



FTT JOURNAL

of Engineering and Business
4ª Edição

FUNDAÇÃO SALVADOR ARENA
ENTIDADE MANTENEDORA

Conselho Curador
Presidente: Regina Celi Venâncio

Carlos Alberto Legori
Edson Marcos Zoccante
Hélio dos Santos Junior
Iara Satoco F. Yamada
Luis Carlos Rabello
Marcia Thiemi Uemura
Maria Luzia de Almeida
Marlene Barbieri Taveira
Nelson da Silva Leme
Toshihiko Kumamoto
Valcir Shiguero Omori
Venize Aparecida F. Vigatto

FACULDADE DE TECNOLOGIA TERMOMECANICA

Diretor Geral
Valcir Shiguero Omori

Diretora Acadêmico
Luciana Guimarães Naves Lemos Borges

Coordenadores
Administração: Andrea Firmino de Sá
Engenharia de Alimentos: Márcia Edilamar Pulzatto
Engenharia de Controle e Automação: Silvio Celso Peixoto Gomes
Engenharia de Computação: Michele Bazana de Souza
Pesquisa e Extensão: Márcia Edilamar Pulzatto

| | | | | | |
|---|--------------------------|------|------|----------|-----------|
| FTT Journal of Engineering and Business | São Bernardo do Campo | v. 4 | n. 4 | p. 1-108 | Nov. 2019 |
|---|--------------------------|------|------|----------|-----------|

CONTATO

Faculdade de Tecnologia Termomecanica
E-mail: journal@ftt.com.br

EDITOR ACADÊMICO

Prof. Dr. Fernando Felício Pachi Filho

COORDENAÇÃO DE PRODUÇÃO EDITORIAL

Simone dos Santos Faria

APOIO EDITORIAL

Fernanda Santana
Kátia Alves Aquino Guariso
Luciane Alves
Mara de Godoy
Milena Medeiros de Andrade
Shirley Mayara Ferreira
Valéria Pompermayer Fazolim

SUPORTE TÉCNICO

Marcelo Salles

PRODUÇÃO EDITORIAL

Helena Cristina da Silva Santos

REVISÃO

Sérgio Martins

COMITÊ EDITORIAL CIENTÍFICO

Prof. Dr. Antonio Tavares da Silva (Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro)
Profa. Dra. Claudia Fonseca Rosès (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo)
Prof. Dr. Daniel Oliveira (Faculdade de Tecnologia Termomecanica)
Prof. Dr. Edmir Prado (Universidade de São Paulo-Leste)
Profa. Dra. Ilana Racowski (Faculdade de Tecnologia Termomecanica)
Profa. Dra. Isabel Machado (Universidade de São Paulo)
Prof. Dr. Jean Bonvent (Universidade Federal do ABC)
Profa. Dra. Júlia Maria D'Andrea Greve (Universidade de São Paulo)
Profa. Dra. Lidia Maria Ruv Carelli Barreto (Universidade de Taubaté)
Prof. Dr. Leo Kugnik (Faculdade de Tecnologia Termomecanica)
Prof. Dr. Marco Antonio Fumagalli (Faculdade de Tecnologia Termomecanica)
Prof. Dr. Mario Francisco Guerra Boaratti (Universidade Metodista de São Paulo)
Profa. Dra. Márcia Edilamar Pulzatto (Faculdade de Tecnologia Termomecanica)
Profa. Dra. Martha Regina Verruma-Bernardi (Universidade Federal de São Carlos)
Prof. Dr. Paulo Roberto Garcia Lucarelli (Universidade Nove de Julho)
Profa. Dra. Rosely Imbernon (Universidade de São Paulo- Leste)
Prof. Dr. Wagner Wuol (Faculdade de Tecnologia Termomecanica)

AVALIADORES DESTA EDIÇÃO

Prof. Dr. Alexandre Luís Prim (Faculdade Senac Blumenau)
Prof. Me Alexandre Ferreira Nascimento (Universidade Estácio de Sá)
Profa. Ma. Aline Fernanda Furtado Silva Souza (Instituto Federal do Triângulo Mineiro)
Profa. Ma. Ana Sara Leite Santos (Universidade Estadual do Ceará)
Prof. Dr. André Stein Silveira (QI Faculdade e Escola Técnica)
Profa. Dra. Carla Adriana Pizarro Schmidt (Universidade Tecnológica Federal do Paraná)
Prof. Dr. Carlos Eduardo Rodrigues Barquilha (Universidade Federal do Paraná)
Ma. Caroline Subirá Pereira (Universidade Tecnológica Federal do Paraná)
Profa. Dra. Daniele Souza Carvalho (Instituto Federal de São Paulo)
Me. Denis de Cuffa (Universidade Federal de Santa Catarina)
Prof. Dr. Diego Aires Silva (Universidade do Estado do Pará)
Prof. Me. Djalma Sá (Centro Universitário UniOpet)
Profa. Dra. Eliana Silva de Almeida (Universidade Federal de Alagoas)
Me. Étory Madrilles Arruda (Universidade Federal de Itajubá)
Prof. Dr. Fabiano Larentis (Universidade de Caxias do Sul)
Prof. Dr. Fábio Evangelista Santana (Instituto Federal de Santa Catarina)
Profa. Dra. Fernanda Versiani de Rezende (Centro Universitário Uniorizontes)
Prof. Me. Francisco Silva (Instituto Federal do Maranhão)
Me. Gabriel de Andrade Conradi Barni (Universidade Federal de Santa Catarina)
Me. Glalber Luiz da Rocha Ferreira (Universidade Federal de Goiás)
Prof. Dr. Guilherme Lorencini Schuina (Universidade Estadual de Maringá)
Dra. Heloiza Cristina Holgado da Silva (Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul)
Me. Ivan de Marco (Universidade Federal de Santa Catarina)
Prof. Me. José Aglailson Silva de Olivindo (Instituto Federal do Ceará)
Prof. Dr. José Luis Hermosilla (Universidade de Araraquara)
Prof. Me. José dos Santos Machado (Instituto Federal de Sergipe)
Prof. Me. José Wellington Brandão (Universidade Federal do Ceará)
Me. Kassiano José Matteussi (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)
Prof. Me. Jonathan Carvalho Silva (Instituto Nacional de Telecomunicações)
Profa. Dra. Kécia da Silveira Galvão (Universidade Federal de Pernambuco)
Prof. Dr. Lucas Charão Brito (Universidade Franciscana)
Profa. Dra. Luciana Maria Vieira Lopes Mendonça (Instituto Federal do Sul de Minas)
Prof. Dr. Luciano Ferreira da Silva (Universidade Nove de Julho)
Me. Luiz Henrique Jorge Machado (Universidade Federal de Minas Gerais)
Prof. Dr. Marcelo Pitanga Alves (Uniabeu)

Prof. Me. Márcio Moraes Lopes (Universidade Federal de Goiás)
Profa. Ma. Máriane Cásseres de Souza (Universidade Federal do Rio Grande)
Prof. Me. Mario Leite (Universidade de Uberaba)
Profa. Ma. Mary Dayane Souza Silva (Universidade Estadual da Paraíba)
Prof. Dr. Núcio Elvino Mateus Theodório (Faculdades Educative)
Profa. Dra. Paula Patrícia Ganzer (Faculdade CNEC Farroupilha)
Prof. Me. Paulo Henrique Lixandrão Fernando (Instituto Federal de São Paulo)
Prof. Dr. Pelayo Munhoz Olea (Universidade de Caxias do Sul)
Prof. Dr. Paulo César Bontempo (Faculdades Alves Farias)
Prof. Me. Renier Felinto Julião da Rocha (Instituto Federal do Ceará)
Profa. Dra. Rita Vieira Garcia (Instituto Federal Baiano)
Prof. Dr. Roberto Padilha Moia (Centro Universitário Senac)
Prof. Dr. Sady Mazzioni (Unochapecó)
Profa. Ma. Tamires dos Santos Vieira (Universidade Federal do Rio Grande do Norte)
Ma. Thais Duek Araújo Universidade Federal de Mato Grosso do Sul)
Prof. Dr. Vágner Ricardo de Araújo Pereira Souza (Instituto Federal de São Paulo)
Prof. Dr. Valdenildo Pedro Silva (Instituto Federal do Rio Grande do Norte)
Prof. Me. Wagner Lourenzi Simões (Universidade Luterana do Brasil)
Prof. Dr. Wilnei Adir Schneider (Universidade do Estado de Santa Catarina)

Sumário

7 Editorial

Administração

9 *Emprego da programação linear na análise de custeio variável: um estudo de caso em uma indústria de vulcanizados*

*Emerson José de Paiva
Tarcísio Gonçalves de Brito
Marco Túlio Domingues Costa*

23 *Inovação aberta e capacidades dinâmicas: revisão de escopo da literatura*

*Valéria Feitosa de Moura
Amanda Dias Alves
Giovanna Moraes Guimarães Passarini
Larissa Juliana Guimarães da Silva
Marcos Paulo Amorim*

Engenharia de Alimentos

38 *Aplicação de bagaço de malte na biossorção do corante azul de efluente de lavanderia têxtil*

*Aline Resmini Melo
Carolina Resmini Melo Marques
Larissa Bento Bortolatto
Débora de Pellegrin Campos
Schaiane Langer Junkes*

53 *Influência da cor do copo na percepção sensorial do café*

*Fabiane Matias dos Anjos Nascimento
Raphael Augusto Ramos
Anna Paula Teske de Oliveira
Robson Uwagoya Valente*

67

Redução de sódio em presunto cozido e sua aceitação sensorial e intenção de consumo

Márcia Edilamar Pulzatto

Rúbner Gonçalves Pereira

Caio Vinícius Pereira Marcelão

Mariana Yumi Saito

Engenharia de Computação

78

O Scilab como ferramenta de ensino para modelagem de sistemas dinâmicos de primeira e segunda ordem

Victor Inácio de Oliveira

Isabelle Puertas Ruiz

Rafael Kenji Yamasita

Engenharia de Controle e Automação

95

Mancais magnéticos: conceito e aplicação

Marco Antônio Fumagalli

Rogério Issamu Yamamoto

Editorial

A quarta edição da *FTT Journal of Engineering and Business* traz sete artigos de pesquisadores da FTT e de outras instituições, que têm em comum a busca pela inovação e a exploração de potencialidades para desenvolvimento de soluções tecnológicas capazes de aprimorar processos no âmbito empresarial e educacional. Todos os artigos derivam de pesquisas desenvolvidas recentemente que apresentam resultados consistentes e animadores para a continuidade de projetos nos próximos anos.

Na seção de Administração, os pesquisadores Marco Túlio Domingues Costa, Tarcísio Gonçalves de Brito e Emerson José de Paiva, aplicam a programação linear para a definição dos volumes de produção de um conjunto de produtos de modo que se tenha o menor custo operacional possível frente a restrições existentes. O estudo foi realizado em uma indústria de vulcanizados e demonstrou a viabilidade do uso da técnica da programação linear para balizar decisões de produção da empresa.

Inovação aberta e capacidades dinâmicas são conceitos que dão sustentação ao desenvolvimento de projetos de inovação em organizações. A literatura da área enfatiza a importância das capacidades dinâmicas para o desenvolvimento da inovação aberta. Em alguns estudos, a inovação aberta é considerada uma capacidade dinâmica. Por meio da análise de 19 artigos da área de gestão que relacionam os dois conceitos mencionados acima, Valéria Feitosa de Moura, Amanda Dias Alves, Giovanna Morais Guimarães Passarini, Larissa Juliana Guimarães da Silva e Marcos Paulo Amorim, dedicam-se a elaborar um mapa do conhecimento sobre esta temática com objetivo de constituir uma base para novas pesquisas.

Na seção de Engenharia de Alimentos, as pesquisadoras Schaiane Langer Junkes, Aline Resmini Melo, Carolina Resmini Melo Marques, Larissa Bento Bortolatto e Débora De Pellegrin Campos avaliam a capacidade de utilização do bagaço de malte como biossorbente na remoção do corante azul royal tiafix MER 100% de efluente de lavanderia têxtil. O estudo experimental, baseado em metodologia de planejamento fatorial, demonstrou que o uso do bagaço de malte para adsorção do corante atende aos padrões exigidos para considerá-lo eficiente na adsorção do corante.

A influência da cor do copo na percepção sensorial do café é o estudo apresentado pelos pesquisadores Raphael Augusto Ramos, Fabiane Matias dos Anjos Nascimento, Anna Paula Teske de Oliveira e Robson Uwagoya Valente. Por meio de análise sensorial, foi verificada a influência dos copos amarelo, azul, branco, marrom, transparente e vermelho nos atributos amargor, cor, doçura e sabor característico do café. Os resultados apontaram, entre outros aspectos, que o azul, quando comparado ao vermelho, aumentou a intensidade de cor e sabor da bebida, reduzindo a doçura. Além disso, copo branco acompanha o comportamento do azul, exceto para a percepção de doce.

A redução de sódio nos alimentos é um dos principais objetivos das indústrias do setor. Para contribuir com este propósito, Caio Vinícius Pereira Marcelão, Mariana Yumi Saito, Marcia Edilamar

Pulzatto e Rúbner Gonçalves Pereira desenvolveram uma formulação de presunto com teor reduzido de sódio em comparação com o produto líder de mercado. Análises físico-químicas e microbiológicas atestaram a conformidade do produto com a legislação brasileira vigente. Os testes sensoriais demonstraram aceitação do produto pelo público-alvo em relação aos atributos sabor, gosto salgado e odor.

O software Scilab e sua utilização como ferramenta de ensino de sistemas de controle dinâmico é o tema abordado por Victor Inacio de Oliveira, Isabelle Puertas Ruiz e Rafael Kenji Yamasita na seção de Engenharia de Computação. Segundo os autores do trabalho, a ferramenta XCOS permite a geração de diagramas de blocos com diferentes funções de transferência, possibilitando assim uma análise direta da resposta dos sistemas a diferentes funções de impulso, de forma visual e simples, o que demonstra a eficiência do software para uso didático.

Na seção Engenharia de Controle e Automação, Marco Antônio Fumagalli e Rogério Issamu Yamamoto investigam o uso de mancais magnéticos para aumentar o desempenho de máquinas e reduzir perdas enérgicas. Os autores explicam que os mancais magnéticos são capazes de sustentar o rotor através da aplicação de forças magnéticas, dessa forma evitando o contato entre rotor e mancal, consequentemente reduzindo as perdas devido ao atrito. Nesse sentido, o conhecimento da tecnologia dos mancais se faz necessária para que novas aplicações ou tecnologias de levitação magnética sejam criadas.

Esperamos que os artigos publicados nesta edição possam contribuir para o avanço do conhecimento e da inovação tecnológica.

Boa leitura a todos!



Emprego da Programação Linear na análise do Custo Variável: um estudo de caso em uma indústria de vulcanizados

Linear programming in the variable cost analysis: a study of case in a vulcanized rubber factory

Emerson José de Paiva (emersonpaiva@unifei.br)

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e professor da Unifei.

Tarcísio Gonçalves de Brito (tgbrito@unifei.br)

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e professor da Unifei.

Marco Túlio Domingues Costa (marcotuliodcosta@gmail.com)

Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei) e coordenador do curso de Engenharia de Produção da Faculdade Doctum João Monlevade.

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 11 fev. 2019. **Aceitação:** 2 ago. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 9-22

Resumo

Os desafios das fábricas na definição de custos que garantam sua competitividade no mercado dependem essencialmente das decisões tomadas pelos gestores em relação aos seus processos industriais. A pesquisa operacional é um mecanismo que busca, entre outras coisas, resolver este tipo de problema. Nesse sentido, este trabalho apresenta como objetivo justamente a utilização da Programação Linear para a definição dos volumes de produção de um conjunto de produtos de modo que se tenha o menor custo operacional frente às restrições existentes. Para auxiliar na compreensão do impacto dos custos na produção e na tomada de decisões, o estudo se apoia no método de Custeio Variável. A pesquisa envolveu um estudo de caso tendo sido desenvolvida em uma fábrica de artefatos vulcanizados localizada na cidade de João Monlevade - MG. Os resultados apontaram, em termos financeiros e considerando as restrições das condições de investigação propostas no estudo, dois produtos entre o mix de produção que possuem margens de lucro insatisfatórias, sendo que a manutenção de sua produção depende das demais condições do mercado. Como conclusão, o estudo mostrou a viabilidade da técnica de Programação Linear e trouxe uma orientação significativa para balizar as decisões de produção da empresa estudada, identificando as condições de margem de contribuição de modo a favorecer o ganho da empresa, além de propor parâmetros para a negociação com os clientes.

Palavras-chave: Programação Linear. Custeio Variável. Artefatos vulcanizados.

Abstract

Factories' challenges in defining costs that ensure their competitiveness in the market depend essentially on the decisions made by managers in relation to their manufacturing processes. Operational research is a mechanism that seeks, among other things, to solve this type of problem. In this sense, this paper aims precisely at the use of Linear Programming to define the production volumes of a set of products in order to have the lowest operating cost concerning to the existing restrictions. In order to help to understand the impact of cost on production and decision making, the study is based on the Variable Costing method. The research generated a study of case which was developed in a vulcanized artifacts factory located at the city of João Monlevade - MG. The results pointed out, in financial terms and ignoring specific market factors, the unfeasibility of maintaining two products among the production mix. To sum up, the study showed the viability of the linear programming technique and provided a significant orientation to guide the production decisions of the studied company, identifying the contribution margin conditions in order to favor the company's gain as well as providing parameters for negotiation with the customers.

Keywords: Linear Programming. Variable Costing. Vulcanized artifacts.

Introdução

A indústria passa, frequentemente, por desafios diversos que põem à prova sua capacidade de se manter competitiva perante seus concorrentes, os quais exigem que seus fornecedores sejam capazes de responder às demandas existentes e que mantenham com firmeza a capacidade de competir em pé de igualdade com as demais organizações que prestam serviços ou produzam bens similares. Tendo isso em foco, compreende-se que o planejamento dos custos produtivos extrapola sua importância no atendimento das instituições e de seus clientes, e que, além disso, serve como fator diferencial no mercado, fazendo com que as decisões ligadas a essa área transformem-se em questões estratégicas.

De fato, conforme destacado por Couto e Gomes (2014, p. 411), “a análise de indicadores empresariais financeiros e não financeiros permite um melhor entendimento do desempenho das empresas.” Contudo, como descreve Costa (2010), são justamente os indicadores financeiros que norteiam os demais.

Outro aspecto fundamental para as decisões empresariais são as análises dos custos de produção. Conforme destaca Dyhdalewicz (2015), para o sistema de informação de qualquer organização, a gestão dos custos e a contribuição para a demonstração dos resultados são tidos como requisitos fundamentais.

Desse modo, cabe às indústrias, frente à gama de itens produzidos por elas, identificar, avaliar e planejar adequadamente os custos envolvidos em seus processos de modo que o ganho dessas organizações seja potencializado quando da escolha dos volumes a serem produzidos em relação às demandas existentes no mercado.

Assim, o presente artigo tem como objetivo analisar os custos produtivos de uma fábrica de artefatos vulcanizados, levando em consideração uma análise de cunho gerencial, além de utilizar a Programação Linear como ferramenta para a otimização do processo, permitindo aos gestores dessa empresa tomar decisões mais apropriadas acerca da condução dos processos por ela desenvolvidos. Para tanto, um modelo matemático específico foi desenvolvido utilizando aspectos peculiares da organização em estudo. Espera-se que, dessa maneira, o estudo possa contribuir não apenas para a organização estudada, mas também servir de modelo para outros casos similares.

Revisão bibliográfica

A compreensão dos conceitos abordados neste estudo é de grande importância para que se possa entender os propósitos da pesquisa e, dessa forma, sejam alcançados os resultados desejados. Assim, o presente artigo discorre não apenas sobre os métodos da aplicação da pesquisa operacional, mais especificamente através da Programação Linear, mas também pela definição geral necessária para a compreensão dos métodos de análise dos custos, inclusive começando a partir deles.

Tipos de custeio

Para compreender o impacto do custo de produção e garantir que a definição dos volumes produzidos possam ser os mais apropriados ao atendimento das necessidades da empresa, é necessário conhecer adequadamente os modelos de avaliação, análise e prática dos custos de produção. Existem diversos métodos de custeio, entre os quais podem se destacar:

- a) O Custeio Variável: neste método, os custos operacionais são classificados de acordo com sua relação na atividade-fim da área operacional, sendo dividido em dois grupos: o primeiro, de custos variáveis, aqueles que se alteram de acordo com a variação das quantidades produzidas, e os custos fixos, que se mantêm independentemente do total de artigos produzidos. Neste caso, a lucratividade da empresa é avaliada considerando-se a margem de contribuição de cada produto (DYHDALEWICZ, 2015).
- b) O Custeio ABC (*Activity-Based Costing*): que é um método relevante para a tomada de decisões e que ficou muito conhecido pelas aplicações de estudiosos como Robert Kaplan e Robin Cooper. Este modelo trabalha na condição de “causa e efeito entre os custos e as necessidades de atividades, além de direcionar os custos dessas atividades aos objetos de custo” (ASKARANY *et al.*, 2010, *Apud* MEDEIROS *et al.*, 2017, p. 397).
- c) O Custeio por Absorção: esta metodologia preconiza que “os custos totais são atribuídos aos produtos e com estes permanecem em estoque até serem comercializados”; além disso, é o método adotado legalmente, em termos contábeis, no Brasil (MARETH *et al.*, 2016, p. 97).
- d) O Custeio TDABC (*Time-Driven Activity-Based Costing*): o princípio fundamental da análise deste método se refere especificamente ao tempo. Os custos produtivos são apontados de acordo com o tempo em que determinado produto é processado por cada recurso operacional disponível pelo qual tenha que ser implementado (MEDEIROS *et al.*, 2017).

Todos os métodos descritos possuem sua relevância e, independentemente da escolha entre eles, qualquer um deles vai interferir na lucratividade da empresa, bem como na forma de definir a alocação de recursos (sobretudo os escassos) para os produtos por ela fabricados. A percepção da

relevância de mais de um tipo de método é destacada também por Mareth *et al.* (2016), que apresentou em seus estudos os métodos de Custeio por Absorção e Custeio Variável, dando maior significação ao Custeio Variável por permitir ganhos de eficácia na tomada de decisões empresariais.

Considerando que o enfoque principal deste estudo também está voltado para o método do Custeio Variável, compreende-se a necessidade de apresentação mais detalhada de sua metodologia de cálculo. Collatto e Reginato (2005) descrevem a importância gerencial deste modelo uma vez que ele serve de base para avaliar quais produtos e segmentos da organização geram retorno positivo com lucros mais significativos, além de fazer um paralelo entre quantidades produzidas e vendidas em relação aos ganhos da empresa.

O método do Custeio Variável pode ser melhor compreendido pelo esquema apresentado na Figura 1.

