponíveis. Isso impacta profundamente na disponibilidade e continuidade dos recursos naturais devido ao pouco tempo útil para sua recomposição, em que alguns casos, se quer podem ser repostos (WILTGEN, 2023 D).

A crescente população e a aglomeração em cidades têm dificultado o uso racional dos recursos naturais e impactando diretamente na qualidade de vida. A produção de artefatos antropológicos, tais como: concretos, tijolos, agregados, metais e plásticos por serem muito duráveis, se acumulam e não se decompõe facilmente tornando um problema para a natureza.

Grande parte do material construído pelos humanos tem impossibilitado a recomposição natural, quer seja pelas modificações construtivas físico-químicas, quer seja pela transformação antropológica na construção de edificações, estradas e pavimentação em geral. O montante da transformação antropológica há alguns anos passou de ~1 Gt (1×10^9 toneladas), que hoje é maior do que toda a massa biológica

viva existente no planeta.

Toda matéria aglutinada pelo ser humano se transforma em resíduo antropológicos, e quanto maior a quantidade e maior a transformação, mais difícil fica a recomposição deste recurso para sua forma natural. Fato de que a evolução humana consome os recursos naturais presentes no planeta, não é por si só um problema, o problema existe no momento em que se consome mais recursos do que o planeta é capaz de fornecer ou reciclar para novamente ser utilizado pela humanidade.

Tendo em vista que a milhares de anos (~4,5 bilhões de anos), quando o planeta se estabilizou e começou a esfriar, que a massa da Terra tem sido constante, com minúsculas variações de elementos perdidos pela atmosfera ou mesmo enviado pelos humanos na exploração espacial. Como isso é verdade, tudo no planeta se transforma e volta a ser recurso natural conforme o planeta vai evoluindo na sua idade, ou seja, o planeta renova sempre seus recursos naturais a cada novo ciclo, com tempo para que isso venha a ocorrer, não existe problema com os recursos. Porém, os humanos têm consumido os recursos em um tempo exíguo o qual não permite a renovação.

Encontrar uma forma de equilíbrio entre os avanços tecnológicos e o acúmulo de recursos antropológicos é sem dúvida um fator muito importante para melhorar a relação entre os recursos naturais e sua utilização ou reciclagem.

4. O IMPORTANTE PAPEL DA ENERGIA NUCLEAR NO CENÁRIO MUNDIAL DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Dentre as formas de produção de energia existentes atualmente, a forma mais eficiente e que menos impacta no consumo de recursos naturais é a que utiliza a energia nuclear. Como a energia nuclear possui uma elevada rejeição da opinião pública em geral, devido ao uso em dispositivos bélicos de destruição em massa, muitas centrais de fissão nuclear foram descontinuadas e de comissionadas, principalmente na Europa (Alemanha), e também impactou e atrasou a construção de muitas novas centrais nucleares espalhadas pelo mundo.

É fato que a energia nuclear é a forma de transformação energética que menos impacta no equilíbrio da natureza, faz com que a comunidade científica repense de forma contundente a utilização de novas centrais nucleares mais seguras, de maior duração operacional, com menor quantidade de combustível fóssil, com modularidade

operacional e reatores modernos compactos. Importantes estudos dos efeitos da radiação em seres biológicos conduzidos na região de exclusão em *Pripyat* e *Chernobyl*, mostram que são inconclusivos e que algumas espécies em extinção em outros lugares, tiveram refúgio na zona de exclusão, o que parece de fato uma dicotomia paradoxal, a presença humana pode ser pior do que os resquícios radioativos? (MONTALVÃO, 2012).

Fato verdadeiro também, é que uma central nuclear não pode em circunstância alguma se tornar uma bomba nuclear, visto que a quantidade de material físsil existente em uma central nuclear é uma fração muito pequena do que a necessária para um dispositivo nuclear (~3% de enriquecimento radioativo em uma central nuclear e ~90% em uma arma nuclear).

A utilização de sistemas modulares para construção de novas centrais de fissão nuclear pode revolucionar a forma de explorar a energia nuclear, não só pela versatilidade construtiva, na economia financeira de instalação, mas também a opção de agregar novos reatores conforme aumentar a demanda por energia. Quanto à segurança operacional, existem diversas vantagens na utilização dos novos reatores compactos, dentre estas a principal é a enorme redução de massa de combustível nuclear para a produção de eletricidade via o calor em reatores compactos modulares (WILTGEN, 2024 B).

A opção nuclear é a única eficiente e independente das condições climática do planeta. Podendo hoje ser instalada em quase qualquer lugar, além de ser operacionalmente transportada na forma de centrais nucleares móveis como navios, caminhões e aviões. Permitindo operações itinerantes ou mesmo no uso em operações emergenciais temporárias (desastres naturais, conflitos ou apoio em demanda). A energia nuclear se mostra a única opção real para a substituição da matriz energética baseada em combustíveis fósseis capaz de suprir a demanda de eletricidade requerida na transição energética da frota de veículos movidos a combustíveis fósseis para eletricidade (TRYGGESTAD, 2019; WILTGEN, 2023 C).

A transição energética por si só é um grande desafio para as nações, principalmente para os países no qual a fonte energética é amplamente baseada em combustíveis fósseis, ou mesmo aquelas cuja matriz energética conta com significativa parcela de energia renovável no qual não consta utilização de centrais nucleares. Muitos países têm se planejado para a ampliação significativa de suas operações com centrais nucleares a fissão, isso porque fica cada vez mais nítida a

importante participação da fissão nuclear no desenvolvimento de uma matriz de transição energética sustentável com a presença de energia atômica. A visão irrestrita e responsável na utilização da fissão nuclear permitirá ganhar tempo até que os futuros reatores a fusão nuclear possam não só estarem operacionais, mas principalmente disponíveis comercialmente.

5. A BUSCA PELA ENERGIA DE FUSÃO NUCLEAR

A pesquisa em fusão nuclear data da década de 1930 (BOYLE, 1968; ARTISIMOVICH, 1972), quando as primeiras máquinas promissoras no desenvolvimento de confinamento do plasma começaram a operar de forma eficiente em um sistema com uma câmara de vácuo no formato toroidal que constituía uma gaiola magnética via um campo magnético helicoidal (formando uma fita ao redor do toroide) composto por dois conjuntos de bobinas de diferentes campos magnéticos com diferentes orientações geométricas, um na posição horizontal (campo toroidal) e outro na posição vertical (campo poloidal) cada qual gerado por diferentes bobinas magnéticas (WILTGEN, 2021; MCCRACKEN and STOTT, 2012; HERMAN, 1990).

A máquina mais promissora para obtenção da fusão nuclear como um reator comercial para as próximas décadas é a máquina de origem Russa conhecida por um acrônimo que hoje é a designação do nome deste tipo de máquina chamado de *Tokamak* (WILTGEN, 2022 B). Uma máquina do tipo *Tokamak* é um dispositivo complexo composto por muitas parte e dezenas de subsistemas de apoio para a formação, manutenção e aquecimento do plasma. O *Tokamak* é uma máquina elétrica, a produção da fusão nuclear ocorre para descarga elétrica intensa que é responsável pela formação de uma coluna toroidal de plasma no interior da câmara de vácuo toroidal (WILTGEN, 2021; WILTGEN, 2022 A; WILTGEN, 2022 C; MISHRA and ANITHA; 2020; CONN, 1963).

Plasma é o quarto estado físico conhecido da matéria (muito quente e ionizado), este é necessário para romper a barreira de *Coulomb* que é responsável por blindar o átomo impedindo que os átomos se fundam naturalmente. Devido a barreira, a temperatura para obter a quebra desta barreira no planeta Terra é da ordem de ~150 milhões de graus Celsius (temperatura muitas vezes superior à temperatura de muitas estrelas) (WILTGEN, 2022 A).

Isto foi, e ainda é, um grande desafio nas pesquisas de fusão nuclear, tanto

para obter quanto para manter o plasma a esta temperatura. A esta temperatura é possível inserir na câmara de vácuo dentro da coluna de plasma dois isótopos do hidrogênio que são propícios a fusão nuclear, deutério e trítio. A mistura deutério e trítio (*D-T*) permite que os átomos dentro do plasma a estas temperaturas possam colidir e se fundirem devido ao intenso grau de agitação térmico cinético das partículas. Quando isso ocorre devido a transformação do *Prof. A. Einstein* ($E=m.c^2$) grande parte da massa dos átomos fundidos se transforma em energia sendo absorvida na forma de calor e de nêutrons energéticos.