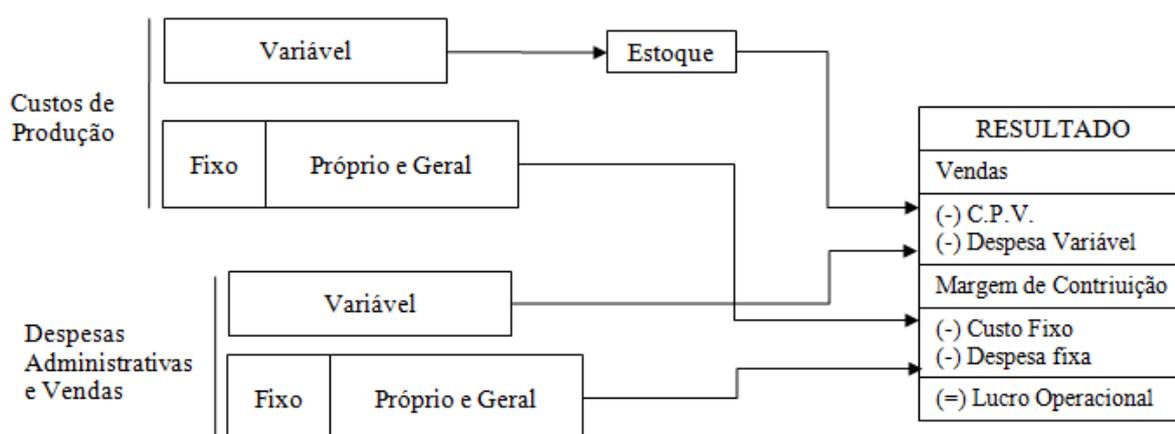


Figura 1 – Esquema do método do custeio variável
Fonte: Collatto e Reginato (2005)

O esquema apresentado na Figura 1 ajuda a entender como é formada a margem de contribuição pela metodologia adotada, sendo que a diferença entre os valores de vendas em relação aos custos e despesas variáveis ocorrem no processo. Além disso, conforme destacado pelas próprias autoras, os estoques absorvem os custos variáveis ao passo que outros custos e despesas são voltados diretamente aos resultados.

A pesquisa operacional para a decisão de produção

A pesquisa operacional é um ramo de estudo capaz de auxiliar na tomada de decisões por meio da modelagem de um sistema ou processo e em sua otimização por modelos matemáticos, envolvendo

as fases de compreensão do problema, criação de um modelo representativo do problema, cálculo e testes do modelo e os controles das soluções encontradas. (SILVA *et al.*, 2010)

A programação das atividades manufatureiras é importante para garantir um desempenho eficiente da produção e isso impacta a produtividade e a competitividade organizacional. Tal programação propicia a otimização de processos e pode ser aplicada a qualquer tipo de produção, de células operacionais automatizadas a sequências operacionais em processos de montagem, passando por transporte e pelo uso eficiente dos recursos de fabricação (CIFUENTES *et al.*, 2017).

A busca da garantia da eficiência não é diferente quando se pensa na alocação dos recursos produtivos e no impacto disso nos custos operacionais da fábrica. Assim, a adoção de uma das técnicas de pesquisa operacional pode auxiliar os gestores na definição dos volumes produzidos em função da escassez de determinados recursos. A opção pela adoção da Programação Linear como apoio à decisão envolvendo aspectos financeiros organizacionais já foi adotada em estudos anteriores, como em Delgado *et al.* (2016), Medeiros *et al.* (2017) e Rodrigues *et al.* (2017), e também no presente estudo. Por isso, uma abordagem explicativa acerca dessa ferramenta é apresentada na sequência.

A Programação Linear na avaliação de custos

A Programação Linear, dentre os diversos métodos existentes na pesquisa operacional, é amplamente empregada sobretudo por permitir a utilização de modelos de simples compreensão e que são facilmente incorporados em programas simples de computadores, facilitando sua aplicação (SILVA *et al.*, 2010). Existe um modelo geral que se aplica aos problemas de Programação Linear, o qual é apresentado por Lachtermacher (2009) da seguinte maneira:

$$\text{Otimizar } Z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \tag{1}$$

Sujeito à:

$$\left. \begin{array}{l} g_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ g_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \\ M \\ g_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \geq \\ = \\ \leq \end{array} \left\{ \begin{array}{l} b_1 \\ b_2 \\ M \\ b_n \end{array} \right. \tag{2}$$

onde:

- n é o número de variáveis
- m é o número de restrições
- i é o índice de determinada restrição

A equação apresentada em (1) representa a função-objetivo do problema de Programação Linear, ao passo que a equação apresentada em (2) representa o conjunto de restrições ao qual o problema está sujeito.

O autor acrescenta ainda que o “problema de Programação Linear está em sua forma-padrão se tivermos uma maximização da função-objetivo e se todas as restrições forem do tipo menor ou igual” (LACHTERMACHER 2009, p. 20), desde que os termos constantes não sejam negativos.

A equação inicial, dita função-objetivo, busca traduzir a melhor combinação entre as variáveis de decisão. Por outro lado, essa função está submetida a um conjunto de limitações reais que podem impossibilitar o uso pleno de todas as variáveis, tais como um recurso limitado, limitação de demandas, barreiras legais, etc. (MOREIRA, 2010)

Seguindo estes conceitos, Mareth *et al.* (2016) mostrou que a Programação Linear permite identificar diversas possibilidades de resultados diferentes de modo a auxiliar a tomada de decisões sobre o mix de produção, considerando, principalmente, os custos operacionais da gama de produtos fabricados atendendo a uma série de restrições conhecidas pela organização.

Metodologia

A proposta do presente projeto é a realização de uma pesquisa de natureza aplicada e de caráter exploratório, apresentando uma abordagem tanto qualitativa como quantitativa em que, em termos de qualidade, procura-se analisar detalhadamente tendências, hábitos e atitudes e, no que diz respeito à quantidade, é dado enfoque à aplicação de instrumentos estatísticos (MARCONI; LAKATOS, 2009; SERRA NEGRA; SERRA NEGRA, 2009; GODOY *et al.*, 2015). Além disso, o estudo envolve a realização de um estudo de caso.

Para a presente pesquisa, a parte qualitativa é baseada no conhecimento da organização e na identificação das diversas variáveis existentes nos processos por ela desenvolvidos. Já o estudo quantitativo envolve a criação de um modelo de Programação Linear capaz de auxiliar a compreensão dos custos e otimizar a definição da produção dos processos.

Para tanto, os dados foram coletados na própria organização, uma fábrica de artefatos vulcanizados destinados às indústrias de mineração e de siderurgia localizada no município mineiro de João Monlevade. Parte das informações foi obtida de forma documental fornecida pela empresa. Outra parte, como os tempos dos processos, fundamental para o pleno desenvolvimento do estudo, foi coletada a partir da observação *in loco* do funcionamento do processo em um dia de produção típico.

As análises foram realizadas aplicando-se os dados coletados na empresa à Programação Linear, utilizando, para tanto, a função Solver do MS Excel para a solução do problema estudado. Os resultados obtidos nos cálculos foram tabulados em outra planilha para que pudessem ser averiguados e validados.

Resultados

A partir da visita *in loco* foram obtidas as informações necessárias para a aplicação da Programação Linear tendo em vista a verificação da melhor contribuição de margem de lucro entre os produtos, ou seja, para auferir e comparar o custo de produção a partir do modelo do Custeio Variável.

A empresa estudada produz atualmente seis artigos, todos destinados à fabricação de cilindros aplicados em correias transportadoras de unidades de grandes mineradoras. Os produtos são descritos na Tabela 1, que a identifica como variáveis do modelo matemático. No entanto, a empresa estuda a possibilidade de fabricação de um novo produto que é manufaturado a partir dos mesmos processos usados atualmente, mas que é comercializado como um produto de maior valor agregado. Entretanto, ele não foi considerado nesta pesquisa por falta de parâmetros específicos para o estudo.

Tabela 1 – Produtos comercializados (variáveis de decisão)

| X_j | Código | Descrição do produto | Variáveis (conjunto de 100 peças) |
|-------|--------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| X_1 | AV001 | Anel de vedação de dois lábios . 20 | Quantidades fabricadas do AV001 |
| X_2 | AV002 | Anel de vedação 30x72 | Quantidades fabricadas do AV002 |
| X_3 | AV003 | Anel de vedação 19x40 | Quantidades fabricadas do AV003 |
| X_4 | AV004 | Anel de vedação 20x45 | Quantidades fabricadas do AV004 |
| X_5 | AV005 | Anel de vedação 25x50 | Quantidades fabricadas do AV005 |
| X_6 | AI001 | Anel de Impacto | Quantidades fabricadas do AI001 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Para a fabricação de cada um desses componentes, são necessários o emprego de um conjunto específico de matérias-primas, um fluxo gerado a partir de um conjunto de processos que são similares entre os produtos, além da mão de obra para atuação nos processos. Como é possível prever, todos estes recursos possuem algum limite máximo disponível para utilização no processo e, para se produzir determinado item, a fábrica se dedica integralmente a ele; quando é necessário fabricar outro produto, há uma adequação do processo para destinar a produção total para um segundo modelo, e assim por diante.

Compreende-se, portanto, que há restrições para cada matéria-prima, para cada processo e para a mão de obra empregada. A informação quanto às demandas destes recursos para cada item produzido é apresentada nas tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2 – Tempo dos processos para fabricação de 100 peças

| Processos / Produto | AV001 | AV002 | AV003 | AV004 | AV005 | AI001 |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Misturador | 1,43 | 4,81 | 1,14 | 1,39 | 2,27 | 71,84 |
| Extrusora | 1,14 | 3,85 | 0,91 | 1,11 | 1,82 | 107,76 |
| Guilhotina Pneumática | 6,86 | 23,08 | 5,46 | 6,67 | 10,91 | – |
| Prensa Hidráulica | 9,09 | 29,17 | 2,78 | 10 | 16,67 | 300 |
| Acabamento | 0,95 | 3,21 | 1,14 | 0,93 | 1,52 | – |
| Total (em min) | 19,47 | 64,10 | 11,41 | 20,09 | 33,18 | 479,60 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

A tabela 2 apresenta os tempos consumidos para a produção de 100 unidades de cada um dos produtos. Como se pode observar, o item AV003 necessita de um tempo relativamente baixo ao passo que o item AV001 exige um tempo significativamente maior que os demais produtos.

Uma vez que para produzir cada peça o operador deve acompanhar o processamento em cada uma das máquinas, o custo da mão de obra foi calculado e está representado na Tabela 3. Em cada máquina há a utilização de um único operador e, na maioria das situações, cada operador se desdobra na atuação de mais de um maquinário. É importante salientar que a operação do misturador exige mão de obra qualificada; sendo assim, a empresa optou por contratar um profissional especializado que fica à sua disposição por uma carga horária temporária de 20 horas semanais.

Tabela 3 – Custo de mão de obra por produto

| Mão de Obra | R\$/h | AV001 | AV002 | AV003 | AV004 | AV005 | AI001 |
|--------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Operador 1 | 11,25 | R\$ 0,48 | R\$ 1,62 | R\$ 0,38 | R\$ 0,47 | R\$ 0,77 | R\$ 33,67 |
| Operador 2 | 8,5 | R\$ 2,39 | R\$ 7,86 | R\$ 1,33 | R\$ 2,49 | R\$ 4,12 | R\$ 8,50 |
| Total | | R\$ 5,10 | R\$ 2,88 | R\$ 9,48 | R\$ 1,71 | R\$ 2,96 | R\$ 4,89 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

De maneira similar ao apresentado para o maquinário, o custo de mão de obra também é significativamente maior para o item AI001. Já a relação das quantidades necessárias de matérias-primas para a produção do conjunto estão representadas na Tabela 4, ao passo que o custo de cada um desses insumos para o produto pode ser observado na Tabela 5.

Tabela 4 – Quantidade de cada insumo por produto

| Matéria Prima | Unid. | AV001 | AV002 | AV003 | AV004 | AV005 | AI001 |
|----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Borracha N300 | kg | 0,6571 | 2,2115 | 0,5227 | 0,6389 | 1,0455 | – |
| Óxido de zinco | kg | 0,0326 | 0,1096 | 0,0259 | 0,0317 | 0,0518 | – |
| Estearina | kg | 0,0063 | 0,0212 | 0,0050 | 0,0061 | 0,0100 | – |
| Negro de fumo | kg | 0,3600 | 1,2115 | 0,2864 | 0,3500 | 0,5727 | – |
| Óleo DOP | l | 0,1309 | 0,4404 | 0,1041 | 0,1272 | 0,2082 | – |
| Banox H | kg | 0,0063 | 0,0212 | 0,0050 | 0,0061 | 0,0100 | – |
| Borracha natural | kg | – | – | – | – | – | 13,7931 |
| Borracha regenerada | kg | – | – | – | – | – | 27,5862 |
| Pó de pneu | kg | – | – | – | – | – | 0,6897 |
| Acelerador Santocure | kg | 0,0063 | 0,0212 | 0,0050 | 0,0061 | 0,0100 | – |
| Acelerador TMTD | kg | 0,0074 | 0,0250 | 0,0059 | 0,0072 | 0,0118 | – |
| Enxofre | kg | 0,0034 | 0,0115 | 0,0027 | 0,0033 | 0,0055 | 0,689655 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

O limite total de cada matéria-prima se dá pelo lote mínimo de aquisição, que varia de produto para produto, sendo 100kg para a borracha N300, 50 kg para a estearina, 400 kg para a borracha regenerada e para o pó de pneu e 25 kg para os demais insumos.

Tabela 5 – Custo com insumos para cada produto

| Matéria Prima | AV001 | AV002 | AV003 | AV004 | AV005 | AI001 |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Borracha N300 | R\$ 10,45 | R\$ 35,16 | R\$ 8,31 | R\$ 10,16 | R\$ 16,62 | – |
| Óxido de zinco | R\$ 0,42 | R\$ 1,43 | R\$ 0,34 | R\$ 0,41 | R\$ 0,67 | – |
| Estearina | R\$ 0,06 | R\$ 0,21 | R\$ 0,05 | R\$ 0,06 | R\$ 0,10 | – |
| Negro de fumo | R\$ 1,98 | R\$ 6,66 | R\$ 1,58 | R\$ 1,93 | R\$ 3,15 | – |
| Óleo DOP | R\$ 2,36 | R\$ 7,93 | R\$ 1,87 | R\$ 2,29 | R\$ 3,75 | – |
| Banox H | R\$ 0,06 | R\$ 0,21 | R\$ 0,05 | R\$ 0,06 | R\$ 0,10 | – |
| Borracha natural | – | – | – | – | – | R\$ 124,14 |
| Bor. regenerada | – | – | – | – | – | R\$ 193,10 |
| Pó de pneu | – | – | – | – | – | R\$ 40,34 |
| Acel. Santocure | R\$ 0,11 | R\$ 0,38 | R\$ 0,09 | R\$ 0,11 | R\$ 0,18 | – |
| Acelerador TMTD | R\$ 0,23 | R\$ 0,78 | R\$ 0,18 | R\$ 0,23 | R\$ 0,37 | – |
| Enxofre | R\$ 0,03 | R\$ 0,09 | R\$ 0,02 | R\$ 0,03 | R\$ 0,04 | R\$ 5,52 |
| Total | R\$ 15,71 | R\$ 52,86 | R\$ 12,49 | R\$ 15,27 | R\$ 24,99 | R\$ 363,10 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Baseado no conjunto de tabelas dos recursos empregados para a produção e considerando-se o preço de venda de cada um dos produtos, foi elaborada uma nova tabela que apresenta a margem de contribuição de cada item para a gestão da empresa. As informações são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Demonstrativo de resultado simplificado

| DR Simplificado | AV001 | AV002 | AV003 | AV004 | AV005 | AI001 |
|-------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Receita (Preço x 100 unid.) | R\$ 85,00 | R\$ 180,00 | R\$ 120,00 | R\$ 75,00 | R\$ 45,00 | R\$ 620,00 |
| Custo máquina/processo | R\$ 1,72 | R\$ 5,67 | R\$ 1,01 | R\$ 1,78 | R\$ 2,93 | R\$ 42,39 |
| Custo da mão de obra | R\$ 2,88 | R\$ 9,48 | R\$ 1,71 | R\$ 2,96 | R\$ 4,89 | R\$ 42,17 |
| Custo da matéria-prima | R\$ 15,71 | R\$ 52,86 | R\$ 12,49 | R\$ 15,27 | R\$ 24,99 | R\$ 363,10 |
| Margem de contribuição | R\$ 64,70 | R\$ 112,00 | R\$ 104,79 | R\$ 54,99 | R\$ 112,19 | R\$ 172,33 |

Fonte: Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Tomando por base o demonstrativo da Tabela 6, pode se estabelecer a função-objetivo do problema:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^6 MC_i \cdot x_i \quad (3)$$

Onde MC_i é a margem de contribuição do conjunto de cem unidades de cada produto.

De maneira análoga, a tabulação dos dados de processos, mão de obra e matéria-prima foi a base para o levantamento das restrições, que são apresentadas na sequência.

$$1,429X_1 + 4,808X_2 + 1,136X_3 + 1,389X_4 + 2,273X_5 + 71,839X_6 \leq 10560 \quad (4)$$

$$1,143X_1 + 3,846X_2 + 0,909X_3 + 1,111X_4 + 1,818X_5 + 107,759X_6 \leq 10560 \quad (5)$$

$$6,857X_1 + 23,077X_2 + 5,455X_3 + 6,667X_4 + 10,909X_5 \leq 5280 \quad (6)$$

$$9,091X_1 + 29,167X_2 + 2,778X_3 + 10X_4 + 16,667X_5 + 300X_6 \leq 10560 \quad (7)$$

$$0,952X_1 + 3,205X_2 + 1,136X_3 + 0,9259X_4 + 1,515X_5 \leq 5280 \quad (8)$$

$$2,572X_1 + 8,654X_2 + 2,045X_3 + 2,5X_4 + 4,091X_5 + 179,598X_6 \leq 4620 \quad (9)$$

$$32,615X_1 + 68,911X_2 + 33,233X_3 + 33,334X_4 + 44,243X_5 + 60X_6 \leq 9240 \quad (10)$$

$$0,6571X_1 + 2,2115X_2 + 0,5227X_3 + 0,6389X_4 + 1,0455X_5 \leq 200 \quad (11)$$

$$0,0326X_1 + 0,1096X_2 + 0,0259X_3 + 0,0317X_4 + 0,0518X_5 \leq 250 \quad (12)$$

$$0,0063X_1 + 0,0212X_2 + 0,2864X_3 + 0,35X_4 + 0,5727X_5 \leq 250 \quad (13)$$

$$0,1309X_1 + 0,4404X_2 + 0,1041X_3 + 0,1272X_4 + 0,2082X_5 \leq 500 \quad (14)$$

$$0,0063X_1 + 0,0212X_2 + 0,2864X_3 + 0,35X_4 + 0,5727X_5 \leq 2000 \quad (15)$$

$$13,7931X_6 \leq 1000 \quad (16)$$

$$27,5862X_6 \leq 4000 \quad (17)$$

$$0,6896X_6 \leq 4000 \quad (18)$$

$$0,0063X_1 + 0,0212X_2 + 0,005X_3 + 0,0061X_4 + 0,01X_5 \leq 250 \quad (19)$$

$$0,0074X_1 + 0,025X_2 + 0,0059X_3 + 0,0072X_4 + 0,0118X_5 \leq 250 \quad (20)$$

$$0,0034X_1 + 0,0115X_2 + 0,0027X_3 + 0,0033X_4 + 0,056X_5 + 0,6897X_6 \leq 250 \quad (21)$$

$$X_1 \leq 150 \quad (22)$$

$$X_2 \leq 10 \quad (23)$$

$$X_3 \leq 150 \quad (24)$$

$$X_4 \leq 150 \quad (25)$$

$$X_5 \leq 50 \quad (26)$$

$$X_6 \leq 10 \quad (27)$$

$$X_1; X_2; X_3; X_4; X_5; X_6 \geq 0 \quad (28)$$

As equações acima representadas apresentam uma restrição para cada situação de processo, mão de obra, insumo e demanda relacionadas aos itens produzidos na indústria de artefatos vulcanizados, sendo a equação (4) referente à restrição do misturador, a (5) referente à extrusora, a (6) à guilhotina pneumática, a (7) à prensa hidráulica, a (8) ao acabamento, a (9) à mão de obra do operador 1 e a (10) à mão de obra do segundo operador. Em relação aos insumos, a equação (11) apresenta as restrições da borracha N300, (12) do óxido de zinco, (13) da estearina, (14) do negro de fumo, (15) do óleo DOP, (16) da borracha natural, (17) da borracha regenerada, (18) do pó de pneu, (19) do acelerador Santocure, (20) do acelerador TMTD e (21) do enxofre. As equações de (22) a (27) indicam as demandas máximas de cada um dos produtos, respectivamente, ao passo que a equação apresentada em (28) é um requisito de não negatividade.

O Simplex é um método de cálculo para a Programação Linear amplamente difundido e muito utilizado na solução de problemas reais (CONCEIÇÃO, 2016). A função-objetivo e as restrições foram trabalhadas nos softwares MS Excel, a partir do Princípio do Simplex. A resposta obtida é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Resultado otimizado para maximização da margem de contribuição

| Função | Coeficientes de variáveis | | | | | |
|-------------------|---------------------------|------------|------------|-----------|------------|------------------|
| Objetivo | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| | R\$ 64,70 | R\$ 112,00 | R\$ 104,79 | R\$ 54,99 | R\$ 112,19 | R\$ 172,33 |
| Valor de variável | 105 | 0 | 150 | 0 | 5 | 10 |
| Z = | R\$ | | | | | 24.795,59 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

As tabelas de respostas obtidas no software MS Excel são apresentadas na Figura 2 na sequência:

| Microsoft Excel 12.0 Relatório de resposta | | | |
|---|----------------------|----------------|---------------|
| Planilha: [PO - Artefatos Vulcanizados - 2.xlsx]Plan2 | | | |
| Relatório criado: 16/06/2018 18:53:51 | | | |
| Célula de destino (Máx) | | | |
| Célula | Nome | Valor original | Valor final |
| \$C\$6 | Z = X1 | R\$ 24.795,59 | R\$ 24.795,59 |
| Células ajustáveis | | | |
| Célula | Nome | Valor original | Valor final |
| \$C\$5 | Valor de variável X1 | 105 | 105 |
| \$D\$5 | Valor de variável X2 | 0 | 0 |
| \$E\$5 | Valor de variável X3 | 150 | 150 |
| \$F\$5 | Valor de variável X4 | 0 | 0 |
| \$G\$5 | Valor de variável X5 | 5 | 5 |
| \$H\$5 | Valor de variável X6 | 10 | 10 |

Figura 2 – Resultados obtidos pelo Solver do software MS Excel
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Conforme relatório do Solver, do Software MS Excel, é possível perceber que tanto o produto AV002 como o AV004, representados pelas variáveis X2 e X3, respectivamente, não apresentaram valor para a realização da produção de modo a aumentar a margem de lucro da organização. Por outro lado, pode-se perceber que a produção dos itens AV003 e AI001 (aqui representadas pelas variáveis X3 e X6) foram apontadas por serem produzidas no limite máximo demandado no mercado de atuação da empresa estudada. O limite de demanda não foi calculado para este trabalho, adotando-se como parâmetros os valores descritos pelo gerente da organização.