Essa grande energia obtida da fusão nuclear doa átomos de *D-T* é utilizada de forma tradicional para aquecer fluidos e transformar em vapor, ciclo termodinâmico de *Rankine*, a fim de movimentar uma turbina, o que permite movimentar também um gerador elétrico quando o mesmo está acoplado ao seu eixo, e assim obter eletricidade (CHEN, 2011; WILTGEN, 2023 B).

O futuro primeiro reator a fusão nuclear vem sendo construído desde o final do ano de 2006 em um dos maiores consórcios internacionais contando com mais de 35 países envolvidos, o *Tokamak* chamado de *ITER* (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) deverá iniciar suas operações em 2035 (LACKNER, 2008; SHIMOMURA *et al.*, 1999). O *ITER* é uma máquina muito grande e muito complexa, seu projeto e construção demandaram de mais de 6.500 pessoas, e ocupa uma área de ~180 hectares ($1,8 \times 10^6$ m²) em *Saint-Paul-lès-Durance* no Laboratório de *Cadarache* na França. O edifício principal do *Tokamak* possui altura de ~30m e o peso estimado do *ITER* quando terminado será superior a 23.000 toneladas. O volume do plasma no *ITER* será de 840 m³, próximo do volume de uma piscina olímpica (~1.100 m³) no qual fluirá uma corrente elétrica de ~15-20 MA ($1.000.000A = 1$ MA = 1×10^6 Ampère) confinada por um campo magnético de ~5-12 T (1 Tesla = 10^4 Gauss) (YICAN and SUMER, 2018; COSTLEY, 2019; HIWATAR and GOTO, 2019; HANDLEY *et al.*, 2021).

O investimento final do *ITER* é estimado por volta de ~65 bilhões de dólares, e sua meta é ser o primeiro reator sustentável de fusão nuclear no mundo, permitindo a construção do *Tokamak DEMO* (demonstrador de tecnologias) no qual permitirá participação das empresas com a finalidade de evoluir para um *Tokamak* chamado *FPP* (*Fusion Power Plant* – Central de Energia a Fusão, ou seja, reator a fusão nuclear comercial) até o ano de 2100 (BUTTERY *et al.*, 2021; GALAMBOS *et al.*, 1995).

6. DISCUSSÃO E PERSPECTIVAS FUTURAS

O equilíbrio é uma forma interessante de se relacionar com o universo, e desta forma com a energia e a natureza. Encontrar um ponto de equilíbrio não é trivial. Toda vez que isso passa a ser importante, e/ou preocupante e necessário, é porque evidentemente algo está fora do equilíbrio e precisa ser corrigido. O equilíbrio é natural no Cosmos.

Encontrar o equilíbrio entre as necessidades crescentes de uma população de 8-10 bilhões de pessoas que preferem ficar amontoadas em pequenas regiões (cidades grandes), deixa de ser algo desafiador, passa a ser árduo. Exigirá sem dúvida uma grande parcela de abdicção e adaptação a novos hábitos sustentáveis, o que de fato levará o ser humano a ter menos conforto e mais responsabilidade ecológica.

A espécie humana não pode continuar a produzir de forma descontrolada uma massa antropogênica maior do que toda a massa viva no planeta. Um uso racional dos recursos naturais pode fazer com que grande parte dos problemas ambientais sejam reduzidos, dando tempo para que a natureza consiga reciclar de forma hábil as condições normais do planeta. Aqui cabe lembrar das lições do *Prof. James Lovelock* (2019-2022) que durante muito tempo alertou sobre o comportamento do planeta com uma dinâmica própria, além de sugerir fortemente operação de uma matriz energética basicamente nuclear (LOVELOCK, 2003; LOVELOCK, 2004).

Reflexões sobre como manter o equilíbrio precisam ser apoiadas e praticadas de fato pelas nações, não basta se reunirem na forma de grandes congressos com metas intangíveis e esperar sentados que tudo vai mudar para melhor. Este tipo de ação inócua não ajuda na questão do equilíbrio. O equilíbrio energético percorre uma vasta e profunda adaptação de vida, a qual só poderá ser obtida quando as crianças aprenderem com exemplos reais de como serem sustentáveis, diminuindo as facilidades do dia a dia e de embalagens que contenham plásticos, para fibras naturais e de fácil remanejamento pela natureza com ações naturais de reciclagem e absorção pelo ambiente. Para o auxílio no fator energético a utilização mais profunda de engenharia biomimética e de arquiteturas bioinspiradas devem fazer significante contribuições para uma vida menos desgastante para a natureza (EATTNER, 1976; NAKCENONI, 2000; KASPER, 2005; MURRAY, 2007; NITZBON, 2017; SUBRAMANIAN, 2018).

A grande questão é quanto à humanidade está disposta realmente a abrir mão

de determinados confortos inúteis e banais para que as próximas gerações de humanos, que receberam esta herança maldita, possam de fato ter tempo para encontrar uma solução duradoura para os problemas rotineiros que vem se acumulando com os hábitos e o crescimento da população humana no planeta (BUTZERA and ENDFIELD, 2012; EHRLICH and EHRLICH, 2023; GOOD and REUVENY, 2009; BARNOSKY *et al.*, 2016).

Deve existir um discernimento entre o que fabricar para ser de fácil e rápida reciclagem como as embalagens de transporte e armazenamento temporário de alimentos, e o que fabricar para que possa durar tempo suficiente para extrair benefícios de uso não voláteis, como vestimentas, veículos a algumas máquinas importantes. O conceito de consumismo leva a raça humana a uma improbidade da praxe atual, no qual o acúmulo de objetos antropogênicos supera em muito as necessidades reais de consumo e bem-estar de vezo. Um dos principais exemplos atuais de consumismo decorre do fato de que aparelhos eletrônicos são produzidos em uma enorme quantidade para serem descartáveis em tempo recorde de menos de seis meses. Isso impõe a humanidade e a natureza um elevado custo em recursos naturais e energéticos incalculáveis (TAYLOR and TAYLOR, 2007).

Na velocidade que a espécie humana consome os recursos naturais, não parecerá nenhuma surpresa que o colapso imaginado e simulado na década de 1970 pelos professores *D.H. Meadows, D.L. Meadows, J. Randers e W.W. Behrens II* (MEADOWS *et al.*, 1972), venha a se tornar realidade nas décadas de 2030-2050. A população humana ainda não conseguiu ter a consciência responsável de que nada é de fato eterno, e que tudo que se faz tem consequências, e pior possui um tempo imutável que frequentemente é muito maior do que dezenas de gerações de seres humanos. Infelizmente a maioria das pessoas sempre agem a favor de sua comodidade, e em seu benefício próprio, e quase nunca com a responsabilidade esperada pelo bem comum. Isto parece ser uma falha humana muito frequente, quem sabe com o tempo algo mude antes de se tornar inevitável.

REFERÊNCIAS

ARTISIMOVICH, L.A. **Tokamak Devices**. Nuclear Fusion. v.12, p.215-252, 1972.

BARNOSKY, A.D., EHRLICH, P.R., HADLY, E.A. **Avoiding Collapse: Grand Challenges for Science and Society to Solve by 2050**. Elementa: Science of the Anthropocene. v.4, p.01-09, 2016.

BOYLE, F.I. **Plasmas en el Laboratorio y en el Cosmos**. Reverté Mexicana, 1968. 175p.

BURGESS, R., GREENSTONE, M., RYAN, N., SUDARSHAN, A. **Demand for Electricity on the Global Electrification Frontier**. Yale Engineering Economics. p.01-73, 2020.

BUTTERY, R.J., PARK, J.M., MCCLENAGHAN, J.T., WEISBERG, D., CANIK, J., FERRON, J., GAROFALO, A., HOLCOMB, C.T., LEUER, J., SNYDER, P.B. **The Advanced Tokamak Path to a Compact Net Electric Fusion Pilot Plant**. Nuclear Fusion. v.61, p.046028 (01-18), 2021.