A restrição que gerou limitação no desenvolvimento do problema é a mão de obra do segundo operador que, embora seja mais barata que a do primeiro operador, possui limite de tempo para a fabricação de todos os produtos.

Considerações finais

Conforme abordado ao longo do presente trabalho, há uma grande importância na análise do impacto dos custos de fabricação de cada produto na formação de uma margem de contribuição que seja significativa para a manutenção dos negócios de uma empresa, neste caso, de uma fábrica de artefatos vulcanizados.

Nesse sentido, a aplicação da Programação Linear completa mostrou-se útil para que fosse elaborada uma melhor combinação entre os produtos formadores do mix comercializado pela empresa, inclusive para determinar que dois dos itens atualmente produzidos pela organização não contribuem suficientemente para a formação de uma margem significativa de contribuição e que poderiam, em teoria, ser desativados.

No caso da empresa em estudo, foi posteriormente informado que alguns produtos são comercializados por exigência dos clientes que compram da empresa justamente por ela fabricar alguns produtos complementares. Assim, a resposta obtida deve servir para, pelo menos, balizar negociações com os clientes e orientar os gestores da organização sobre quais produtos devem ser alvo de maiores prospecções, uma vez que seu incremento só não pode ser maior pela limitação de demanda atualmente existente.

Cabe sugerir ainda que novos estudos sejam realizados a partir da coleta de informações detalhadas de cada processo e de análises que possibilitem a melhoria do processo produtivo (como, por exemplo, do acabamento das peças) de modo que os produtos que se apresentaram inviáveis ou com pouca importância na margem de contribuição possam ser aprimorados, ganhando importância no tripé processo-comercialização-ganho.

Referências

- CIFUENTES, N; GATICA, G; LINFATI, R. *A linear programming model for the parallel nonrelated machines problem, in the drying area of a chilean sawmill*. In: Revista Facultad de Ingeniería (Rev. Fac. Ing.) Vol. 26. Tunja-Boyacá (Colombia), 2017.
- COLLATTO, D.C.; REGINATO, L. *Método de Custeio Variável, Custeio Direto e Teoria das Restrições no contexto da Gestão Estratégica de Custos: um estudo aplicado ao Instituto de Idiomas Unilínguas*. In: IX Congresso Internacional de Custos. Florianópolis, 2005.
- CONCEIÇÃO, G. L. da. *Complicadex? Não! Simplex!* In: Revista Valore. Volta Redonda, V. 1, n. 1, 2016.
- COSTA, M. T. D. *Integração do planejamento estratégico com o balanced scorecard a partir de análise de ambiência: estudo de caso da empresa Laborar*. (Monografia). Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – UnilesteMG. Coronel Fabriciano, 2010.
- COUTO, A. B. G; GOMES, L. F. A. M. *Análise multicritério de indicadores empresariais por meio da DRSA – Dominance-based rough set approach*. In: Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento – SOBRAPO. v.6, n.3Rio de Janeiro, 2014.
- DELGADO, A. R. S; VENTURA, S. V; RODRIGUES, P. C. P. *Otimização da receita líquida com produção agrícola por área irrigada limitada*. In: Revista Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento – SOBRAPO. v. 8, n. 2. Rio de Janeiro, 2016.
- DYHDALEWICZ, Anna. *The implementation of variable costing in the management of profitability of sales in trade companies*. In: Financial Internet Quarterly - e-Finanse. vol.1, 2015.
- LACHTERMACHER, G. *Pesquisa Operacional na tomada de decisões: modelagem em Excel*. 4 ed. Rio de Janeiro: prentice hall brasil, 2009.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. *Fundamentos de metodologia científica*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- MARETH, T; PAIM, E. S. E; PIENIZ, L. P; ERTHAL, F. S. *Programação linear como ferramenta de apoio a gestão de custos: um estudo de caso em uma indústria de usinagem*. In: XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO. Bento Gonçalves, 2016.
- MEDEIROS, H. da Ss.; SANTANA, A. F. B.; GUIMARÃES, L. da S. *O uso dos métodos de custeio nas indústrias de manufatura enxuta: uma análise da literatura*. In: Gestão da Produção, São Carlos, v. 24, n. 2, 2017.
- MOREIRA, D. A. *Pesquisa Operacional: curso introdutório*. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- RODRIGUES, V. P; MORABITO, R; YAMASHITA, D. 1 SILVA, B. J. V; RIBAS, P. C. *Optimization approaches to a routing and scheduling problem of oil tankers*. In: Revista Gestão e Produção. São Carlos, v. 24, n. 4, 2017.
- SERRA NEGRA, C. A.; SERRA NEGRA, E. M. *Manual de trabalhos monográficos de graduação, especialização, mestrado e doutorado*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
- SILVA, E. M; SILVA; E. M; GONÇALVES, V; MUROLO, A. C. *Pesquisa Operacional para cursos de Administração e Engenharia*. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2010.



Inovação aberta e capacidades dinâmicas: revisão de escopo da literatura

*Open innovation and dynamic capabilities:
review of literature scope*

Valéria Feitosa de Moura (valeria.feitosa.vv@usp.br)
Doutoranda em Administração pela Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo (FEA-USP) e professora da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Amanda Dias Alves (amanda99.dias@gmail.com)
Graduanda em Administração pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Giovanna Morais Guimarães Passarini (gipassarini15@gmail.com)
Graduanda em Administração pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Larissa Juliana Guimarães da Silva (larissaguimaraes2999@gmail.com)
Graduanda em Administração pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Marcos Paulo de Amorim (marcos_puloa@hotmail.com)
Tecnólogo em Alimentos e Graduando em Administração pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 5 mai. 2019. **Aceitação:** 9 set 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 23-37

Resumo

A inovação é um dos principais impulsionadores da sobrevivência e crescimento das empresas. Visando dar fôlego para essa área estratégica, muitas organizações passaram a incorporar o conceito de inovação aberta. Diante da dinâmica do mercado, o desenvolvimento de capacidades dinâmicas também se torna fator relevante; por isso, a relação entre inovação aberta e capacidades dinâmicas é foco de interesse dos pesquisadores. No entanto, apesar de reconhecer a importância da relação entre esses dois conceitos, é possível observar duas visões distintas na literatura da área de Administração: uma que evidencia a importância das capacidades dinâmicas para o desenvolvimento da inovação aberta, e outra que posiciona a inovação aberta como uma capacidade dinâmica. Esses dois posicionamentos demonstram que o estudo de capacidades é relevante para a inovação aberta e que mais pesquisas são necessárias para consolidar e relação entre esses construtos. Assim, o objetivo deste artigo foi realizar uma revisão de escopo da literatura com análise de 19 artigos da área de gestão que relacionam inovação aberta e capacidades dinâmicas. As contribuições do trabalho resultaram na elaboração de um mapa do conhecimento existente sobre a temática e uma visão integradora de como a temática é abordada, oferecendo um ponto de partida para novas pesquisas.

Palavras-chave: Inovação aberta. Capacidades dinâmicas. Revisão de escopo da literatura.

Abstract

Innovation is one of the critical drivers of business survival and growth. To give vent to this strategic area, many organizations started to incorporate the concept of open innovation. Given the dynamics of the market, the development of dynamic capabilities also becomes a relevant factor, so the relationship between open innovation and dynamic capabilities is a focus of researchers. However, while recognizing the importance of the relationship between these two concepts, it is possible to observe two distinct views in the administration literature: one that highlights the importance of dynamic capabilities for the development of open innovation, and another that positions open innovation as a dynamic capability. These two positions demonstrate that the study of capabilities is relevant to open innovation and that more research is needed to consolidate and link these constructs. Thus, the objective of this paper was to carry out a literature review with an analysis of 19 papers from the management area that relate open innovation and Dynamic Capabilities. The contributions of this research are based on the elaboration of a map of the existing knowledge about the theme and, for presenting an integrative vision of how the theme is approached, offering a starting point for new researches.

Keywords: Open innovation. Dynamic capabilities. Literature review

Introdução

A inovação é um dos principais impulsionadores da sobrevivência e do crescimento das empresas. Visando dar fôlego para essa área estratégica e garantir competitividade, muitas organizações passaram a incorporar o conceito de inovação aberta em seus negócios. Concebida por estudiosos da área de tecnologia e gestão da inovação, a inovação aberta é também frequentemente citada em periódicos de estratégia, administração geral e comportamento organizacional e ganhou grande notoriedade entre acadêmicos e profissionais (GASSMANN; ENKEL; CHESBROUGH, 2010). Essa nova abordagem sobre o conceito de inovar consiste na utilização de recursos externos à organização, considerando os fluxos de entrada e saída de conhecimento de forma intencional para acelerar a inovação, desenvolvendo novas ideias, tecnologias, modelos de negócios e mercados (CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE; WEST, 2006; JACKSON; RICHTER, 2017).

A literatura indica a associação entre inovação aberta e capacidades dinâmicas, conceitos estes que envolvem a habilidade da organização de alcançar novas formas de vantagem competitiva por meio de sua "capacidade de integrar, construir e reconfigurar competências internas e externas para lidar com ambientes em rápida mudança" (TEECE; PISANO; SHUEN, 1997, p. 519). Pelo menos, dois posicionamentos distintos são identificados na literatura quanto à relação entre inovação aberta e capacidades dinâmicas. O primeiro estabelece que o processo de inovação aberta envolve a colaboração com agentes externos; assim, considerando que a orquestração de recursos dentro e fora da organização depende de capacidades dinâmicas, esse tema torna-se um elemento central no modelo de inovação aberta (GALDO, 2016). Outro ponto de vista considera a coordenação de redes de inovação uma capacidade dinâmica necessária para assegurar a ação gerencial sobre recursos não compartilhados e compartilhados em uma rede no modelo de inovação aberta (SILVA, 2016). Esses dois posicionamentos demonstram que o estudo de capacidades é relevante para a inovação aberta, mas que ainda são necessários mais estudos para que seja definido de que forma esses construtos se relacionam. Nesse sentido, a seguinte questão de pesquisa direcionou este estudo: como a literatura relaciona capacidades dinâmicas e inovação aberta? Assim sendo, o objetivo deste artigo foi realizar um levantamento dos estudos sobre gestão que relacionam esses dois constructos. Para alcançar o objetivo proposto, foi realizada uma revisão de escopo da literatura (PARÉ et al., 2015).

As contribuições do trabalho residem no fato de que é preciso consolidar um mapa sobre o conhecimento já existente sobre a temática e, também, apresentar uma visão integradora de como esse assunto está sendo abordado, oferecendo um ponto de partida para novas pesquisas.

Além dessa introdução, o artigo conceitua inovação aberta e capacidade dinâmica. Em seguida, apresentamos o percurso metodológico adotado e os principais resultados e discussões sobre o tema. Por fim, apresentamos as considerações finais.

Inovação aberta

Aparentemente, muitas empresas líderes do mercado estão fracassando em seus investimentos em inovação e rapidamente são superadas por seus concorrentes, mesmo com altos investimentos na pesquisa e desenvolvimento internos, elementos considerados ativos estratégicos e barreiras de entrada em muitas companhias. Esse fenômeno pode ser atribuído à mudança de paradigma quanto à forma de promover inovações: do foco em inovação fechada para inovação aberta (CHESBROUGH, 2004). O termo inovação aberta foi utilizado pela primeira vez por Chesbrough em 2003 em seu livro intitulado *open innovation: the new imperative for creating and profiting* (CHESBROUGH, 2003). A dinâmica do ambiente organizacional exige que as empresas interajam com parceiros e complementadores para alavancar o processo de inovação e compartilhar os riscos desse processo. Desse modo, apesar da área de Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) ainda ser um recurso estratégico para a organização, ela não é suficiente para manter a empresa competitiva nesse novo contexto, pois é necessária maior interação com um ecossistema de inovação (CHESBROUGH, 2003).

Nesse contexto, a área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) não tem mais, nos dias atuais, a força de um ativo estratégico como já teve, pois, a ideia de que a inovação bem-sucedida requer controle foi superada, havendo uma mudança fundamental na forma como as empresas geram novas ideias e as trazem ao mercado. Nesse novo modelo de inovação aberta, as empresas comercializam ideias externas e internas, implantando-as tanto fora quanto dentro da organização. Especificamente, elas podem comercializar ideias internas através de canais fora de seus negócios atuais, a fim de gerar valor para a organização. Alguns veículos para isso incluem startups, que podem ser financiadas e equipadas com pessoal da própria empresa (CHESBROUGH, 2011).

Vários fatores podem ser associados à mudança do paradigma de inovação fechada para o de inovação aberta, mas o principal deles está associado à mobilidade dos trabalhadores do conhecimento, tornando cada vez mais difícil para as empresas controlarem suas ideias e conhecimentos próprios. Outro fator importante foi a crescente disponibilidade de capital de risco privado, que ajudou a financiar novas empresas e seus esforços para comercializar ideias fora dos laboratórios de pesquisa corporativa (CHESBROUGH, 2011).

Conforme é possível observar na Figura 1, no processo de inovação aberta a fronteira entre uma empresa e seu ambiente circundante é mais porosa, permitindo que a inovação se mova facilmente entre os dois polos conceituais.

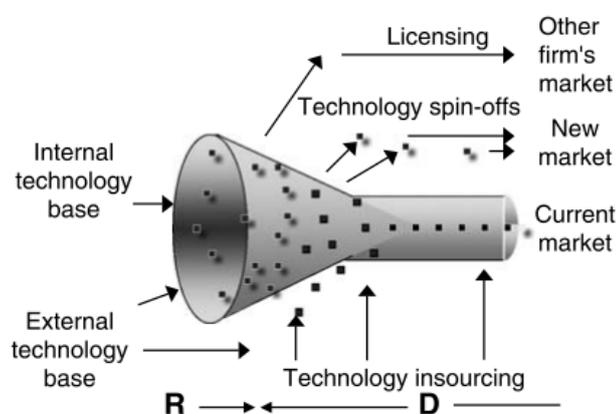


Figura 1: Modelo de inovação aberta.
Fonte: CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE; WEST (2006).

Existem dois tipos de inovação aberta: a inovação aberta Integrada e a inovação aberta de saída. A primeira pode ser definida como um processo externo e envolve a abertura para a inovação e a aquisição de conhecimento de fontes externas. Em contraste, a inovação aberta de saída é um processo de dentro para fora e inclui a abertura do processo de inovação para a comercialização de conhecimento tecnológico gerado pela própria organização (LICHTENTHALER, 2011).

De fato, muitas empresas vêm definindo novas estratégias para aproveitar os princípios da inovação aberta, explorando maneiras pelas quais as tecnologias externas podem preencher lacunas em seus negócios atuais e observando como suas tecnologias internas podem gerar as sementes de novos negócios fora do atual mercado. Ao fazer isso, muitas delas concentraram suas atividades em uma das três áreas fundamentais para seu pleno desenvolvimento: financiamento, geração ou comercialização de inovação (COSTA; PORTO, 2015).

Na área de financiamento da inovação, as organizações podem atuar como investidoras e conselheiras de modo a ajudar as *startups* a evitar as dificuldades comuns de crescimento que afligem muitas empresas novatas. Na área de geração de inovação, a organização utiliza a tecnologia que desenvolveu para outros mercados, mas, nesse caso, os conhecimentos desenvolvidos têm objetivos pré-definidos. Na comercialização de inovação, a organização foca no desenvolvimento de inovação para novos mercados (CHESBROUGH, 2011).

Capacidades dinâmicas

O conceito de capacidades dinâmicas (CDs) foi inicialmente proposto por Teece, Pisano e Shuen (1997). Para os autores, ele tem o seguinte significado:

a capacidade da empresa de integrar, construir e reconfigurar as competências internas e externas para lidar com ambientes em rápida mudança. As capacidades dinâmicas refletem, assim, a capacidade de uma organização de alcançar formas novas e inovadoras de vantagem competitiva, dadas as dependências do caminho e as posições de mercado (TEECE; PISANO; SHUEN, 1997, p. 519)

Após o conceito inicial, vários estudos estão sendo desenvolvidos visando aprimorar essa tese, porém, esses esforços geraram um grande número de definições. Desse modo, convém salientar que boa parte dessas definições é muito semelhante e se fundamenta na ideia de que as capacidades das empresas são reconfiguradas por meio de mecanismos automáticos já existentes (MEIRELLES; CAMARGO, 2014). Nesse sentido, convém considerar que as CDs não são uma capacidade específica, mas sim, um conjunto de processos que habilitam a organização a lidar com as mudanças no ambiente competitivo (TONDOLO; BITENCOURT, 2014).

Os trabalhos sobre capacidades dinâmicas desenvolvem-se em duas vertentes distintas: uma que considera que elas são relevantes somente para organizações que atuam em ambientes altamente dinâmicos; e a outra, que defende que elas são importantes também para as organizações que atuam em ambientes moderadamente dinâmicos (TAKAHASHI; BULGACOV; GIACOMINI, 2017).

A compreensão das CDs pode ser mais bem explorada por meio do entendimento dos seus antecedentes, processos e resultados. Quanto aos antecedentes, é possível identificar dois tipos na literatura: os externos à organização, que estão relacionados aos requisitos do ambiente em mudança e ao dinamismo do mercado; e os internos, que englobam fatores da gestão

empreendedora, grupos internos objetivando o desenvolvimento de uma capacidade, ou seja, referem-se à identificação da necessidade de mudança e aproveitamento de oportunidades (TONDOLO; BITENCOURT, 2014).

Os processos gerenciais, organizacionais e estratégicos, bem como os aspectos individuais são considerados processos de desenvolvimento das CDs e podem ser divididos em cinco categorias: (1) processos gerenciais e organizacionais, incluindo mecanismos de aprendizagem que se concentram em rotinas de mudança, recursos e capacidades; (2) processos que destacam posições das organizações, representando o compromisso no desenvolvimento de ativos, tangíveis e intangíveis; (3) processos com foco na dependência da trajetória; (4) aspectos gerenciais e individuais, como o capital humano, o capital social e a cognição gerencial; e (5), capacidades específicas, como a absorptiva e a inovativa, a adaptabilidade, o sensing e o seizing (TONDOLO; BITENCOURT, 2014)

Por fim, os resultados das CDs são apresentados em dois níveis: no primeiro, os resultados diretos podem ser verificados no desenvolvimento de um conjunto de recursos e capacidades organizacionais (competências) relativos a uma estratégia específica. No segundo, apresentam-se como resultados indiretos, que contemplam a adaptabilidade para lidar com as mudanças ambientais e, como consequência, o desempenho das organizações (TONDOLO; BITENCOURT, 2014). A visão de que as CDs impactam indiretamente o desempenho organizacional é corroborada pelos estudos de (TAKAHASHI; BULGACOV; GIACOMINI, 2017), que, ao avaliarem o ensino superior, identificaram que CDs impactam o desempenho escolar por meio da mediação das capacidades operacionais, de marketing e de tecnologias educacionais.

Quando estudadas com foco na inovação, pesquisadores salientam a importância das capacidades dinâmicas baseadas em conhecimento, que envolvem oito tipos de habilidades, sendo 4 com foco interno e 4 com foco externo, conforme ilustrado no Quadro 1.

| | Criação (exploração combinativa) | Integração (exploração absorptiva) | Reconfiguração (exploração combinativa) | Replicação (exploração absorptiva) |
|--------------|--|--|--|---|
| Foco interno | Exploração de novo conhecimento dentro da empresa por recombinação | Reconhecer fontes de conhecimento, absorver e integrar dentro da empresa | Combina e disponibiliza recursos existentes na empresa para produzir vantagem competitiva | Reconhecer, assimilar e aplicar recursos existentes em qualquer lugar dentro da empresa |
| Foco externo | Desenvolvimento (exploração combinativa) | Assimilação (exploração absorptiva) | Síntese (exploração combinativa) | Imitação (exploração absorptiva) |
| | Gerar conhecimento fora da empresa por recombinação com parceiro externo | Busca por informação fora da empresa para absorção e aplicação | Combina e redistribui conhecimento existente da empresa e de parceiros para criar vantagem competitiva | Reconhecer e duplicar conhecimento existente de outras empresas |

Quadro 1: Capacidades dinâmicas baseadas em conhecimento
Fonte: Adaptado de Panizzon et al. (2015)

As capacidades com foco interno envolvem: a criação, que consiste na exploração de novo conhecimento dentro da empresa por recombinação, ou seja, busca-se a combinação de recursos internos para criar novo conhecimento; a integração, que permite reconhecer fontes de conhecimento, absorvê-lo e integrá-lo dentro da empresa, fazendo com que ela potencialize e disponibilize conhecimento original; a reconfiguração, que combina e disponibiliza recursos existentes na empresa para produzir vantagem competitiva; e a replicação, que permite reconhecer, assimilar e aplicar recursos existentes em qualquer lugar dentro da empresa (PANIZZON et al, 2015).

As capacidades com foco externo envolvem o desenvolvimento, que consiste em gerar conhecimento fora da empresa por recombinação com parceiro externo; a assimilação, que visa a busca por informação fora da empresa para absorção e aplicação; a síntese, que combina e redistribui conhecimento existente da empresa e parceiros para criar vantagem competitiva; e a imitação, que consiste em reconhecer e duplicar conhecimento existente de outras empresas (PANIZZON et al, 2015).

Método

Para o desenvolvimento do trabalho foi realizada uma revisão de escopo. Essa tipologia de revisão é adequada quando se pretende sintetizar a literatura existente criando um ponto de partida para que outros pesquisadores interessados no tópico de pesquisa possam avançar no conhecimento sobre a temática (PARÉ et al., 2015).

Para o levantamento dos trabalhos relevantes a serem considerados no estudo, utilizou-se uma metodologia de busca sistemática, conforme proposto por Kitchenham (2004). Desse modo, inicialmente foi realizada uma revisão exploratória da literatura visando identificar a necessidade de uma revisão sobre capacidades dinâmicas e inovação aberta. Esta etapa também subsidiou a elaboração do protocolo de revisão da literatura no qual foi definida a seguinte linha de busca: ‘(“dynamic capabilit*”) and (“open innovation”)’. Foram utilizadas as bases de dados *Web of Science* e *Business Source Complete* (EBSCO) para identificar trabalhos que utilizem os termos-chave em seu tópico (título, palavras-chave e resumo). A base de dados EBSCO foi selecionada por ser uma importante plataforma para ciências sociais aplicadas e a opção pela *Web of Science* deve-se ao fato de ser uma base de dados abrangente, que contempla os mais proeminentes periódicos (THOMAS; AUTIO; GANN, 2014).

A inovação aberta é um conceito estudado em várias áreas do conhecimento, como engenharia, economia e gestão. Esse estudo possui como escopo identificar a associação entre inovação aberta e capacidades dinâmicas no contexto estratégico. Por isso, os resultados da busca da *Web of Science* foram restritos às categorias *Business* e *Management*. Em ambas as bases de dados, os resultados foram filtrados por artigos publicados em periódicos e conferências, para garantir um requisito mínimo de qualidade dos trabalhos selecionados. A busca resultou em 99 documentos. Optou-se por incluir os artigos de conferência para garantir que o resultado da revisão contemplasse os trabalhos recentes sobre o tema pesquisado.