BUTZERA, K.W., ENDFIELD, G.H. **Critical Perspectives on Historical Collapse**. PNAS. v.109(10), p.3628-3631, 2012.

CARVALHO, S.A. **A Desnaturalização do Homo Sapiens Diante da Natureza e do Meio Ambiente Natural**. R. Themis, v. 20(02), p.59-80, 2022.

CHEN, F.F. **An Indispensable Truth: how Fusion Power can Save the Planet**. New York, Springer Science and Business Media, LLC. 2011. 450p.

CONN, R.W. **The Engineering of Magnetic Fusion Reactors**. Scientific American. v.249(04), p.01-60, 1963.

COSTLEY, A.E. **Towards a Compact Spherical Tokamak Fusion Pilot Plant**. Philos. Trans. R. Soc. A. v.377(2141), p.20170439, 2019.

EL-GUEBALY, L.A. **History and Evolution of Fusion Power Plant Studies: Past, Present and Future Prospects**. Nuclear Reactors, Nuclear Fusion and Fusion Engineering, NOVA Science Publishers. p.217-271, 2009.

EHRLICH, P.R., EHRLICH, A.H. **Can a Collapse of Global Civilization be Avoided?**. Proceedings Royal Society B. v.280, p.01-09, 2023.

FELTRIN, A.N. **Energy Equality and the Challenges of Population Growth**. Relations Beyond Anthropocentrism, Energy Ethics: Emerging Perspectives in a Time of Transition. p.313-320, 2018.

FRIGO, G. **Energy Ethics: A Literature Review**. Relations Beyond Anthropocentrism, Energy Ethics: Emerging Perspectives in a Time of Transition. p.177-214, 2018.

GALAMBOS, J.D., PERKINS, L.J., HANEY, S.W., MANDREKAS, J. **Commercial Tokamak Reactor Potential with Advanced Tokamak Operation**. Nuclear Fusion. v.35(5), p.551-573, 1995.

GREENSTONE, M., REGUANT, M., RYAN, N., DOBERMANN, T. **Energy and Environment**. IGC International Growth Centre, London School. p.01-44, 2019.

GOOD, D.H., REUVENY, R. **On the Collapse of Historical Civilizations**. Amer. J. Agr. Econ. v.91(04), p.863–879, 2009.

HANDLEY, M.C., SLESINSKI, D., HSU, S.C. **Potential Early Markets for Fusion Energy**. Journal of Fusion Energy. v.40(18), p.1-17, 2021.

HERMAN, R. **Fusion - The Search for Endless Energy**. University Cambridge. 1990. 280p.

HIWATAR, R., GOTO T. **Assessment on Tokamak Fusion Power Plant to Contribute to Global Climate Stabilization in the Framework of Paris Agreement**. Plasma and Fusion Research. v.14, p.1305047(1-5), 2019.

HODGSON, P.E. **Energy, the Environment and Nuclear Power**. JAERI Conference. p.0-10, 2005.

HODGSON, P.E. **Energy, the Environment and Climate Change**. Imperial College Press. 2010. 220p.

KASPER, W.E. **Human Progress – And Collapse?**. Energy & Environment. v.16(03-04), p.441-456, 2005.

LACKNER, K. **Dimensionless Engineering Variables for Measuring the ITER and Reactor Relevance of Tokamak Experiments**. Fusion Sci. Technol. v.54, p.989-993, 2008.

LOVELOCK, J. **The Living in Earth**. Nature. v.426, Concepts, December, p.769-770, 2003.

LOVELOCK, J. **Nuclear Power is the Only Green Solution**. Published in The Independent, p.01-03, 2004.

MCCRACKEN, G., STOTT, P. **Fusion: The Energy of the Universe**. Academic Press. 2012. 248p.

MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J., BEHRENS II, W.W. **The Limits to Growth - A Report for THE CLUB OF ROME'S Project on the Predicament of Mankind**. Potomac Associates Book. 1972. 211p.

MISHRA, A.K., ANITHA, G. **Nuclear Fusion Reactor – A Review Study**. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD). v.4(03), p.2456-6470, 2020.

MONTALVÃO, E. **Ambiente e Energia: Crença e Ciência no Licenciamento Ambiental - Parte I: O papel da energia e do conhecimento científico na evolução das civilizações**. Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal Brasileiro, Texto 93. p.01-54, 2011.

MONTALVÃO, E. **Energia Nuclear: Risco ou Oportunidade?**. Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado Federal Brasileiro, Texto 108. p.01-19, 2012.

MURRAY, J.H. **Natural Resource Collapse: Technological Change and Biased Estimation**. National Science Foundation. p.01-19, 2007.

NAKCENOV, N. **Energy and Challenge of Sustainability - Chapter 9 - Energy Scenarios**. World Energy Assessment. 2000. 506p.

NITZBON, J., HEITZIG, J., PARLITZ, U. **Sustainability, Collapse and Oscillations in a Simple World-Earth Model**. Environ. Res. Lett. v.12, p.01-16, 2017.

RATTNER, H. **O Esgotamento dos Recursos Naturais: Catástrofe ou Interdependência**. IX Congresso Pan-americano de Administração – PACCIOS. Rio de Janeiro, 11 a 14 de outubro, v.17(02), p.15-21, 1976.

SHIMOMURA Y., AYMAR, R., CHUYANOV, V., MHUGUET, M., PARKER, R. **ITER Overview**. IAEA, International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER) - Joint Central Team and Home Teams (OV3/1). p.01-16, 1999.

SUBRAMANIAN, K.R. **The Crisis of Consumption of Natural Resources**. International Journal of Recent Innovations in Academic Research. v.2(04), p.08-19, 2018.

TAYLOR, D.M., TAYLOR, G.M. **The Collapse and Transformation of Our World**. Journal of Futures Studies. v.11(03), p.29-46, 2007.

TRYGGESTAD, C. **Global Energy Perspective 2019: Reference Case**. Energy Insights McKinsey. p.1-31, 2019.

WILTGEN, F. **Energia Elétrica via Fusão Termonuclear Controlada**. Revista Militar de Ciência e Tecnologia (RMCT). v.38(03), p.97-107, 2021.

WILTGEN, F. **Estados Físicos da Matéria**. Ciência e Tecnologia: Temáticas e Fundamentos. Editora Uniesmero. Cap.9, v.3, p.106-130, 2022 A.

WILTGEN, F. **Futuro Reator a Fusão Nuclear do Tipo Tokamak – Máquina de Engenharia Desafiadora**. XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM 2022. Teresina, 07-11 de agosto. p.01-10, 2022 B.

WILTGEN, F. **A Fusão Nuclear via Máquina do Tipo Tokamak – Energia Elétrica para o Futuro do Desenvolvimento Humano**. XIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético – CBPE 2022. Híbrido Remoto. p.01-10, 2022 C.

WILTGEN, F. **The Pragmatic Dichotomy of Energy in the World**. Revista de Humanidade, Tecnologia e Cultura FATEC de Bauru. p.01-10, 2022 D.

WILTGEN, F. **Panorama Pragmático do Desafio Energético Mundial – Perspectivas a Longo Prazo**. REPATEC – Revista de Pesquisa Aplicada e Tecnologia. p.01-12, Aguardando publicação, 2023 A.

WILTGEN, F. **Nível de Maturidade Tecnológica da Fusão Nuclear via Confinamento Magnético do Plasma em Tokamaks**. Engenharia do Futuro - Tendências e Perspectivas. Editora Uniesmero. Cap.4, v.3, p.41-65, 2023 B.

WILTGEN, F. **Caminhos para o Futuro da Energia**. Revista H-TEC da FATEC de Cruzeiro. Aguardando publicação. p.01-23, 2023 C.

WILTGEN, F. **Energy Collapse and the Importance of Nuclear Energy**. Revista e-Transformation. Aguardando publicação. p.01-13, 2023 D.

WILTGEN, F. **O Efeito Antropogênico na Energia Elétrica**. CBPE 2024. Aguardando publicação. p.01-16, 2024 A.

WILTGEN, F. **O Dilema Energético e a Escassez dos Recursos Naturais**. CBPE 2024. Aguardando publicação. p.01-06, 2024 B.