Visando evitar que a revisão abrangesse trabalhos periféricamente relacionados ao tema, todos os documentos foram avaliados em duas etapas, com o suporte do software *State of the Art through Systematic Review* (StArt).

A primeira etapa consistiu na avaliação do título e de palavras-chave; o objetivo foi identificar se ambos os termos de busca (dynamic capabilit* e open innovation) aparecem simultaneamente nesses campos dos documentos. Os que contemplavam apenas um dos termos foram desconsiderados na revisão. Nessa avaliação, foram classificados 40 documentos. A segunda etapa consistiu na leitura dos resumos, visando garantir que os termos são efetivamente contemplados de forma integrada no desenvolvimento do trabalho. Logo após, foram baixados e lidos 19 trabalhos

Quanto às abordagens de pesquisa, é possível observar que o estudo sobre o tema se desenvolve equilibrando as abordagens qualitativa (47%; n=9) e quantitativa (42%; n=8). Identifica-se também a utilização de abordagens mistas em dois trabalhos (11%). Todos os que se basearam em abordagens quantitativas realizaram o levantamento de dados com a utilização de pesquisas e os dados foram analisados sobretudo com análise multivariada, dando-se destaque para a utilização da técnica de regressão linear. Os trabalhos qualitativos são preponderantemente revisões de literatura, havendo apenas 3 estudos de caso. As abordagens mistas trabalham com estudos de caso, pesquisas e entrevistas com especialistas.

Foi possível observar quatro posicionamentos distintos quanto à relação estabelecida entre inovação aberta e capacidades dinâmicas, de acordo com a Figura 4: algumas pesquisas posicionam a inovação aberta como uma capacidade dinâmica da organização; outro grupo de pesquisa busca identificar quais são as capacidades dinâmicas necessárias para que as organizações desenvolvam e obtenham sucesso no processo de inovação aberta; um terceiro grupo de pesquisa posiciona a inovação aberta como moderadora da relação entre capacidades dinâmicas e outro fator organizacional; por fim, outra linha de pesquisa se refere à análise de como as capacidades dinâmicas promovem moderação à relação entre inovação aberta e outro fator organizacional.

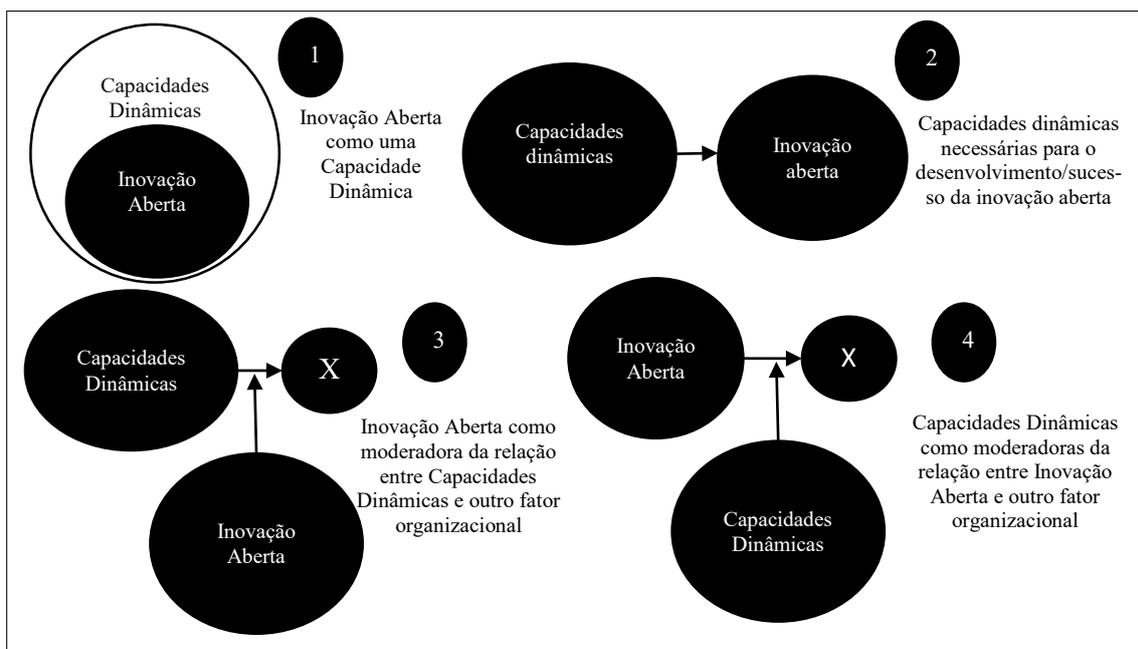


Figura 4: relação entre Inovação Aberta e Capacidades Dinâmicas apresentadas na literatura.
 Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

Conforme é possível observar no Quadro 2, a maioria das pesquisas (58%;n=11) busca identificar quais são as capacidades dinâmicas para o desenvolvimento e o sucesso da Inovação Aberta, enquanto as abordagens que relacionam as capacidades dinâmicas ou a inovação aberta como elementos moderadores são as menos utilizadas nas pesquisas; juntas correspondem a apenas 10% dos trabalhos (n=2).

Uma possível explicação para o fato que a inovação aberta seja posicionada como uma capacidade dinâmica por alguns autores e em outras pesquisas seja resultado dos diferentes níveis de capacidades da organização pode ser explicada pela constatação de que as capacidades

organizacionais geralmente são hierarquizadas em recursos e capacidades, capacidades comuns, capacidades-chave e capacidades dinâmicas

(MEIRELLES; CAMARGO, 2014). Assim, a inovação aberta pode ser entendida como uma capacidade dinâmica que depende de capacidades-chave para ser desenvolvida, impactando sobretudo os resultados do processo de inovação. Sugere-se, portanto, o esquema apresentado no Quadro 2 como modelo de integração das abordagens identificadas na literatura.

| ABORDAGEM | AUTORES | OBJETIVO DO TRABALHO |
|---|---|--|
| Abordagem 1: Inovação Aberta como uma Capacidade Dinâmica | (COSTA; PORTO, 2014) | Avaliar em que medida a governança tecnológica afeta a Capacidade Dinâmica de inovação e cooperação (cooperabilidade) nas multinacionais brasileiras. |
| | (COSTA; PORTO, 2015) | Analisar os fatores gerenciais determinantes da Capacidade Dinâmica de cooperação das multinacionais brasileiras. |
| | (WIKHAMN, 2013) | Identificar os desafios que uma empresa multinacional enfrenta ao implementar os concursos de inovação na prática vinculando a literatura de concursos de inovação com as teorias de capacidades dinâmicas e capacidade absorviva. |
| | (SCHUSTER; BREM, 2015) | Avaliar o papel da Inovação Aberta e das parcerias externas na promoção das capacidades das empresas. |
| | (SCHWEITZER; GASSMANN; GAUBINGER, 2011) | Demonstrar que a Inovação Aberta auxilia a organização a lidar com o ambiente turbulento. |
| | (NITZSCHE; WIRTZ; GÖTTEL, 2015) | Verificar, com base na visão de Capacidades Dinâmicas, que a abertura de uma empresa, sua capacidade de absorção e sua flexibilidade determinam o sucesso da inovação em ambientes abertos de inovação. |
| Abordagem 2: identificar/avaliar as Capacidades Dinâmicas necessárias para o desenvolvimento/sucesso da Inovação Aberta | (ALEXANDRA; MAXIMILIAN, 2017) | Definir quais habilidades as organizações devem considerar no processo de implementação da Inovação Aberta, através da estruturação de um "open innovation capability framework" (OICF). |
| | (GUIMALD; QUINTO; RIPPA, 2013) | Explorar práticas de Inovação Aberta, a fim de determinar quais que as pequenas e médias empresas devem desenvolver para aumentar sua capacidade de inovar. Em particular, analisando a relação entre o portfólio da empresa de Capacidades Dinâmicas e diferentes tipos de processos de Inovação Aberta. |
| | (COSTELLO, 2019) | Propor uma nova perspectiva teórica: visão da firma baseada em inovação, contextualizada não como uma substituta, mas como uma extensão da visão baseada em conhecimento, recursos e Capacidades Dinâmicas. |
| | (DRIES et al., 2014) | Testar as seguintes hipóteses: o grau de abertura no processo de inovação não difere entre os três diferentes estágios do processo de inovação; a Inovação Aberta, na fase de criação e desenvolvimento de ideias, é mais provável ocorrer na presença de Capacidades Dinâmicas desenvolvidas com parceiros a montante; na fase de comercialização, sua ocorrência é mais provável na presença de Capacidades Dinâmicas desenvolvidas com parceiros a jusante. |
| | (JANSSEN; CASTALDI; ALEXIEV, 2018) | Identificar quais Capacidades Dinâmicas são essenciais para empresas de serviços cujos negócios são intensivos em conhecimento e desenvolvimento para inovar. |
| | (KOLK; PÜÜMANN, 2008) | Validar proposições que indicam que as empresas precisam encontrar um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento de suas capacidades organizacionais e a abertura de suas estratégias de inovação. O codesenvolvimento das Capacidades Dinâmicas das empresas, juntamente com as estratégias de Inovação Aberta, permite que as empresas maximizem seu desempenho. |

| | | |
|---|--|---|
| | (LICHTENTHALER, 2008) | Avaliar a capacidade relativa, que se refere à Capacidade Dinâmica de uma empresa de reter o conhecimento desenvolvido externamente. |
| | (LICHTENTHALER; LICHTENTHALER, 2009) | Desenvolver um framework para avaliar a capacidade da empresa de gerenciar conhecimento em um processo de Inovação Aberta. |
| | (MIELCAREK, 2018) | Apresentar a configuração de Capacidades Dinâmicas no contexto da efetividade do processo de inovação aberto e fechado. |
| | (PERIS-ORTIZ; DEVECE-CARAÑANA; NAVARRO-GARCIA, 2018) | Investigar a relação entre Inovação Aberta e o sucesso da inovação radical e incremental em empresas focadas em conhecimento com base em seus recursos humanos e na capacidade organizacional de aprendizagem. |
| | (ROBERTSON; CASALI; JACOBSON, 2012) | Ampliar trabalhos anteriores sobre Inovação Aberta e Capacidade Absortiva enfatizando o conhecimento e o aprendizado distribuídos e a aplicação de conhecimento inovador. |
| Abordagem 3: Inovação Aberta como moderadora da relação entre Capacidades Dinâmicas e outro fator organizacional | (CHENG; CHEN, 2013) | Investigar os efeitos das competências de Inovação Dinâmica na "breakthrough innovation", à luz do papel moderador da inovação aberta. |
| Abordagem 4: Capacidades Dinâmicas como moderadoras da relação entre Inovação Aberta e outro fator organizacional | (ROLDÁN BRAVO; RUIZ MORENO; LLORENS-MONTES, 2016) | Explicar a influência que a assimetria de poder e a capacidade de absorção e transferência de conhecimento possuem na melhoria da cadeia de suprimentos de uma organização, do processo de orientação à Inovação Aberta com sua rede de fornecimento. |

Quadro 2: Mapeamento das abordagens identificadas na literatura, autores e objetivos de pesquisa.
 Fonte: elaborado pelos autores (2019)

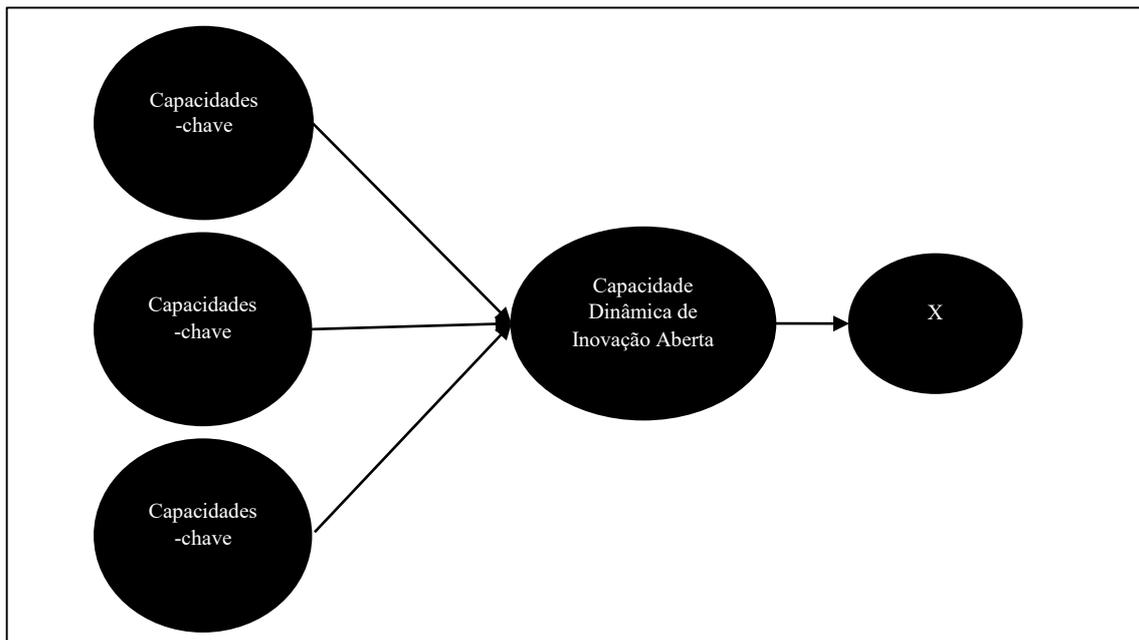


Figura 5: Integração das abordagens identificadas na literatura.
 Fonte: Elaborada pelos autores (2019)

As diversas abordagens utilizadas podem refletir o estado inicial da pesquisa que relaciona capacidades dinâmicas com inovação aberta. No entanto, para o desenvolvimento de uma teoria adequada que relacione esses fatores, é necessário que os construtos e a relação entre eles estejam bem definidos (WEBER, 2012); torna-se relevante, portanto, que pesquisas empíricas sejam realizadas visando validar o modelo proposto e aprofundar a teoria sobre inovação aberta e capacidades dinâmicas.

Considerações finais

A revisão de escopo da literatura realizada neste artigo permitiu identificar que os estudos sobre o tema são recentes, publicados principalmente em revistas, baseando-se em abordagens tanto quantitativas como qualitativas. Foram identificados quatro posicionamentos distintos quanto à relação estabelecida entre inovação aberta e capacidades dinâmicas nas pesquisas da área de gestão, sendo que a maioria dos trabalhos busca identificar quais são as capacidades dinâmicas para o desenvolvimento e o sucesso da inovação aberta nas organizações ou posicionam a inovação aberta como uma capacidade dinâmica.

A pesquisa que avalia a contribuição das capacidades dinâmicas para a inovação aberta investiga, por exemplo, quais habilidades as organizações devem considerar no processo de implementação da inovação aberta, a importância de capacidades dinâmicas desenvolvidas com parceiros para o processo de inovação aberta e quais capacidades dinâmicas são importantes para as empresas de serviços que trabalham com a inovação aberta; já as pesquisas que posicionam a inovação aberta como uma capacidade dinâmica indicam que a abertura e o nível de cooperação da empresa são capacidades importantes, sobretudo em multinacionais e organizações que atuam em ambientes turbulentos.

Neste trabalho, propôs-se uma visão integrada que posiciona a inovação aberta como uma capacidade dinâmica que depende de capacidades-chave para ser desenvolvida, impactando, sobretudo os resultados do processo de inovação. Considerando que a pesquisa relacionando os dois construtos é muito recente, há muitas possibilidades de estudo visando amadurecer o conhecimento sobre esse tema.

Referências

- ALEXANDRA, K.; MAXIMILIAN, R. Towards an Integrated Capability Framework. *Business Process Management Journal*, v. 23, n. 1, p. 87–107, 2017.
- CHENG, C. C. J.; CHEN, J. S. Breakthrough innovation: The roles of dynamic innovation capabilities and open innovation activities. *Journal of Business and Industrial Marketing*, Journal, v. 28, n. 5, p. 444–454, 2013.
- CHESBROUGH, H. Managing open innovation. *Research Technology Management*, v. 47, n. 1, p. 23–26, 2004.
- CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE, W.; WEST, J. ***Open Innovation: researching a new paradigm***. New York: Oxford University Press, 2006.
- CHESBROUGH, H. W. *Open innovation: the new imperative for creating and profiting*. Massachusetts: Harvard Business School Publishing, 2003.
- _____. *The era of open innovation*. MIT Sloan Management Review, n. September, p. 35–41, 2011.
- COSTA, Priscila Rezende da; PORTO, G. S. Capacidade dinâmica de cooperação nas multinacionais Brasileiras e seus fatores gerenciais determinantes. *Revista Eletrônica de Negócios Internacionais*, v. 10, n. 1, p. 57–69, 2015.
- COSTA, Priscila Rezende da; PORTO, G. S. Governança tecnológica e cooperabilidade nas multinacionais brasileiras. *Revista de Administração de Empresas*, Journal, v. 54, n. 2, p. 201–221, 2014.
- COSTELLO, G. J. Proposing an innovation-based view of the firm. *The Irish Journal of Management*, v. 37, n. 1, p. 65–79, 2019.
- DRIES, L. et al. Keeping your secrets public? Open versus closed innovation processes in the hungarian wine sector. *International Food and Agribusiness Management Review*, v. 17, n. 1, p. 147–162, 2014.
- GALDO, A. M. R. *Capacidades dinâmicas para a inovação aberta: análise com base no capital intelectual*. 2016. 328 f. 2016. Disponível em: <<http://btd.egc.ufsc.br/>>.
- GASSMANN, O.; ENKEL, E.; CHESBROUGH, H. The future of open innovation. *R and D Management*, v. 40, n. 3, p. 213–221, 2010.
- GUIMALD, M.; QUINTO, I.; RIPPA, P. Enabling Open Innovation in Small and Medium Enterprises: A *Dynamic capabilities approach*. *knowledge and process management*, v. 2006, n. 3, p. 291–298, 2013.
- JACKSON, P.; RICHTER, N. Situational logic: an analysis of open innovation *Using Corporate Accelerators*. *International Journal of Innovation Management*, v. 21, n. 07, p. 1750062, 2017.

JANSSEN, M. J.; CASTALDI, C.; ALEXIEV, A. S. In the vanguard of openness: which dynamic capabilities are essential for innovative KIBS firms to develop? *Industry and Innovation*, v. 25, n. 4, p. 432–457, 2018.

KITCHENHAM, B. *Procedures for performing systematic reviews*. UK, Keele University, v. 33, p. 28, 2004. Disponível em:
<[http://csnotes.upm.edu.my/kelasmaya/pgkm20910.nsf/0/715071a8011d4c2f482577a700386d3a/\\$FILE/10.1.1.122.3308\[1\].pdf%5Cnhttp://tests-zingarelli.googlecode.com/svn-history/r336/trunk/2-Disciplinas/MetodPesquisa/kitchenham_2004.pdf](http://csnotes.upm.edu.my/kelasmaya/pgkm20910.nsf/0/715071a8011d4c2f482577a700386d3a/$FILE/10.1.1.122.3308[1].pdf%5Cnhttp://tests-zingarelli.googlecode.com/svn-history/r336/trunk/2-Disciplinas/MetodPesquisa/kitchenham_2004.pdf)>.

_____. Systematic literature reviews in software engineering - A systematic literature review. *Information and Software Technology*, v. 51, n. 1, p. 7–15, 2009. Disponível em:
<<http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.009>>.

KOLK, A.; PÜÜMANN, K. Co-development of open innovation strategy and dynamic capabilities as a source of corporate growth. Working Papers in Economics, Conference, v. 25, n. 168–180, p. 73–83, 2008.

LICHTENTHALER, U. Open Innovation: Past Research, Current Debates, and Future Directions. *Academy of Management Perspectives*, v. 25, n. 1, p. 75–93, 2011.

_____. Relative capacity: Retaining knowledge outside a firm's boundaries. *Journal of Engineering and Technology Management - JET-M, Journal*, v. 25, n. 3, p. 200–212, 2008.

LICHTENTHALER, U.; LICHTENTHALER, E. A capability-based framework for open innovation: complementing absorptive capacity. *Journal of Management Studies*, v. 46, n. 8, p. 1315–1338, 2009.

MEIRELLES, D. S. e; CAMARGO, Á. A. B. Capacidades dinâmicas: o que são e como identificá-las? *Revista de Administração Contemporânea*, v. 18, n. 3, p. 41–64, 2014. Disponível em:
<<http://www.anpad.org.br/rachttp://dx.doi.org/10.1590/1982-7849rac20141289>>.

MIELCAREK, P. *Open innovation vs. dynamic capabilities – the Research Results of the Polish Industrial Enterprises*. 2018, [S.l: s.n.], 2018. p. 83–93.

NITZSCHE, P.; WIRTZ, B. W.; GÖTTEL, V. Innovation success in the context of inbound open innovation. *International Journal of Innovation Management, Journal*, v. 20, n. 02, p. 1650025, 2015.

PANIZZON, M. et al. Capacidades dinâmicas baseadas em conhecimento e tipos de inovação: proposição de um framework de análise. *Revista de Administração e Inovação*, v. 12, n. 1, p. 271–302, 2015.

PARÉ, G. et al. Synthesizing information systems knowledge: a typology of literature reviews. *Information and Management*, v. 52, n. 2, p. 183–199, 2015.

PERIS-ORTIZ, M.; DEVECE-CARAÑANA, C. A.; NAVARRO-GARCIA, A. Organizational learning capability and open innovation. *Management decision*, v. 56, n. 6, p. 121–1231, 2018.

ROBERTSON, P. L.; CASALI, G. L.; JACOBSON, D. Managing open incremental process innovation: Absorptive capacity and distributed learning. *Research Policy*, v. 41, n. 5, p. 822–832, 2012.

- ROLDÁN BRAVO, M. I.; RUIZ MORENO, A.; LLORENS-MONTES, F. J. Supply network-enabled innovations: an analysis based on dependence and complementarity of capabilities. *Supply Chain Management*, v. 21, n. 5, p. 642–660, 2016.
- SCHUSTER, G.; BREM, A. How to benefit from open innovation? An empirical investigation of open innovation, external partnerships and firm capabilities in the automotive industry. *International Journal of Technology Management, Journal*. v. 69, n. 1, p. 54, 2015.
- SCHWEITZER, F. M.; GASSMANN, O.; GAUBINGER, K. Open innovation and its effectiveness to embrace turbulent environments. *International Journal of Innovation Management, Journal*, v. 15, n. 06, p. 1191–1207, 2011.
- SILVA, S. B. da. A capacidade dinâmica de “orquestração de redes de inovação” no modelo de inovação aberta. *Revista Alcance*, v. 23, n. 1, p. 019, 2016.
- TAKAHASHI, A. R. W.; BULGACOV, S.; GIACOMINI, M. M. Capacidades dinâmicas, capacidades operacionais e desempenho. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, v. 19, n. 65, p. 375–393, 2017.
- TEECE, D. J.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, v. 18, n. March, p. 509–533, 1997.
- THOMAS, L. D. W.; AUTIO, E.; GANN, D. M. *Architectural leverage: putting platforms in context*. academy of management perspectives, v. 28, n. 2, p. 198–219, 2014.
- TONDOLO, V. A. G.; BITENCOURT, C. C. Compreendendo as capacidades dinâmicas a partir de seus antecedentes, processos e resultados. *Brazilian Business Review*, v. 11, n. 5, p. 124–147, 2014.
- WEBER, R. Evaluating and developing theories in the information systems Discipline. *Journal of the Association for Information Systems*, v. 13, n. 1, p. 1–30, 2012.
- WIKHAMN, B. R. Challenges of implementing innovation contests to facilitate radical innovation
Björn
Remneland Wikhamn. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, v. 13, n. 2, p. 129–145, 2013.



Aplicação do bagaço de malte na biossorção do corante azul de efluente de lavanderia têxtil

Application of malt bag in biosorption of blue dry from laundry effluent

Aline Resmini Melo (aline.melo@satc.edu.br)

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e coordenadora na Faculdade Satc.

Carolina Resmini Melo Marques (carolina.melo@satc.edu.br)

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e professora da Faculdade Satc.

Larissa Bento Bortolatto (larissa.bortolatto@satc.edu.br)

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e professora da Faculdade Satc.

Débora de Pellegrin Campos (debora.campos@satc.edu.br)

Mestranda em Engenharia Metalúrgica pela Faculdade Satc e professora da Faculdade Satc.

Schaiane Langer Junkes (chaianejunkes@hotmail.com)

Graduando em Engenharia Química pela Faculdade Satc.

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 09 mar. 2019. **Aceitação:** 19 ago. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 38-52

Resumo

O objetivo foi avaliar a capacidade de utilização do bagaço de malte como bioadsorvente na remoção do corante azul royal tiafix MER 100% de efluente de lavanderia têxtil. Foram avaliadas as influências do tempo de contato, temperatura, pH e massa de adsorvente. Foi elaborado o planejamento experimental baseado na metodologia de planejamento fatorial 2^4 com 3 repetições do ponto central (para analisar o desvio em triplicata), totalizando 19 experimentos. Durante a realização dos ensaios, não foi possível notar a melhoria na cor e turbidez da amostra, mas após os resultados das análises foi possível constatar a diminuição destes parâmetros. A isoterma foi considerada favorável, pois os valores de R_L variaram entre $0 < R_L < 1$. O melhor resultado de adsorção de cor foi 75,69 % no teste 7 com temperatura 50 °C, tempo de contato 30 minutos, pH 1 e 6 gramas de adsorvente. Foi obtido o resultado de adsorção de turbidez em 98,81 % em dois testes, no teste 7 e 15 com temperatura 50 °C, tempo de contato 120 minutos, pH 1 e 6 gramas de adsorvente. Os resultados obtidos demonstraram que o bagaço de malte pode ser utilizado em lavanderias têxteis na adsorção deste corante de forma eficiente.

Palavras-chave: Bagaço de malte. Bioadsorção. Efluente de lavanderia têxtil. Corante.

Abstract

The objective was to evaluate the ability of malt bagasse as a biosorbent in the removal of royal blue dye tiafix MER 100 % of textile laundry effluent. The influences of contact time, temperature, pH and adsorbent mass were evaluated. The experimental design was based on the factorial planning methodology 2^4 with 3 replicates of the central point (to analyze the deviation in triplicate), totaling 19 experiments. During the tests, it was not possible to notice the improvement in the color and turbidity of the sample, but after the results of the analyzes it was possible to verify the decrease of these parameters. The isotherm was considered favorable because R_L values ranged from $0 < R_L < 1$. The best color adsorption result was 75.69 % in test 7 with temperature 50 °C, contact time 30 minutes, pH 1 and 6 grams of adsorbent. The result of adsorption of turbidity was obtained in 98.81% in two tests, in test 7 and 15 with temperature 50 °C, time of contact 120 minutes, pH 1 and 6 grams of adsorbent. The results obtained showed that the malt bagasse can be used in textile laundries in the adsorption of this dye efficiently.

Keywords: Malt cake. Biosorption. Laundry effluent textile. Dye.

Introdução

O Brasil tem atualmente 610 cervejarias registradas no MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) até agosto de 2017. Santa Catarina está em terceiro lugar no ranking com 73 cervejarias, ficando atrás de São Paulo com 122 e Rio Grande do Sul com 119. O acentuado crescimento do número de cervejarias é decorrente da abertura de pequenas cervejarias categorizadas como microcervejarias ou artesanais, com média de 20.000 L de cerveja produzidas por mês (MARCUSO e MULLER, 2017; FERREIRA, 2016).

Casca de banana, quitosana, casca de laranja, plantas aquáticas, fibras de algodão, serragem de madeira, bagaço de cana, casca de arroz, sabugo de milho e coco são alguns dos biossorventes que estão sendo estudados para a remoção de corantes têxteis (CUNHA, 2014).

Uma nova opção de utilização é a aplicação do bagaço de malte como adsorvente de pigmentos ou corantes de efluentes têxteis, uma alternativa que vem sendo bastante estudada. A adsorção é uma técnica eficiente e de baixo custo que pode empregar vários adsorventes.

O bagaço de malte é o principal subproduto do processo cervejeiro, sendo que para cada 100 L de cerveja produzida são gerados 20 kg de bagaço. A crescente produção de cerveja no Brasil dá ideia da quantidade deste subproduto gerado, considerando cerca de 85% do total (SANTOS e RIBEIRO, 2005; REINOLD, 1997). O bagaço de malte possui várias utilizações e estudos científicos, citados por diversos autores, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1: Utilizações do bagaço de malte, segundo diversos autores.

| Utilização | Referência |
|---|-------------------------|
| Produção de biopigmentos produzidos por <i>Monascus Ruber</i> CCT 3802. | Oliveira et al. (2016) |
| Produção de goma xantana pela fermentação da bactéria <i>Xanthomonas Campestris</i> . | Menezes (2013) |
| Geração de Biogás | Salvadori et al. (2012) |
| Fonte de energia | Cordeiro (2011) |

Fonte: Elaboração das autoras (2019)

O corante têxtil de maior quantidade no efluente da empresa é o Azul Royal Tiafix MER 100 %. Segundo a FISPQ (Ficha de informações de segurança de produtos químicos) do Azul Royal Tiafix MER 100 %, o corante é de natureza química antraquinona/vinilsulfônico.

Na isoterma de Langmuir, a superfície do adsorvente consiste de sítios ativos livres onde ocorre a adsorção, sem que ocorram interações entre as moléculas adsorvidas (RAFAEL, 2015). A reação (1) demonstra a isoterma de Langmuir em que M representa a molécula e L o sítio ativo livre.



Petroni (1999) define que a capacidade de bioadsorção pode ser escrita pela Eq. (1), onde: “q” é a capacidade de bioadsorção do adsorbato pelo bioadsorvente (mg L^{-1}); “ C_i ” é a concentração inicial do corante (mg L^{-1}); “ C_f ” é a concentração final do corante (mg L^{-1}); “V”, o volume da solução (L); “m”, a massa de bagaço de malte (g).

$$q = \frac{(C_i - C_f) \cdot V}{m} \quad (1)$$

Rangabhashiyam e Balasubramanian (2019) afirmam que o modelo de isoterma de Langmuir pode ser elucidado em termos de fator de separação constante adimensional, também chamado de parâmetro de equilíbrio (R_L) representado pela Eq. (2), onde: “ C_o ” é a concentração inicial dos íons metálicos (mg L^{-1}); “ R_L ”, a natureza do processo de bioadsorção.

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \cdot C_o)} \quad (2)$$

Quando o valor de R_L estiver entre 0 e 1, indica que a bioadsorção é favorável. O valor de $R_L > 1$ representa a bioadsorção desfavorável, o valor de R_L igual a 1 representa a bioadsorção linear e especifica o processo de bioadsorção irreversível em caso de valor de R_L igual a 0.

Procedimentos experimentais

Neste capítulo, serão apresentados os procedimentos e metodologias empregadas para avaliar a eficiência do bagaço de malte como bioadsorvente de corante em efluente de lavanderia têxtil.

O planejamento experimental foi baseado na metodologia de planejamento fatorial 2^4 com 3 repetições do ponto central (para analisar o desvio e realizado em triplicata) totalizando 19 experimentos.

A concentração inicial da solução foi de 21000 mg L^{-1} e os parâmetros como pH, massa de adsorvente, temperatura e tempo foram variados de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Planejamento experimental de pontos centrais.

| Ensaio | pH | Massa de adsorvente (g) | Temperatura (°C) | Tempo (min) |
|--------|----|-------------------------|------------------|-------------|
| 1 | 1 | 2 | 30 | 30 |
| 2 | 5 | 2 | 30 | 30 |
| 3 | 1 | 6 | 30 | 30 |
| 4 | 5 | 6 | 30 | 30 |
| 5 | 1 | 2 | 50 | 30 |
| 6 | 5 | 2 | 50 | 30 |
| 7 | 1 | 6 | 50 | 30 |
| 8 | 5 | 6 | 50 | 30 |
| 9 | 1 | 2 | 30 | 120 |
| 10 | 5 | 2 | 30 | 120 |
| 11 | 1 | 6 | 30 | 120 |
| 12 | 5 | 6 | 30 | 120 |
| 13 | 1 | 2 | 50 | 120 |
| 14 | 5 | 2 | 50 | 120 |
| 15 | 1 | 6 | 50 | 120 |
| 16 | 5 | 6 | 50 | 120 |
| 17 C | 3 | 4 | 40 | 60 |
| 18 C | 3 | 4 | 40 | 60 |
| 19 C | 3 | 4 | 40 | 60 |

Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Materiais

O bagaço de malte foi cedido pela Cervejaria Santa Catarina LTDA, localizada na cidade de Forquilha/SC. Ele é gerado durante o preparo do mosto no processo de brasagem. Atualmente, o bagaço de malte é utilizado na alimentação de animais da região.

O efluente de lavanderia têxtil foi coletado na Empresa Lavest Lavanderia Industrial, localizada na cidade de Içara/SC, que cedeu a amostra para estudos, na saída do equipamento de tingimento.

Os ensaios de adsorção foram realizados no laboratório de Operações Unitárias e Fenômenos de Transferência II do Curso de Engenharia Química da Faculdade Satc.

Caracterizações do bagaço de malte

A caracterização do bagaço de malte compreendeu os procedimentos de determinação de umidade e porosidade. A análise morfológica do bagaço de malte foi realizada a partir da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

A umidade foi determinada em medidor de umidade DSH-50, por tempo automático e configurado em temperatura de 105 °C.

Para o cálculo da porosidade, foi realizado o teste em célula baseado na porosidade do leito, adicionando uma massa conhecida de bagaço de malte e completando os interstícios com água deionizada, onde a hidratação da biomassa durante o preenchimento não foi considerado. Em seguida, realizou-se a leitura do volume ocupado pela mistura e a porosidade foi calculada a partir da Eq. (3), onde: “ ε ” representa a Porosidade (%); “ V_{vazios} ” o volume de vazios da amostra, sendo este, a medida de água utilizada (mL); “ V_{total} ” é o volume total ocupado pelo bagaço de malte e seus espaços vazios, valor conhecido na célula de porosidade (mL).

$$\varepsilon = \frac{V_{\text{vazios}}}{V_{\text{total}}} \quad (3)$$

Foi realizada a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), pelo LAQUA, Laboratório de Análises Químicas e Ambientais da Satc. As imagens tridimensionais possibilitaram a avaliação da estrutura superficial da amostra.

Caracterizações do efluente de lavanderia têxtil

As análises iniciais do efluente de lavanderia têxtil foram realizadas no laboratório de Operações Unitárias e Fenômenos de Transferência II do Curso de Engenharia Química da Faculdade Satc. Foram analisados parâmetros que influenciam no aspecto visual da amostra (cor e turbidez) e pH.

Testes de adsorção

Para os testes de adsorção, foi utilizada a amostra seca ao sol por 24 horas. Desta forma, foram determinadas as influências das condições de adsorção, variando pH, massa de adsorvente, temperatura e tempo de contato. Os testes de adsorção foram feitos em batelada, utilizando erlenmeyers de 125 mL.

Todos os testes de adsorção foram analisados em banho termostático sob baixa rotação e utilizado 100 mL de efluente de lavanderia têxtil. Os testes alterando valores de pH, temperatura e tempo de

contato foram baseados nos estudos de Zanutto e Da Silva (2016) e o teste variando massa de adsorvente foi estudado por Gonçalves et al. (2016).

- pH: os valores avaliados foram 1; 3 e 5, visto que Zanutto e Da Silva (2016) comprovaram em estudos que a utilização do bagaço de malte como adsorvente em meios ácidos favorece a adsorção. O ajuste de pH foi feito no início da operação, utilizando HCl 1 N. O pH é o parâmetro mais importante a ser definido, por isso será o primeiro a ser verificado.
- Massa de adsorvente: foram testadas três opções, utilizando 100 mL de efluente e 2; 4 e 6 g de adsorvente. A quantidade de massa de adsorvente foi determinada referente ao tamanho do erlenmeyer e a quantidade de efluente utilizado para não ficar uma quantidade muito grande ou pequena para o teste.
- Temperatura: a variação ocorreu nas temperaturas de 30 °C, 40 °C e 50 °C. A alteração da temperatura foi feita configurando o equipamento de banho termostático pré-aquecido. Assim que cada temperatura do banho chegou ao valor desejado deu-se início ao tempo reacional de contato.
- Tempo de Contato: para estabelecer o tempo de contato ideal, trabalhou-se com as faixas de 30, 60 e 120 minutos. O tempo de contato foi escolhido conforme disponibilidade de tempo para realizar os testes no laboratório.

Após todos os testes de adsorção, foram realizadas análises de cor e turbidez com as amostras para comparar com a amostra inicial.

O bagaço de malte foi analisado via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). A amostra analisada foi seca em estufa a 105 °C pelo LAQUA, Laboratório de Análises Químicas e Ambientais da Satc.

Resultados e discussões

Após realização do procedimento experimental e análises em laboratório, foi possível aplicar e discutir os resultados encontrados, com auxílio do software Statistica 7.0.

Caracterizações dos bagaços de malte

As análises de umidade e porosidade foram realizadas no laboratório da Cervejaria Santa Catarina e os resultados são respectivamente: 82,9 % e 0,6. O bagaço de malte tem um valor de porosidade 0,6, sendo assim, possibilita a remoção de contaminantes do efluente na superfície dos grãos do bagaço a fim de deixá-lo mais puro.

A Figura 1 apresenta as micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura para ampliações de 50 e 200 vezes.

Na Figura 1 (A), é possível observar que o material apresenta uma estrutura rígida, com superfície pouco regular e na Figura 1 (B), uma superfície com certa rugosidade. Essas características da superfície do bagaço de malte facilitam o processo de adsorção, em que o bagaço de malte poderá adsorver o corante com maior facilidade tendo uma superfície rugosa.

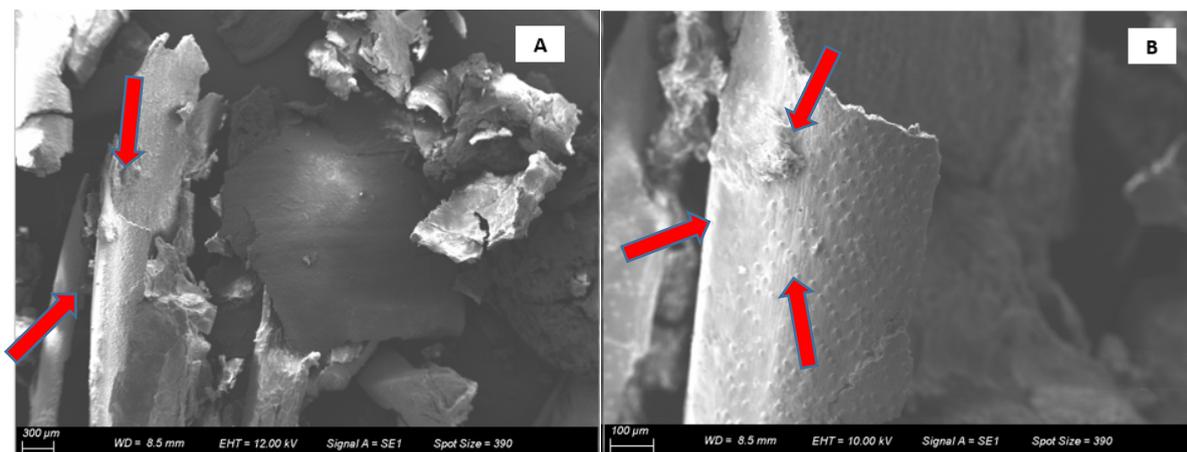


Figura 1: Micrografias do bagaço de malte obtidas por MEV, com ampliação de (A) 50 e (B) 200 vezes.
 Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Caracterizações do efluente de lavanderia têxtil

As análises de cor, turbidez e pH foram realizadas no laboratório de Operações Unitárias e Fenômenos de Transferência II do Curso de Engenharia Química da Faculdade Satc. Na Tabela 3 seguem as análises feitas com o efluente da Lavanderia Têxtil.

Pode-se notar a alta concentração de cor e turbidez presente na amostra, isto se deve ao fato de a mesma ser coletada logo na saída da máquina de tingimento, onde a concentração de corante ainda é muito alta. O pH foi analisado apenas para corrigir os parâmetros escolhidos para o teste, pois o seu valor está dentro do valor permitido pelo CONAMA n°430. Desta forma, é possível verificar a necessidade de tratamento do efluente.

Tabela 3: Análise do Efluente Bruto de Lavanderia Têxtil.

| Parâmetro | Resultado | Unidade | Valor máximo CONAMA n°430/2011 |
|-----------|------------|---------|--------------------------------|
| pH | 8,60/23 °C | - | 6,0 A 9,0 |
| Cor | 9050 | UH | N.E |
| Turbidez | 21000 | FAU | N.E |

Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Ensaio de adsorção

O objetivo do planejamento experimental foi avaliar a influência na adsorção de corante em efluente de lavanderia têxtil utilizando bagaço de malte. Sendo assim, foi realizado um planejamento fatorial 2⁴ com 3 repetições dos pontos centrais (para analisar o desvio), totalizando 19 experimentos. As variáveis utilizadas foram tempo, temperatura, massa de adsorvente e pH (Tabela 4).

Após análise em laboratório, chegou-se aos percentuais de cor e turbidez da concentração, descritos na Tabela, quando comparados aos valores iniciais.

Durante a realização dos ensaios não foi possível notar a melhoria na cor e turbidez da amostra, mas após as análises foi possível constatar a diminuição destes parâmetros.

Para melhorar a leitura das amostras no espectrofotômetro, foi preciso centrifugar as mesmas por 2 minutos a 4000 rpm e realizar uma diluição de 50 vezes para a leitura ficar dentro da curva do equipamento. O ensaio 7 obteve um melhor resultado tanto para adsorção de cor quanto para turbidez, já o ensaio de número 15 obteve um bom resultado referente a adsorção de cor. Mesmo a legislação não estabelecendo um padrão de lançamento para os dois parâmetros, não é conveniente para a empresa eliminar um efluente com este aspecto visual (alta cor e turbidez). Na Figura 2, é possível ver a diferença de resultados, em que (A) mostra a aparência do efluente bruto antes dos testes, (B) o ensaio número 7 e (C), o ensaio número 15.

Para obter a curva de calibração, as soluções foram lidas em espectrofotômetro. Os valores de absorbância das amostras foram utilizados para construir o gráfico da Figura 3 - absorbância versus concentração. Com a equação da reta obtida no gráfico é possível calcular a concentração de todas as amostras após ensaio de adsorção.

Tabela 4: Resultados do planejamento experimental.

| Ensaio | pH | Massa de adsorvente (g) | Temperatura (°C) | Tempo (min) | Capacidade de adsorção cor (%) | Capacidade de adsorção turbidez (%) |
|--------|----|-------------------------|------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 1 | 2 | 30 | 30 | 60,77% | 76,90% |
| 2 | 5 | 2 | 30 | 30 | 67,40% | 88,81% |
| 3 | 1 | 6 | 30 | 30 | 70,72% | 94,52% |
| 4 | 5 | 6 | 30 | 30 | 72,38% | 94,76% |
| 5 | 1 | 2 | 50 | 30 | 63,54% | 81,19% |
| 6 | 5 | 2 | 50 | 30 | 67,40% | 89,52% |
| 7 | 1 | 6 | 50 | 30 | 75,69% | 98,81% |
| 8 | 5 | 6 | 50 | 30 | 73,48% | 98,10% |
| 9 | 1 | 2 | 30 | 120 | 61,33% | 85,48% |
| 10 | 5 | 2 | 30 | 120 | 67,40% | 86,67% |
| 11 | 1 | 6 | 30 | 120 | 70,17% | 89,76% |
| 12 | 5 | 6 | 30 | 120 | 71,27% | 94,05% |
| 13 | 1 | 2 | 50 | 120 | 65,75% | 83,81% |
| 14 | 5 | 2 | 50 | 120 | 67,96% | 90,00% |
| 15 | 1 | 6 | 50 | 120 | 72,93% | 98,81% |
| 16 | 5 | 6 | 50 | 120 | 74,03% | 98,33% |
| 17 C | 3 | 4 | 40 | 60 | 75,14% | 97,14% |
| 18 C | 3 | 4 | 40 | 60 | 73,48% | 97,38% |
| 19 C | 3 | 4 | 40 | 60 | 75,14% | 97,38% |

Fonte: Elaboração das autoras (2019)

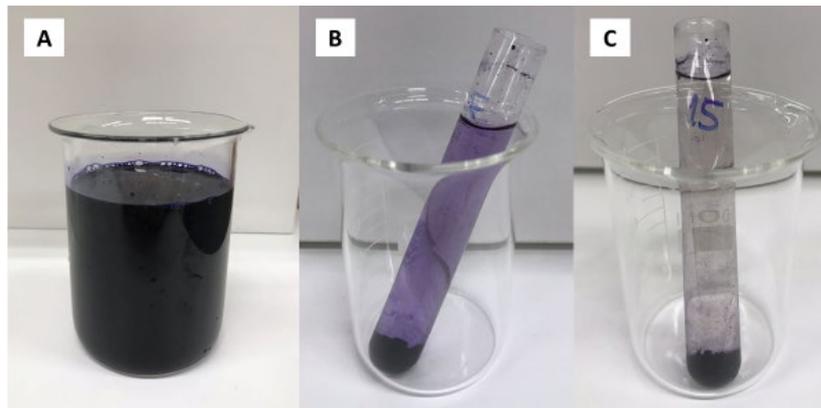


Figura 2: Efluente Bruto de Lavanderia Têxtil (A), ensaio 7 (B) e ensaio 15 (C).
 Fonte: Elaboração das autoras (2019)

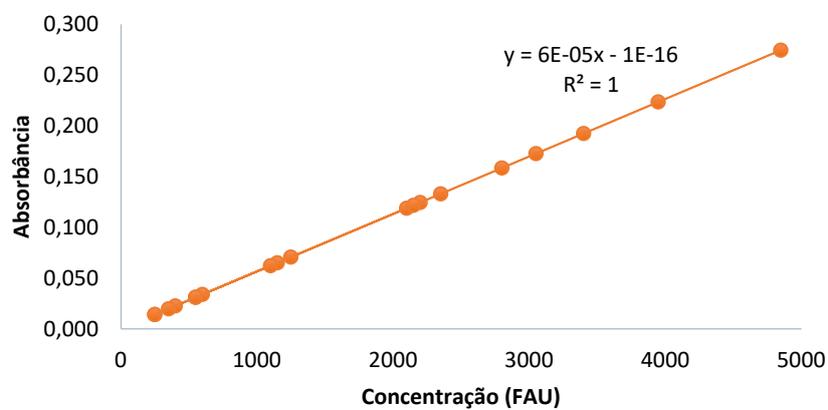


Figura 3: Curva de Calibração.
 Fonte: Elaboração das autoras (2019)

A Figura 4 apresenta o gráfico da Isoterma de Langmuir, onde é possível observar que em ambas as retas construídas para as massas de adsorvente de 2 e 6 gramas obtiveram um valor de coeficiente de determinação (R^2) satisfatórios muito próximos de 1.