YICAN, W., SUMER, S. **Fusion Energy Production**. Elsevier Comprehensive Energy Systems. v.3, p.539-589, 2018.

The page features abstract, overlapping blue geometric shapes in the top-right and bottom-left corners. The shapes are composed of various polygons and triangles in different shades of blue, creating a modern, architectural feel. The central area of the page is plain white.

AUTORES

André Inácio do Carmo

Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, carmoandre2014@gmail.com

Cleiton Tamanini

<https://orcid.org/0000-0002-8005-3895>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Mecânico (2015) pelo Centro Universitário Anhanguera de São Paulo. Mestre (2022) em Engenharia Mecânica, pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Proprietário de empresa do ramo de automação, detecção e alarme de incêndio e segurança eletrônica, prestando serviços de manutenção, instalação, programação e projetos (2020 – Presente); Coordenador de projetos na Johnson Controles BE do Brasil, na área de automação, detecção e alarme de incêndio e segurança eletrônica (2012 – 2020).

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/2930488672615726).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Cleiton-Tamanini).

Google

Acadêmico

(scholar.google.com.br/citations?user=m99kQ4oAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao).

CleitonTamanini@hotmail.com

Fabiana Ferreira Silva

Professora do Departamento de Administração da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Doutora em Educação e Mestre em Administração (UFPE), fabiana.ferreirasilva@ufrpe.br

Filipe Wiltgen

<https://orcid.org/0000-0002-2364-5157>

Escritor, Pesquisador e Engenheiro Eletricista (1994) pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Mestre (1998) e Doutor (2003) em Dispositivos e Sistemas Eletrônicos, na área de Fusão Termonuclear Controlada, pelo Instituto de Tecnologia de Aeronáutica (ITA em São José dos Campos). Considerando apenas o tempo mais recente na docência, de 2017 a 2023 como professor no Programa de Mestrado em Engenharia, e Coordenador no Curso Especialização em Energia Solar Fotovoltaica na Universidade de Taubaté. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia no Estado de São Paulo (IFSP em Campinas) durante 2022 e 2023, nos

cursos de técnico em Eletrônica e graduação em Eng. Elétrica. Professor, Coordenador de curso e Diretor Substituto na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo (FATEC em Pindamonhangaba), desde 2021 nos cursos de Projetos Mecânicos, Manutenção Industrial, Gestão da Produção Industrial e Automação Industrial.

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/9415670242620093).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Filipe-Wiltgen).

Google Acadêmico (scholar.google.com.br/citations?user=WQM6aIYAAAAJ&hl=pt-BR&oi=ao). Currículo FAPESP (bv.fapesp.br/pt/pesquisador/45358/luis-filipe-de-faria-pereira-wiltgen-barbosa).

ProfWiltgen@gmail.com ou Filipe.Wiltgen@fatec.sp.gov.br

Wagner Comenale

<https://orcid.org/0000-0002-2841-5457>

Pesquisador, Bacharel em Matemática com ênfase em informática (2001) pela Fundação Santo André (FSA em Santo André) e Engenheiro Elétrico com ênfase em Eletrônica (2010) pelo Centro Universitário FEI (FEI em São Bernardo do Campo). Mestre em Engenharia Mecânica, na área de Automação e Dinâmica dos Sistemas (2024), pela Universidade de Taubaté (UNITAU em Taubaté). Professor no Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (ETEC em Santo André e São Caetano do Sul) desde 2018, nos cursos de técnico em Automação Industrial, Eletrotécnica, Eletrônica e Mecatrônica. Engenheiro Especialista de projetos na área de Automação e Controle, entre os anos de 2010 à 2023 e atualmente Coordenador de Projetos América Latina na Prometeon Tyre Group.

Currículo Lattes CNPq (lattes.cnpq.br/6938079424491363).

Base de Documentos ResearchGate (www.researchgate.net/profile/Wagner-Comenale-2).

WagnerComenale@hotmail.com ou WagnerComenale@gmail.com

Washington Ferreira Silva

Professor do Departamento de Design da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Doutor em Design (UFPE), washington.ferreira@academico.ufpb.br



Editora
UNIESMERO

ISBN 978-655492075-9



9 | 786554 | 920759