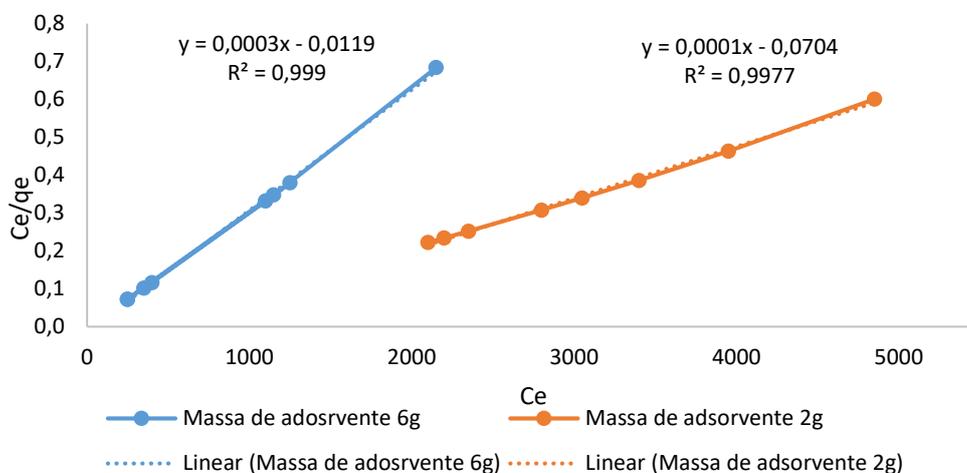


Figura 4: Isoterma de Langmuir.
 Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Com os coeficientes angular (inclinação) e linear (intercepto) do gráfico, foi possível também encontrar valores lineares como capacidade máxima de adsorção ($Q_{máx}$) e a constante de interação adsorvato/adsorvente (K_L), como mostra a Tabela 5. Para o cálculo do K_L , foi utilizada a Eq. (2).

Em ambos os casos, o processo de adsorção é considerado favorável e é possível verificar que apenas a massa de adsorvente influencia significativamente a capacidade de adsorção.

Os valores de $Q_{máx}$ para as mesmas condições experimentais como pH e temperatura não foram semelhantes para 2 g e 6 g devido à quantidade adsorvida em cada teste. A quantidade absorvida em mg não alterou muito entre os parâmetros e as massas descritas. Uma possibilidade é que o adsorvente já estivesse saturado quando utilizadas 6 g.

Tabela 5: Resultados encontrados através do gráfico da Isoterma de Langmuir.

| Amostra | $Q_{máx}$ (mg g ⁻¹) | K_L (L mg ⁻¹) | R ² |
|------------------|---------------------------------|-----------------------------|----------------|
| 2g de adsorvente | 10.000 | 0,03244 | 0,9977 |
| 6g de adsorvente | 3333.33 | 0,02521 | 0,999 |

Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Através da Tabela 6, a qual apresenta a análise de variância, ANOVA, é possível verificar que existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente. As variáveis analisadas foram pH, massa de adsorvente, temperatura e tempo. A massa de adsorvente foi o parâmetro que mais influenciou no ensaio considerando o mesmo grau de liberdade (df), em que obteve a maior soma quadrática (SS), média quadrática (MS) e fator (F) referente aos outros parâmetros. Em consequência, a massa de adsorvente obteve o menor *p-level* (p), uma vez que os parâmetros dependem de todos os fatores igualmente e um altera o outro de forma consecutiva.

Tabela 6: Valores de análise de variância (Anova) para turbidez.

| Fator | SS | df | MS | F | p |
|-------------------------|----------|----|----------|----------|----------|
| (1) pH | 0,005988 | 1 | 0,005988 | 1,94347 | 0,235744 |
| (2) Massa de Adsorvente | 0,044904 | 1 | 0,044904 | 14,57441 | 0,018816 |
| (3) Temperatura | 0,004768 | 1 | 0,004768 | 1,54742 | 0,281436 |
| (4) Tempo | 0,000115 | 1 | 0,000115 | 0,03726 | 0,856343 |
| Erro | 0,012324 | 4 | 0,003081 | | |
| Total SS | 0,077840 | 18 | | | |

Fonte: Elaboração das autoras (2019)

O diagrama de Pareto apresenta de forma rápida e clara os efeitos que são estatisticamente fundamentais. Os efeitos cujos retângulos estiverem à direita da linha divisória ($p = 0,05$) devem ser considerados o modelo matemático.

Neste estudo, o Diagrama de Pareto, na Figura 5, mostra que apenas a massa de adsorvente é significativa no processo, sendo que o valor do seu efeito é positivo, mostrando que quando aumentamos a massa de adsorvente, aumentamos também o processo de adsorção.

Os resultados apresentados anteriormente podem também ser visualizados através de uma superfície, chamada superfície de resposta, que no caso de um planejamento fatorial comum terá a forma de um plano, visto que o modelo matemático é quadrático. As curvas de nível, obtidas através da opção *Contour do Statistica*, fornece uma análise da tendência de resposta da variável dependente.

Cada linha tem um mesmo valor da variável de resposta. Quando essas linhas não têm curvatura, pode-se dizer que não há efeito de interação entre as variáveis colocadas nos eixos.

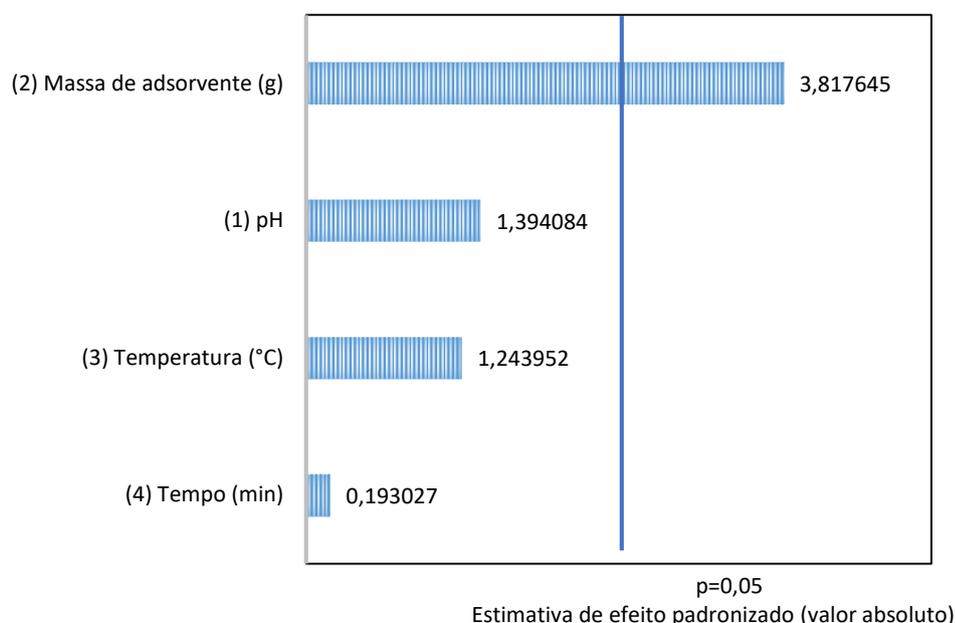


Figura 5: Diagrama de Pareto em função dos valores da estatística de teste t.
Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Como apenas a massa de adsorvente foi significativa no processo, foi plotado o gráfico de superfície de resposta entre a massa de adsorvente, turbidez e temperatura, para avaliar o comportamento da adsorção ao variar a quantidade de adsorvente. O gráfico de superfície de resposta está apresentado na Figura 6.

É possível observar que ao variar os fatores pH, temperatura e tempo existe uma pequena variação na adsorção, mas essa variação não foi significativa no processo ao nível de significância de 5 %. Já com relação a massa de adsorvente, é possível observar que a variação é elevada quando se vai do nível menos para o nível mais do planejamento, ratificando a sua significância no processo.

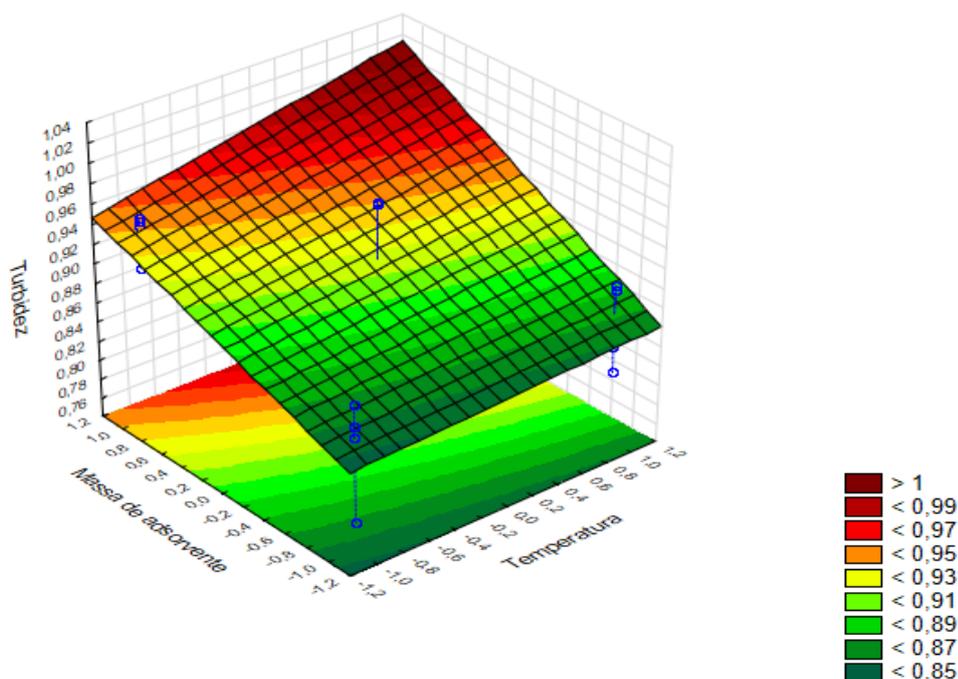


Figura 6: Gráfico de superfície de resposta, Turbidez versus Massa de Adsorvente versus Temperatura.
 Fonte: Elaboração das autoras (2019)

Considerações finais

Os resultados dos testes de adsorção de cor e turbidez se mostraram promissores. O melhor resultado de adsorção de cor foi 75,69 % no teste 7 com temperatura 50 °C, tempo de contato 30 minutos, pH 1 e 6 gramas de adsorvente. Foi obtido o resultado de adsorção de turbidez em 98,81% em dois testes, no teste 7 e no teste 15 com temperatura 50 °C, tempo de contato 120 minutos, pH 1 e 6 gramas de adsorvente. Conforme o Diagrama de Pareto apresentou, apenas a massa de adsorvente foi significativa no processo, sendo que quando aumenta a massa de adsorvente aumenta também o processo de adsorção.

Dessa forma, o bagaço de malte se mostrou eficiente na remoção de cor e turbidez de efluente de lavanderia têxtil, contribuindo no processo de tratamento e uma possibilidade de baixo custo no processo e contribuição com o meio ambiente.

A partir dos resultados apresentados e discutidos, pode-se propor que na continuação deste trabalho sejam realizados os seguintes estudos:

1. Avaliar outros parâmetros, como velocidade de agitação do banho de guarda e o comportamento cinético dos testes;
2. Analisar a área específica e porosidade do bagaço de malte por fisissorção N₂ e porosimetria de Hg;
3. Analisar o processo de dessorção a fim de verificar a condição de equilíbrio através da sua velocidade (taxa) em comparação a adsorção;
4. Analisar o bagaço de malte após a adsorção;
5. Estudar um local adequado para descartar o bagaço de malte após a adsorção;
6. Utilizar o bagaço de malte como adsorvente de outros corantes.

Referências

CONAMA. Resolução nº430, de 16 de Maio de 2011. Dispõe sobre As Condições e Padrões de Lançamentos de Efluentes. *Diário Oficial do [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 01 out. 2017.

CORDEIRO, L. G. *Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos*. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em: <<http://tede.biblioteca.ufpb.br/bitstream/tede/4012/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 01 out. 2017.

CUNHA, B. S. *Utilização de bioissorvente alternativos na remoção de corantes têxteis*. Universidade Tecnológica do Paraná, Medianeira, 63 f., 2014. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4397/1/MD_COEAM_2014_2_02.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

FERREIRA, A. *Cervejas artesanais no Brasil*. Instituto da Cerveja Brasil, 2016 Disponível em: <<https://www.institutodacerveja.com.br/blog/n113/novidades/cervejarias-artesanais-no-brasil>> Acesso em: 11 set. 2017.

GONÇALVES, C; ECHEVARRIA, E. R; ROSA, G. S; ROSA, G. S; OLIVEIRA, E. G. Biossorção de corante catiônico utilizando o bagaço de malte. In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2016, Fortaleza.

MARCUSSO, E. F; MULLER, C. V. *A cerveja no Brasil: O ministério da agricultura informando e esclarecendo*. MAPA (Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento, 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>> Acesso em: 07 set. 2017.

MENEZES, J. D. S. *Produção de goma xantana a partir da bioconversão de resíduo e malte de cervejaria por Xanthomonas Campestris pv, campestris IBSBF 1866*. 2013. 97f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2013.

OLIVEIRA, C. F. D.; VENDRUSCULO, F.; COSTA, J. P. V.; ARAÚJO, W. D. B. Bagaço de malte como substrato para produção de biopigmentos produzidos por *Monascus ruber* CCT 3802. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia-MS, v. 3, n. 3, p. 6–9, jul./set. 2016.

PETRONI, S. L. G. *Potencialidades de utilização de um bioadsorvedor natural em sistemas de tratamento de efluentes*. 1999. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Aplicações), IPEN/UPP, São Paulo, 1999.

RAFAEL, H. M. *Biossorção do corante têxtil preto reafix super 2R com bagaço de malte*. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso II em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 67 f., 2015.

RANGABHASHIYAM, S; BALASUBRAMANIAN, P. Characteristics, performances, equilibrium and kinetic modeling aspects of heavy metal removal using algae. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X18300690?via%3Dihub#!>> Acesso em: 23 ago. 2019.

REINOLD, M. *Manuel Prático de Cervejaria*. 1ª ed. São Paulo: Aden, 1997.

SALVADORI, S; KONRAD, O; CASARIL, C; LUMI, M; SCHMITZ, M. Geração de biogás a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes na fabricação de proteína isolada de soja. *Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal*, v. 9, n. 1, p. 128-141, jan./mar.2012. Disponível em: <file:///C:/Users/SB-FORQF06/Desktop/arquivo%20laboratorio/Downloads/EAPT-2011-730.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

SANTOS, M. S; RIBEIRO, F. M. *Cervejas e Refrigerantes*. 1ª ed. São Paulo: CETESB, 2005.

ZANUTTO, A, DA SILVA, B. C. *Avaliação de malte como biossorvente do corante amarelo reafix B2R*. 2016. 84f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2016.



Influência da cor do copo na percepção sensorial do café

The influence of the color of cups in the coffee sensory perception

Fabiane Matias dos Anjos Nascimento (fabianemanjos@gmail.com)
Mestre em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professora do Instituto de Desenvolvimento da Panificação e Confeitaria.

Raphael Augusto Ramos (raphael.ramos8@etec.sp.gov.br)
Especialista em Desenvolvimento de Produtos Alimentícios pelo Instituto Mauá de Tecnologia e professor no curso técnico de Alimentos da Escola Técnica Estadual de Sapopemba.

Anna Paula Teske Oliveira (annapaulateske1@gmail.com)
Graduanda em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Robson Uwagoya Valente (robsonuwagoya@outlook.com)
Técnico em Alimentos pela Escola Técnica Estadual de Sapopemba.

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 30 abr. 2019. **Aceitação:** 19 ago. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 53-66

Resumo

O café é a segunda bebida mais consumida no Brasil, estando presente em 98% das residências. Com a alta demanda atual, os consumidores estão em busca de novas experiências sensoriais. Conseqüentemente é necessário atuar no perfil de sabor, aroma e cor do café. Este trabalho teve como objetivo utilizar o teste quantitativo-afetivo JAR – *Just About Right* - para verificar a influência dos copos amarelo, azul, branco, marrom, transparente e vermelho nos atributos amargor, coloração, nível de doçura e sabor do café. A bebida servida foi preparada a partir de 1 L de água aquecida a 95 °C, 80 g de café em pó e 67 g de açúcar. O teste foi conduzido com 50 provadores não treinados, previamente selecionados com base na sua aceitação e no consumo pessoal de café. Amostras com 100 mL de café a 68°C foram servidas semanalmente, alternando somente as cores dos copos. O atributo amargo não foi influenciado pela coloração dos recipientes. O azul, quando comparado com o vermelho, aumentou a intensidade de cor e sabor da bebida, reduzindo sua doçura.

Palavras-chave: Análise sensorial. Coffea arabica. Recipiente. Cores.

Abstract

Coffee is the second most consumed drink in Brazil, being present in 98% of the Brazilian homes. Consumers are looking for new sensory experiences due to the coffee high demand. Therefore, it is necessary to improve the coffee taste, flavor and color. This project has the objective of using affective- quantitative test JAR – *Just About Right* - to verify the influence of yellow, blue, white, brown, transparent and red cup colors in the bitterness, color, sweetness and coffee flavor attributes. The beverage was made according to the following procedure: 1 L of heated water at 95 °C, 80 g of coffee and 67 g of sugar. The tests were applied to 50 untrained participants selected by their coffee acceptance and personal consumption. The coffee samples of 100 mL at 68°C were served weekly but in different cup colors. This study concluded that the bitterness attribute was not influenced by the colors of the cups. The blue cup, when compared to the red one, intensified the coffee color and flavor, reducing its sweetness.

Keywords: Sensory analysis. Coffea Arabica. Containers. Colors.

Introdução

Importante atividade do setor agropecuário, a cafeicultura exerce papel de alta relevância no cenário socioeconômico brasileiro. A cultura chegou ao país por volta de 1730, no Rio de Janeiro, e desde então contribui com a geração de tributos, postos de trabalho e fixação do homem ao campo. Atualmente, os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Paraná são os que mais se destacam respondendo por mais de 80% da produção do café brasileiro (ABIC, 2019; FASSIO & DA-SILVA, 2007).

No panorama internacional, o Brasil figura como o maior produtor dessa *commodity* no mundo. Foram cerca de 50,9 milhões de sacas¹ produzidas entre os anos de 2017 e 2018, entre as quais 35,5 milhões da espécie arábica e 12,4 milhões do café robusta, sendo o valor desta última variedade superado apenas pelo Vietnã. Como exportador, o país liderou o *ranking* mundial com 35,5 milhões de sacas vendidas, representadas em sua maioria na forma de grãos, com 32,2 milhões, seguidas pelo café solúvel, com 3,3 milhões. Na modalidade de grão moído e torrado, o país situa-se apenas como o oitavo maior exportador, com cerca de 30 mil sacas (USDA, 2018).

Entretanto, o sucesso deste produto não se dá somente como cultura ou *commodity*; o café é um dos alimentos mais consumidos em todo o país, estando presente em 98% dos lares. O hábito de tomar café pelas manhãs, associado ao seu alto poder estimulante, levou a bebida ao êxito de ser a segunda mais ingerida, ficando atrás apenas da água (INMETRO, 2002; SOUZA *et al.*, 2013; EMBRAPA, 2015). Isso torna o Brasil o terceiro maior consumidor mundial desse produto com um equivalente em sacas de 23 milhões (USDA, 2018).

Referente ao local de consumo, 64% dos brasileiros tomam café em casa, enquanto 34% preferem a consumação fora do lar. Conseqüentemente, estima-se que a procura desse produto nos serviços de alimentação aumente em cerca de 3,5% ao ano. Outra tendência emergente é a aquisição e uso do café em cápsulas, que, apesar de custarem 20 vezes o valor da modalidade em pó, sua preferência demonstra que os consumidores aumentaram sua expectativa em relação às questões que dizem respeito à praticidade e sensorialidade (ABIC, 2018; FIESP & ITAL, 2010). O aumento da demanda pelo café *gourmet* endossa uma postura cada vez mais exigente por parte da população, que está constantemente em busca de novos sabores e experiências sensoriais. Dessa forma, os produtores também podem contar com maior valor agregado dessa *commodity*, já que ele chega a atingir médias de preço da ordem de R\$ 56,00 por quilo (ABIC, 2018).

O motivo das variedades *gourmet* terem custo elevado está relacionado com a questão do sabor e do aroma. Handayani (2016) afirma que quanto melhor forem esses atributos, mais valioso o café se torna. A percepção do aroma ocorre devido a interações químicas no bulbo olfativo de forma orto e retronal, enquanto os gostos básicos são originados também de mecanismos químicos, porém localizados nos botões gustativos da língua. Já o sabor é mais complexo e resulta de sensações olfativo-gustativas, portanto um somatório de gostos e aromas (DUTCOSKY, 2011).

Substâncias não voláteis presentes na infusão do café, como os açúcares e as proteínas, são mais relevantes para o gosto. Em contrapartida, os compostos voláteis são aqueles que contribuem para o aroma específico desse produto (HANDAYANI, 2016; FISK *et al.*, 2012; DENKER *et al.*, 2006). Como resultado dessas combinações, atributos básicos como fragrância do pó, acidez, adstringência,

¹ Uma saca equivale a 60kg de produto

amargor e o sabor característico da bebida são comumente identificados para determinação da qualidade do café (BRASIL, 2010). Vale ressaltar que a intensidade de sabor da bebida está mais relacionada com o gosto amargo, sendo inclusive alvo de confusão entre seus consumidores (VAN-DOORN *et al.*, 2014).

Tão importante quanto o sabor, a cor e a aparência são fatores amplamente utilizados para avaliação e seleção dos alimentos no cotidiano da população (SPENCE & PIQUERAS-FISZMAN, 2016; LEE *et al.*, 2013). Inclusive, efeitos adversos na percepção gustativa são observados quando a cor não atende às expectativas sensoriais dos provadores (YEOMANS, 2008). Esse efeito é descrito por Dutcosky (2011) como um fator psicológico que influencia as respostas dos avaliadores, principalmente o que se refere à interação de cor e gosto básico. Além disso, tanto as indústrias alimentícias quanto os estabelecimentos de *food service* têm empregado as cores nos produtos e em suas embalagens para conquistar seus consumidores e atuar de forma categórica na intenção de compra de um alimento (SPENCE & PIQUERAS-FISZMAN, 2016; LEE *et al.*, 2013).

No caso do café, Van-Doorn *et al.* (2014) entrou em contato com diversos baristas para conhecer suas opiniões a respeito do tema. Esses profissionais relataram que seus clientes descreviam sua bebida como mais amarga quando servida em uma caneca branca de cerâmica. O contrário ocorria quando o mesmo produto era degustado em recipientes transparentes de vidro. Reações como essas, causadas pelos alimentos ao ser humano, podem ser medidas, analisadas e interpretadas pela análise sensorial (DUTCOSKY, 2011).

Influenciado por esse relato e frente à notável interferência da cor na avaliação sensorial dos alimentos, como exposto nos parágrafos anteriores, este trabalho visou verificar a influência dos copos de cores amarela, azul, branca, marrom, transparente e vermelha na percepção dos atributos aroma, amargor, intensidade de cor, doçura e sabor característico do café, utilizando o teste afetivo-quantitativo JAR – *Just About Right*.

Materiais e métodos

Café

Todos os insumos foram adquiridos em um mercado do tipo atacadista da região leste da cidade de São Paulo. Durante as análises sensoriais, foi utilizado café em pó extraforte da marca Pelé[®]. A bebida foi preparada seguindo a proporção de 80 g do insumo em pó para 1 L de água filtrada aquecida a 95 °C, conforme as instruções impressas no rótulo do produto, sugeridas pelo próprio fabricante. Essa preparação também segue as recomendações de Handayani (2016), que aconselha evitar temperaturas inferiores a 93°C, que resultam em sabor fraco ou insuficiente na infusão. Adoçou-se a bebida com 67 g de açúcar refinado da marca União[®].

Visando qualificar o procedimento de preparo do café e determinar se o montante de açúcar adicionado era adequado, foi realizado teste sensorial afetivo-quantitativo, utilizando escala hedônica de 9 pontos, conforme Figura 1. Em uma terça-feira, 50 provadores não treinados foram selecionados a partir das turmas do período noturno da ETEC de Sapopemba e encaminhados para o laboratório de processamento de alimentos. Esse ambiente, estruturado com paredes e luz branca, não possuía cabines, portanto, para seguir as boas práticas de análise, apenas um provador era admitido por vez dentro do laboratório. Uma amostra de 15 mL de café a 68°C, acondicionada em copo descartável branco de 50 mL, foi servida para cada provador para que ele provasse e atribuísse uma nota referente à sua impressão global. A formulação descrita anteriormente foi fixada após o resultado desse teste apresentar média 8 ou superior. Com alta aceitabilidade da amostra, foi possível obter um produto agradável, semelhante àquele utilizado pelo consumidor em seu dia a dia (DUTCOSKY, 2011).

Após o preparo, o café líquido foi armazenado em bules e mantido a 68 °C até o momento da análise, conforme recomendado por Dutscoky (2011). Para a manutenção da temperatura utilizou-se banho termostático de 8 bocas do fabricante Nova Instruments[®] modelo NI1254.

| |
|---|
| <p>NOME: _____ TURMA/SETOR: _____</p> <p>_____</p> <p>Você está recebendo uma amostra codificada de café. Prove a amostra e de uma nota de acordo com a escala abaixo para descrever o quanto você gostou do produto:</p> <p>9 Gostei extremamente</p> <p>8 Gostei muito</p> <p>7 Gostei moderadamente</p> <p>6 Gostei pouco</p> <p>5 Nem gostei, nem desgostei</p> <p>4 Desgostei pouco</p> <p>3 Desgostei moderadamente</p> <p>2 Desgostei muito</p> <p>1 Desgostei extremamente</p> <p style="text-align: center;">Amostra: _____</p> <p style="text-align: center;">Nota: _____</p> <p>Observações: _____</p> <p>_____</p> <p>Obrigado!</p> |
|---|

Figura 1: Ficha do teste de aceitação aplicado para confirmação da formulação de café.
 Fonte: Adaptado de Dutcosky (2011)

Recipientes e suas cores

Para servir o café aos provadores, foram escolhidos copos plásticos descartáveis de polipropileno, com capacidade para 200 mL, do fabricante Trik Trik Descartáveis®, nas cores amarela, azul, branca, marrom, transparente e vermelha conforme Figura 2. Esses recipientes foram adquiridos em uma loja de artigos descartáveis e utensílios de festa na região leste da cidade de São Paulo, em quantidade suficiente para realizar todas as análises sensoriais necessárias sem que houvesse alteração de lote.

A cor marrom está associada ao amargor e a um café mais forte, enquanto o azul é o representante do gosto salgado e se correlaciona com um café de aroma suave. A justificativa desse fenômeno deve-se ao fato de que o azul, quando em baixa intensidade, se torna complementar ao marrom no círculo cromático (HELLER, 1999; FAVRE & NOVEMBER, 1979). Percepções intensas de um alimento também são justificadas quando há maior contraste entre o produto e o utensílio onde ele é servido (PIQUERAS-FISZMAN *et al.*, 2013; STEWART & GOSS, 2013; KOCH & KOCH, 2003). Dessa forma, o

copo branco foi selecionado para se verificar esse efeito, entendendo-se que o café apresenta coloração preta, tonalidade justamente oposta à do recipiente.



Figura 2: Copos utilizados na análise sensorial do café.

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Quanto ao copo transparente, esta característica permite que o consumidor visualize o produto, quesito importante para transmitir confiança, conferir maior aceitação e ainda permitir avaliações sensoriais mais favoráveis (SIMMONDS *et al.*, 2018).

Justificando o uso dos copos amarelo e vermelho, estudo de Clydesdale *et al.* (1992) relata que mudanças significativas do nível de doçura ocorrem dentro de uma faixa que abrange variações dessas duas cores, podendo o vermelho potencializar a percepção de doçura em até 10%. Inúmeros indivíduos, em estudos diversos, correlacionam o vermelho a uma sensação de doçura (O'MAHONY, 1983; HELLER, 1999; KOCH & KOCH, 2003; TOMASIK-KRÓTKI & STROJNY, 2008; WAN *et al.*, 2014). Testando essas cores para o café, Favre & November (1979) concluem que o amarelo deixa a bebida fraca enquanto o vermelho torna o produto rico em aroma. É importante ressaltar que os sabores azedo ou ácido também são percepções relacionadas ao amarelo (O'MAHONY, 1983; HELLER, 1999; KOCH & KOCH, 2003; TOMASIK-KRÓTKI & STROJNY, 2008).

Recipientes e suas cores

Uma pesquisa de mercado foi realizada na ETEC de Sapopemba envolvendo os funcionários da escola e os alunos dos cursos técnicos modulares de administração, alimentos, informática e marketing. No formulário referente à pesquisa, conforme a Figura 3, foram levantadas questões a respeito do consumo do café e sua aceitação por parte dos entrevistados.

Os participantes que respondiam que não consumiam café ou que não apreciavam o produto não estariam aptos a participar dos testes. Entre os 50 selecionados, todos consumiam a bebida diariamente e gostavam do produto de forma moderada ou intensa, supondo que assim seria possível obter um público que valorizasse a qualidade sensorial do alimento assim como a busca por novos sabores e experiências, conforme ABIC (2018).

| | |
|--|---------------------------|
| NOME: _____ | TURMA/SETOR: _____ |
| 1. Você consome café? | |
| <input type="checkbox"/> Sim | |
| <input type="checkbox"/> Não | |
| 2. Com qual a frequência que você consome café? | |
| <input type="checkbox"/> Diariamente | |
| <input type="checkbox"/> Semanalmente | |
| <input type="checkbox"/> Quinzenalmente | |
| <input type="checkbox"/> Mensalmente | |
| 3. Você gosta de café? | |
| <input type="checkbox"/> Gosto extremamente | |
| <input type="checkbox"/> Gosto muito | |
| <input type="checkbox"/> Gosto moderadamente | |
| <input type="checkbox"/> Gosto pouco | |
| <input type="checkbox"/> Nem gosto, nem desgosto | |
| <input type="checkbox"/> Desgosto pouco | |
| <input type="checkbox"/> Desgosto moderadamente | |
| <input type="checkbox"/> Desgosto muito | |
| <input type="checkbox"/> Desgosto extremamente | |

Figura 3: Pesquisa de mercado para seleção dos provadores de café.
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Teste sensorial

Para verificação da influência da cor do copo na percepção sensorial do café, foi escolhido o método afetivo-quantitativo de escala JAR – *Just About Right*. Com essa metodologia, foi possível avaliar a intensidade das características de amargor, coloração, doçura e sabor do café, pressupondo que o consumidor conhece o significado dos atributos utilizados. É importante ressaltar que essas qualidades escolhidas já fizeram parte da avaliação de café como bebida pelo MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010). A ficha utilizada pode ser conferida na Figura 4, onde para cada propriedade, o avaliador deveria classificar a amostra conforme a escala (5 = muito forte, 3 = moderado e 1 = muito fraco).

Os 50 provadores selecionados realizaram o teste de forma individual, sem nenhuma intervenção pessoal, conforme recomendado por Dutcosky (2011). Todo o procedimento ocorreu no interior dos laboratórios de processamento de alimentos, localizados na ETEC de Sapopemba, mantendo as boas práticas de análise sensorial.

| | | | |
|---|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| NOME: _____ | | TURMA/SETOR: _____ | |
| <p>Você está recebendo uma amostra codificada de café. Prove a amostra e avalie os atributos discriminados abaixo de acordo com a escala:</p> | | | |
| AMARGO | COR | DOCE | SABOR DE CAFE |
| <input type="checkbox"/> Muito Forte | <input type="checkbox"/> Muito Forte | <input type="checkbox"/> Muito Forte | <input type="checkbox"/> Muito Forte |
| <input type="checkbox"/> Forte | <input type="checkbox"/> Forte | <input type="checkbox"/> Forte | <input type="checkbox"/> Forte |
| <input type="checkbox"/> Moderado | <input type="checkbox"/> Moderado | <input type="checkbox"/> Moderado | <input type="checkbox"/> Moderado |
| <input type="checkbox"/> Fraco | <input type="checkbox"/> Fraco | <input type="checkbox"/> Fraco | <input type="checkbox"/> Fraco |
| <input type="checkbox"/> Muito fraco | <input type="checkbox"/> Muito fraco | <input type="checkbox"/> Muito fraco | <input type="checkbox"/> Muito fraco |
| Observações: _____ | | | |
| _____ | | | |
| Obrigado! | | | |

Figura 4: Ficha do teste de aceitação com escala JAR – *Just About Right* - aplicado para comparação dos atributos e cores.

Fonte: Adaptado de Dutcosky (2011)

O café foi servido em copos descartáveis de 200 mL conforme descrito anteriormente. A quantidade recomendada para líquidos é de 15 mL, porém avaliando-se a natureza do recipiente, a intensidade e complexidade das propriedades sensoriais que deveriam ser observadas, foi estipulada uma quantidade de 100 mL, aproximadamente meio copo, para que a cor do café pudesse ser comparada com a cor do recipiente (DUTCOSKY, 2011). Os testes foram repetidos semanalmente, às terças-feiras no período das 19h até as 21h, trocando-se a cor do copo a cada semana até que não houvesse mais cores a serem testadas.

Ao final do período de análises sensoriais, os dados obtidos foram tratados estatisticamente por meio da ANOVA – Análise de Variância para um nível de significância em 5%. Para evitar que houvesse diferença significativa entre as amostras, foi aplicado o teste Tukey para comparação das médias.

Resultados e discussões

Na Figura 5, são expostos os resultados obtidos pelo teste com escala JAR – *Just About Right*. Nesse gráfico, cada um dos atributos estudados – amargor, cor, doçura e sabor do café - estão representados por uma linha vertical. As linhas horizontais representam as variações médias de intensidade para cada cor de copo analisada. O valor médio de cada atributo, de acordo com a coloração do copo, é apresentado na Tabela 1. Estatisticamente, todos os atributos estudados apresentaram alguma diferença significativa ($p < 0,05$) quando a cor do copo foi alterada, exceto para o gosto amargo.

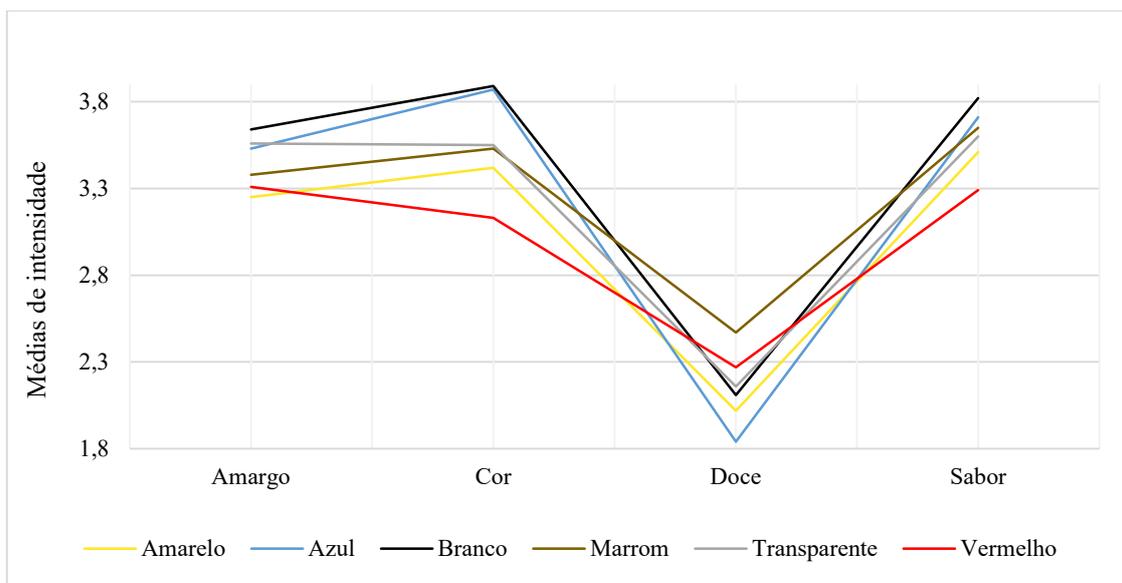


Figura 5 : Gráfico demonstrativo dos picos e depressões para cada média de intensidade, obtidos no teste de escala JAR – *Just About Right* - para os atributos de amargor, cor, doçura e sabor servidos nas diferentes cores de copo estudadas.

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Referente ao atributo cor, o copo vermelho transmitiu uma percepção significativamente ($p < 0,05$) menos intensa quando comparado com a maioria dos copos das outras cores. Somente o copo amarelo não diferiu significativamente ($p > 0,05$) do vermelho. Os valores mais altos foram atribuídos aos recipientes azuis e brancos, porém não foram suficientes para diferir ($p > 0,05$) dos copos transparente e marrom.

Tabela 1: Médias de intensidades obtidas no teste de escala JAR – *Just About Right* - para os atributos de amargor, cor, doçura e sabor de café para as diferentes cores de copo estudadas.

| MÉDIAS DE INTENSIDADE DOS ATRIBUTOS AVALIADOS PARA CADA COR DE COPO | | | | |
|---|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| COPOS | AMARGOR | COR | DOÇURA | SABOR |
| Amarelo | 3,25 ^a | 3,42 ^{b,c} | 2,02 ^{b,c} | 3,51 ^{a,b} |
| Azul | 3,53 ^a | 3,87 ^a | 1,84 ^c | 3,71 ^a |
| Branco | 3,64 ^a | 3,89 ^a | 2,11 ^{a,b,c} | 3,82 ^a |
| Marrom | 3,38 ^a | 3,53 ^{a,b} | 2,47 ^a | 3,65 ^{a,b} |
| Transparente | 3,56 ^a | 3,55 ^{a,b} | 2,16 ^{a,b,c} | 3,60 ^{a,b} |
| Vermelho | 3,31 ^a | 3,13 ^c | 2,27 ^{a,b} | 3,29 ^b |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Nota: médias com letras iguais na mesma coluna não possuem diferença significativa ao nível de 5% de significância.

No que se refere ao gosto doce, os recipientes branco e transparente, estatisticamente, não diferiram em relação aos de nenhuma outra cor ($p < 0,05$). Os copos marrom e vermelho, aqueles que contiveram os cafés com os maiores valores de doçura, diferiram ($p < 0,05$) somente quando

comparados ao copo azul, cujo teor de doçura ficou posicionado entre os níveis fraco e muito fraco. O amarelo novamente se assemelhou ao vermelho ($p>0,05$), mas não atingiu similaridade com o marrom ($p>0,05$).

Em sabor característico de café, o vermelho foi o que apresentou o menor índice diferindo estatisticamente do branco e novamente do azul ($p<0,05$). Os recipientes transparente, amarelo e marrom permaneceram significativamente ($p>0,05$) similares aos demais.

O resultado obtido com o copo branco está de acordo com o trabalho de Van-Doorn *et al.* (2014), quando exibe as maiores intensidades em cor, sabor e amargor, embora não haja diferenças significativas ($p>0,05$) para o último atributo citado. Entretanto, essa distinção só existe estatisticamente ($p<0,05$) em relação ao vermelho, no quesito sabor e incluindo-se o amarelo para o quesito cor do café. O mesmo autor explica esse fenômeno pela questão do contraste, já que o copo branco permite maior luminosidade quando comparado ao preto do café, dando destaque à bebida.

A justificativa do contraste de cores não foi observada neste estudo para o aspecto de doçura em relação ao copo branco, o qual esteve no centro das médias e não diferiu significativamente ($p>0,05$) de nenhuma outra cor. Como já foi observado na Tabela 1, este efeito pode ter ocorrido, visto que a doçura apresentou uma relação inversa aos atributos evidenciados pelo recipiente branco. Logo, quanto mais escuro e saboroso o café, menor deverá ser o índice de doçura.

Ainda, ao contrário da tese de Van Doorn *et al.* (2014), foi o copo azul o que apresentou menor média de doçura, estatisticamente diferindo ($p<0,05$) do marrom e do vermelho. Dessa forma, concordamos com Favre & November (1979) quando afirmam que o azul e o marrom atuam como cores complementares, ou seja, opostas. Citado por Heller (1999) como representante do gosto amargo, o copo marrom apresentou somente a quarta posição em relação à intensidade desse componente e não pareceu diferir significativamente ($p>0,05$) dos demais copos.

Confirmando diversos autores, o vermelho tendeu a incorporar o maior índice de doçura, ficando com a segunda maior média para o atributo (O'MAHONY, 1983; HELLER, 1999; KOCH & KOCH, 2003; TOMASIK-KRÓTKI & STROJNY, 2008; WAN *et al.*, 2014). Clydesdale *et al.* (1992) sugerem que a doçura decresce conforme o matiz desloca-se do vermelho para o amarelo, e que as diferenças entre essas duas colorações são difíceis de serem julgadas.

O presente trabalho compactua com essa proposição visto que o amarelo não diferiu estatisticamente ($p>0,05$) do vermelho, para nenhuma qualidade aferida no café, mas em relação ao atributo doçura se aproximou significativamente ($p<0,05$) do azul, alcançando a menor média.

Citando novamente Favre & November (1979), resultados inversos foram obtidos quanto ao sabor característico do café. Esses autores relataram que a bebida servida em jarras vermelhas possuía sabor mais intenso de café quando comparada com o azul. Nesse estudo, o azul apresentou média significativamente ($p<0,05$) maior que o vermelho para esta característica. É importante ressaltar que essas duas cores foram as únicas que, exceto para o amargor, sempre apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) entre si. Isso sugere, como ficou definido em Brunno *et al.* (2013) e Van-Doorn *et al.* (2014), que a cor em si é mais relevante no consumo de um alimento do que o contraste, já que em certas condições, como a verificada com o atributo doçura, o produto contido nos copos branco e transparente não diferiu ($p>0,05$) do que foi servido nos copos das demais cores.

Considerações finais

Utilizando o teste afetivo-quantitativo JAR – *Just About Right* - foi possível concluir neste trabalho que a cor do copo influenciou a percepção dos atributos sensoriais do café. Dentre os resultados mais significativos, os copos vermelho e azul apresentaram resultados opostos no que diz respeito aos atributos cor, doçura e sabor do café. Nenhuma coloração de recipiente foi capaz de alterar a percepção do atributo amargor.

Referências

- ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. *Indicadores da indústria de café*. Disponível em: <<http://abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2018/>>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- ABIC – Associação Brasileira da Indústria do Café. *Indicadores da indústria de café*. Disponível em: <<http://abic.com.br/o-cafe/historia/o-cafe-brasileiro-na-Atualidade/>>. Acesso em: 21 ago. 2019.
- BRASIL. MAPA – *Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento*. Instrução normativa n. 16, de 25 de maio de 2010. Disponível em: <http://abic.com.br/src/uploads/2017/07/CONS_leg_regulamentotecnicoIN16.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- BRUNNO, N.; MARTANI, M.; CORSINI, C.; OLEARI, C. The effect of the color red on consuming food does not depend on achromatic (Michelson) contrast and extends to rubbing cream on the skin. *Appetite*, v.71, 2013. p. 307-313.,
- CLYDESDALE, F. M.; GOVER, R.; PHILIPSEN, D. H.; FUGARDI, C. The effect color on thirst quenching, sweetness, acceptability and flavor intensity in fruit punch flavored beverages. *Journal of Food Quality*, v. 15, 19-38p., 1992.
- DENKER, M.; PARAT-WILHELMS, M.; DRICHEL, G.; PUCKE, J.; LUGER, A.; BORCHERDING, K.; HOFFMANN, W.; STEINHART, H. Investigation of the retronasal flavour release during the consumption of coffee with additions of milk constituents by oral breath sampling. *Food Chemistry*, vol. 98, 2006, p. 201-208.
- DUTCOSKY, S. D. *Análise sensorial de alimentos*. Curitiba: Champgnat, 2011.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Café é a segunda bebida consumida no Brasil*. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2574254/cafe-e-a-segunda-bebida-mais-consumida-no-brasil>>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- FASSIO, L. H.; DA-SILVA, E. S. *Importância econômica e social do café conilon*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. *Café conillon*. Vitória: Incaper, 2007, p.37-49..
- FAVRE, J. P.; NOVEMBER, A. *Color and communication*. Zurich: ABC, 1979.

- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos. *Brasil food trends 2020*. Disponível em: <http://www.brazilfoodtrends.com.br/Brasil_Food_Trends/index.html>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- FISK, I.D.; K. A.; HOFMEISTER, S.; VIRIDIE, A.; KENNY, J. S. Discrimination of roast and ground coffee aroma. *Flavour Journal*, vol. 1, n. 14, 2012, p. 1-8.
- HANDAYANI, B. R. Coffee and its flavor. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, vol. 4, n. 1. 2016, p 222-227.
- HELLER, E. *Wie Farben wirken: Farbpsychologie – Farbsymbolik – Kreative Farbgestaltung*. Hamburgo: Reinbek, 1999.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia. *Café torrado e moído II*. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/cafe2.asp?iacao=imprimi>>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- KOCH, C.; KOCH, E.C. Preconceptions of taste based on color. *The Journal of Psychology Interdisciplinary and Applied*, v. 137, 137-233p., 2003.
- LEE, S-M.; LEE, KT; LEE, S-H.; SONG, J-K. Origin of colour preference preference for food. *Journal of Food Engineering*, vol. 19, n.1., 2013, p. 508-515.
- O'MAHONY, M. Gustatory responses to nongustatory stimuli. *Perception*, v.12, n.5., 1983, p. 627-633.
- PADILHA, V. M.; ROLIM, P. M.; SALGADO, S. M.; LIVERA, A. S.; ANDRADE, S. A. C.; GUERRA, N. B. Perfil sensorial de bolos de chocolate formulados com farinha de yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 30, n. 3, 2010, p. 735-740.,.
- PIQUERAS-FISZMAN, B.; GIBOREAU, A.; SPENCE, C. Assessing the influence of the color of the plate on the perception of a complex food in a restaurant setting. *Flavour Journal*, v.24, n.2, 2013, p. 1-11.
- SIMMONDS, G.; WOOD, A.T.; SPENCE, C. Show me the goods: assessing the effectiveness of transparent packaging vs. product imagery on product evaluation. *Food Quality and Preference*, vol. 63, 18-27p., 2018.
- SMITH, M. B. B. C.; MENANDRO, P. R. M. Aspectos contextuais e pessoas influenciadores do consumo de chocolate. *Psicologia em Pesquisa*, v. 9, n. 1, 2015, p. 20-30.
- SOUZA, A. de. M.; PEREIRA, R. A.; YOKOO, E. M.; LEVY, R. B.; SICHERI, R. Alimentos mais consumidos no Brasil: inquérito nacional de alimentação 2008-2009. *Revista Saúde Pública*, vol. 47, supl. 1., 2013, p. 191S-199S.
- SPENCE, C.; PIQUERAS-FISZMAN, B. Food color and its impact on taste/flavor perception. *Multisensory flavor-preception: from fundamental neuroscience through the marketplace*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2016, 2013, p. 107-132, p. 1-9.
- STEWART, P. C.; GOOS, E. Plate shape and colour interact to influence taste and quality judgments. *Flavour Journal*, v. 27, n. 2., 2013.
- TOMASIK-KROTKI, J. S; STRONJNY, J. Scaling of sensory impressions. *Journal of Sensory Studies*, v. 23, n. 2, 2008, p. 251-26p.

USDA – United States Department of Agriculture. *Coffe: world markets and trade*. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/coffee.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

VAN-DOORN, G. H.; WUILLEMIN, D.; SPENCE, C. Does the colour of the mug influence the taste of the coffee?. *Flavour Journal*, v.3, n.10, 2014.

WAN, X.; WOODS, A.T.; VAN-DEN-BOSCH, J.; MCKENZIE, K.J.; VELASCO, C.; SPENCE, C. Cross-cultural differences in crossmodal correspondences between tastes and visual features. *Frontiers in Psychology*, v.5, n. 1365, 2014, p.1-13.

YEOMANS, M.R.; CHAMBERS, L.; BLUMENTHAL, H.; BLAKE, A. The role of expectancy in sensory and hedonic evaluation: the case of smoked salmon ice-cream. *Food Quality and Preference*. v. 19, 565-573 p., 2008.



Redução de sódio em presunto cozido e sua aceitação sensorial e intenção de consumo

Sodium reduction in cooked ham and its sensory acceptance and consumption intention

Márcia Edilamar Pulzatto (mpulzatto@cefsa.edu.br)

Doutora em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professora da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Rúbner Gonçalves Pereira (pro14546@cefsa.edu.br)

Doutor em Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Caio Vinícius Pereira Marcelão (caiovskiz09@gmail.com)

Graduando em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Mariana Yumi Saito (mari.y.saito@gmail.com)

Graduanda em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 31 mai. 2019. **Aceitação:** 11 set. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 67-77

Resumo

A diminuição do teor de sódio em produtos alimentícios é um dos principais desafios da indústria de alimentos nacional devido à demanda dos consumidores por saudabilidade e pelo compromisso firmado junto ao Ministério da Saúde (MS) em promover essa redução. Com base nisso, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma formulação de presunto com teor reduzido de sódio que atendesse às normas vigentes e contivesse menor nível de sódio quando comparado com uma marca convencional de ampla atuação no mercado. Além do desenvolvimento do produto, foram realizadas também análises físico-químicas (quantificação dos teores de nitrito e nitrato, de proteína e de gordura) e microbiológicas, para verificar a sua conformidade com a legislação brasileira vigente. O produto obtido foi comparado com o líder de mercado quanto ao teor de sódio e avaliado pelas notas obtidas nos testes sensoriais (aceitação e intenção de consumo), de acordo com o público-alvo (famílias das classes sociais B e C, cujos membros estavam predominantemente na faixa etária entre 20 e 30 anos). Concluiu-se que a formulação proposta atende aos critérios da legislação, com uma redução comprovada de 27% de sódio em relação ao produto líder de mercado. Esta redução supera a meta do MS. Além disso, o produto foi aceito pelo público-alvo em relação aos atributos sabor, gosto salgado e odor. Contudo, a formulação necessita de aprimoramentos quanto aos atributos aparência e textura.

Palavras-chave: Produto Carne. Desenvolvimento de Produto. Análise Sensorial.

Abstract

The reduction of sodium content in food products is one of the main challenges of the national food industry due to consumers' demand for healthiness and the commitment from the Brazilian government to promote this reduction. Therefore, the objective of the present paper was to develop a formulation of reduced sodium ham that would meet legislative standards and contain a considerable reduction when compared to a conventional brand with wide market performance. Besides the development of the product, it was also intended to get the achievement of microbiological and physical chemical analysis (quantification of the contents of nitrite and nitrate, protein and fat) to verify the compliance with the current Brazilian legislation. The product obtained was compared with the market leader in terms of sodium content and scores obtained in the sensory tests (acceptance and intention to consumption), according to the target audience, consisting of families from B and C social classes whose most members aged between 20 and 30 years. It can be concluded that a proposed formulation meets the criteria of the legislation, with a proven 27% reduction in sodium compared to the market leading product. In addition, the product was accepted by the target audience for its taste, salty taste and smell attributes. However, a formula would require enhancements regarding appearance and texture attributes.

Keywords: Meat Product. Product Development. Sensory Analysis.

Introdução

O mercado brasileiro de carnes suínas é consolidado, apesar das constantes mudanças que ocorrem no perfil de consumo, geradas por interesses políticos ou fatores externos. De acordo com o Relatório Anual da Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA (2018) -, o Brasil produziu 3,76 mil toneladas de carne suína no ano de 2017, sendo considerado atualmente o quarto maior produtor mundial desse produto. Do total assinalado, 81% são destinados ao mercado interno, comercializados em diferentes formas, tais como: cortes e carcaças, gorduras, embutidos, tripas, entre outros. O mesmo relatório informa que o consumo per capita de carne suína no Brasil no ano de 2017 foi de 14,7 kg, um aumento de 13% em comparação com o ano de 2007.

O consumidor atual está cada vez mais exigente, sobretudo em relação ao uso racional de aditivos nos produtos alimentícios, o que leva as empresas do ramo a priorizar o fator saudabilidade, além da preocupação convencional de atender à legislação vigente e de produzir alimentos seguros e de forma sustentável.

O presunto cozido é um produto cárneo de consumo elevado em todo o país, assim como em todo o mundo, por sua grande versatilidade pós-processamento, podendo ser oferecido em fatias, embalado a vácuo etc (MENEZES, 2016). De acordo com a legislação brasileira, entende-se por presunto o produto cárneo industrializado obtido dos cortes de membros posteriores de suínos e de outras espécies de animais de açougue, desossados ou não, e submetidos a um processo térmico adequado. Trata-se de um produto curado, cozido ou semicozido e defumado ou não (BRASIL, 2000).

O processamento tradicional de presunto cozido consiste na utilização de salmoura, que pode ser injetada ou incorporada à carne suína sob massageamento seguido de cocção e resfriamento. A qualidade final do produto depende de diversos fatores, dentre eles a origem e composição das matérias-primas e as condições do processamento (VÁLKOVÁ, 2007).

O sal (NaCl) é um ingrediente obrigatório na fabricação de produtos cárneos, pois contribui para a emulsão e a retenção de água. Além disso, prolonga a vida útil do produto, devido à capacidade de reduzir a atividade da água e, ao mesmo tempo, contribui para enriquecer o sabor (RUUSUNEN; PUOLANNE, 2005).

Devido a um crescente aumento de doenças crônicas causadas por consumo excessivo de alguns aditivos contidos em alimentos processados e ultraprocessados, a Organização das Nações Unidas (ONU) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) têm estabelecido parâmetros para orientar os países sobre o que pode ou não pode ser considerado excesso de sal, açúcar e gordura em alimentos processados e ultraprocessados. Assim, foi definido como excesso de sódio (em miligramas) a proporção para calorias (kcal) de 1:1 ou superior a esse valor (NAÇÕES UNIDAS, 2016).

Seguindo as novas orientações da OMS, o Brasil, através do Ministério da Saúde, está entre os países que buscam alcançar a redução de sódio nos produtos fabricados em seu território, sendo que um dos segmentos em foco é o da presuntaria. Com isso, espera-se conseguir combater o alto índice de ingestão de sódio pelos brasileiros, que consomem 2,4 vezes mais do que o índice recomendado pela OMS (BRASIL, 2017). O desafio é garantir que a redução não afete negativamente a qualidade

dos alimentos e suas características sensoriais e contribua para a política de bem-estar da população brasileira.

Segundo o padrão de identidade e qualidade de presunto cozido contido na Instrução Normativa nº 20, de 31 de julho de 2000 (BRASIL, 2000), os ingredientes obrigatórios são: pernil suíno, sal, nitrito e/ou nitrato de sódio ou potássio, podendo ser utilizados componentes adicionais que deem destaque aos aspectos visuais do produto. Além disso, é permitida a adição de proteínas vegetais em até 2%. Já em relação aos parâmetros, esta resolução determina os valores de proteína % (min.) ≥ 14 , nitrito de sódio g/100g $\leq 0,015$ e nitrato \leq de sódio g/100g.

Entretanto, para que o alimento seja considerado apto para o teste sensorial e para o consumo deve-se verificar se ele obedece aos padrões microbiológicos estabelecidos na RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001), na qual se estabelecem os microrganismos a serem analisados e seus respectivos limites permitidos, sendo de até 10^3 para Coliformes a 45°C/g , até 3×10^3 para Estafilococos coagulase positiva/g, até 5×10^2 para Clostridio sulfito redutor a 46°C e ausentes para *Salmonella sp*/25g. Considerando tais parâmetros, diversos testes preliminares foram realizados para se desenvolver uma formulação desse produto.

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi criar uma amostra de presunto cozido com teor reduzido de sódio que atendessem aos parâmetros exigidos na legislação brasileira, avaliar esta redução em comparação com uma marca convencional de mercado escolhida e verificar a aceitação do produto junto ao público-alvo.

Material e métodos

Formulação

A formulação final é apresentada nas tabelas 1 e 2. O aroma e as tecnologias de redução de sal, glutamato e mascarador de conservante utilizados neste trabalho foram cedidos pela empresa Firmenich.

Tabela 1 - Composição do presunto

| Matéria Prima | % |
|-------------------------|----------|
| Pernil suíno | 69 |
| Componentes da Salmoura | 31 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Tabela 2 - Composição da salmoura

| Componentes da Salmoura | % |
|---|-------|
| Água | 15,89 |
| Gelo | 9,5 |
| Proteína isolada de soja | 2 |
| Carragena | 0,5 |
| Polifosfato de sódio | 0,5 |
| Eritorbato de sódio | 0,1 |
| Nitrito de sódio | 0,01 |
| Nitrato de sódio | 0,01 |
| Corante Carmim | 0,06 |
| Maltodextrina | 0,6 |
| Tecnologia de mascarador de conservante | 0,03 |
| Tecnologia de redução de sal | 0,6 |
| Aroma de presunto | 1 |
| Tecnologia de redução de glutamato | 0,07 |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Procedimento experimental

A preparação do presunto seguiu as etapas descritas de acordo com o fluxograma da figura 1.

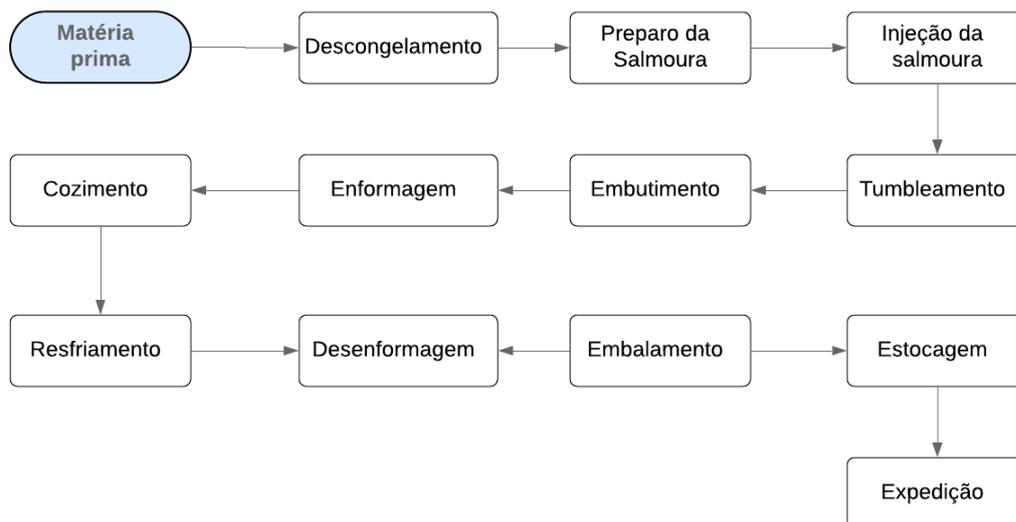


Figura 1. Fluxograma do processo produtivo de presunto cozido.

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Inicialmente, a matéria-prima descongelada foi pesada para permitir o cálculo das massas dos componentes da salmoura, a qual foi preparada em um recipiente de inox sob agitação constante, com auxílio de um agitador mecânico. Em seguida, foi injetada nas peças de pernil suíno extralimpo

através da injetora automática, previamente calibrada para um teor de injeção de 28%. Após a etapa de injeção, as peças foram encaminhadas ao tenderizador.

As partes de pernil já injetadas foram levadas ao tumbler para que fosse executado um massagem da carne através de um processo rotativo. O tumbleamento teve duração de 4 horas; após essa etapa, a massa foi encaminhada para embutimento em embalagem plástica e foi pesada, registrando-se o peso de 3,6 kg.

Em seguida, as massas foram inseridas em formas para a realização do tratamento térmico (cozimento) e desenvolvimento de cor (processo de cura). No tanque de cozimento, foi utilizado um método de aquecimento escalonado de três etapas: primeiramente, procedeu-se ao banho com as formas já inseridas em água aquecida até 60 °C por 1 hora. Em seguida, a temperatura foi aumentada para 70 °C por mais 1 hora de duração; e na última etapa, o tanque de cozimento foi aquecido até atingir 80 °C e o produto foi ali deixado por mais 2 horas e 30 minutos.

Essas 4 horas e 30 minutos de cozimento garantem que a temperatura adequada (72 °C) seja atingida no centro do produto, o que assegura a inexistência de microrganismos patogênicos. Finalizado o processo, as formas com o presunto cozido foram colocadas no tanque de resfriamento com água corrente a uma temperatura de aproximadamente 3 °C por cerca de 4 horas, para que o produto atingisse uma temperatura próxima dos 10 °C, podendo então seguir para a etapa de desenformagem. Finalmente, as peças de presunto foram armazenadas em refrigerador até o momento das análises.

Análises físico-químicas

As análises físico-químicas do presunto cozido produzido no presente estudo consistiram na determinação dos níveis de nitrato e nitrito, proteína e gordura, seguindo os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008).

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas de *Salmonella sp*, clostridio sulfito redutor, coliformes fecais e *Staphylococcus aureus* (Estafilococos coagulase positiva) seguiram as metodologias descritas pela IN nº 30, de 26 de junho de 2018, que especifica os métodos analíticos oficiais necessários para se proceder às análises microbiológicas destinadas ao controle de produtos de origem animal e de água (BRASIL, 2018).

Os resultados obtidos foram comparados com a legislação brasileira vigente, sendo que as análises físico-químicas foram baseadas na IN nº 20, de 31 de julho de 2000 (BRASIL, 2000) e na Portaria nº 1.004, de 11 de dezembro de 1998 (BRASIL, 1998) e as análises microbiológicas tiveram por parâmetro a RDC 12, de 2 de Janeiro de 2001 (BRASIL, 2001). Os respectivos parâmetros estão descritos nas tabelas 1 e 2 abaixo.

Quantificação do teor de sódio

A quantificação do teor de sódio seguiu a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2008) e foi realizada com as seguintes amostras de presunto: formulação desenvolvida neste estudo com redução de sódio (P1) e amostra do produto da marca líder de mercado (P2). Vale ressaltar que a amostra P2 consistiu em um produto consagrado pelos consumidores, que já contava com redução de 30% na quantidade de sódio em sua formulação em relação à fórmula tradicional da mesma marca.

Análise sensorial

Os testes sensoriais para ambas as amostras (P1 e P2) foram realizados com 30 famílias de 3 pessoas, pertencentes às classes sociais B e C, com idades variando entre 4 e 64 anos, sendo 60,7% de consumidores do sexo feminino e 39,3% do sexo masculino; a faixa etária predominante era de 20 a 30 anos; eles foram recrutados em função do interesse e da disponibilidade para participarem do teste. As famílias receberam as amostras em suas casas, fatiadas e embaladas a vácuo. Junto das amostras, foi encaminhada uma orientação por escrito de como consumir os produtos e uma ficha de resposta.

A verificação da aceitação das amostras de presunto foi realizada utilizando-se a escala hedônica estruturada de 7 pontos, onde 7 representou “gostei muito” e 1, “desgostei muito”. Foi solicitado aos consumidores que avaliassem em cada uma das amostras, segundo o grau de gostar ou desgostar, os atributos: sabor, gosto salgado, odor, aparência e textura.

A intenção de consumo foi avaliada empregando-se também uma escala de 7 pontos, variando entre “certamente não consumiria o produto” (=1) e “certamente consumiria o produto” (=7).

Para a avaliação dos resultados, foi aplicada a Análise de Variância (ANOVA), identificando se houve diferença significativa entre as amostras avaliadas e a intenção de consumo, respectivamente, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Resultados e discussão

Resultados físico-químicos

Os resultados das análises físico-químicas do presunto produzido neste trabalho (P1) foram de 0,0031% de nitrato, $8,6 \times 10^{-5}$ % de nitrito, 19,04% de proteína e 2,22% de teor de gordura. De acordo com os parâmetros descritos na IN n° 20, de 31 de julho de 2000, mencionados anteriormente, a amostra P1 analisada estava dentro dos parâmetros exigidos pela legislação.

Resultados microbiológicos

Em relação às análises microbiológicas efetuadas na amostra P1, os resultados obtidos foram de ausência de *Salmonella sp*, Clostrídio sulfito redutor, Coliformes a 45°C. Para os Estafilococos coagulase positiva, o resultado foi de 0,30 log UFC.g⁻¹. Os dados obtidos estão de acordo com os parâmetros legislativos contidos na RDC 12, de 2 de janeiro de 2001.

Quantificação do teor de sódio

O presunto P1 (com 596,5 mg de sódio em 100 g de produto) obteve uma redução de 27% de sódio em relação ao P2, pois este último apresenta 934,32 mg de sódio para cada 100 g de produto. Além disso, o P2 tem em seu rótulo a informação de redução de 30% de sódio em relação às formulações dos presuntos cozidos disponíveis no mercado, ou seja, P1 tem cerca de 57% de redução se comparado com formulações sem redução.

O Ministério da Saúde (MS) no Brasil estimou uma redução de aproximadamente 20mg a 100g em 2017 nos produtos de presuntaria, indo de 1180 mg para 1160 mg de sódio por 100 g de produto (BRASIL, 2017), ou seja, o resultado obtido no presente estudo está acima do estimado pelo MS, representando uma redução de mais de 50% em comparação com os 1160 mg por 100g estimados para o ano de 2017.

Carvalho et al (2015) conseguiu uma redução de sódio de 30% na produção de presunto cozido substituindo parte do cloreto de sódio por uma mistura de sais, obtendo uma concentração na faixa de 713 a 1.027 mg/100 g, ou seja, mesmo o menor valor de teor de sódio registrado em sua escala foi maior que o obtido neste estudo.

Análise sensorial

Os resultados obtidos com os testes de aceitação por escala hedônica e intenção de consumo estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados dos testes de aceitação com uso das escalas hedônica e intenção de consumo.

| Teste | Amostras | |
|---------------------|-------------------|-------------------|
| | P1 | P2 |
| Aceitação | | |
| Sabor | 5,81 ^a | 6,15 ^a |
| Gosto salgado | 6,09 ^a | 5,81 ^a |
| Odor | 5,83 ^a | 5,71 ^a |
| Aparência | 5,71 ^b | 6,30 ^a |
| Textura | 5,86 ^b | 6,45 ^a |
| Intenção de consumo | 5,53 ^a | 5,68 ^a |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Nota: as médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si a 5% de probabilidade.

É possível observar na Tabela 6 que para os atributos sabor, gosto salgado e odor não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as médias das notas para os presuntos P1 e P2. Estes resultados revelam que a redução de sódio não interferiu negativamente na avaliação do consumidor, o que pode classificar os produtos testados, segundo a escala utilizada no teste, como

“gostar moderadamente”. Logo, a forma de se promover o produto no mercado pode ser utilizada para exaltar esta redução de modo a atrair os consumidores.

Entretanto, as notas de P1 e P2 diferem entre si ($p < 0,05$) quanto à aparência e à textura, sendo que as menores médias foram obtidas pela amostra P1. Tais resultados indicam que o valor atribuído pelos avaliadores ao parâmetro aparência pode ter sido influenciado pelos baixos teores utilizados de corante e sais de cura (nitrito e nitrito), uma vez que estes ingredientes promovem o desenvolvimento de cor de produtos curados. Já em relação à textura, as notas mais baixas para a amostra P1 podem estar relacionadas à redução de sódio na formulação, pois ele tem um importante papel na absorção de água propiciando maior suculência ao produto (RUUSUNEN; PUOLANNE, 2005). Isso indica que a formulação desenvolvida ainda precisa ser ajustada para se obter melhores avaliações nesses atributos.

Por outro lado, observou-se que a intenção de consumo de P1 não diferiu ($p > 0,05$) da amostra P2, a qual foi classificada de acordo com a escala “consumiria frequentemente o produto”. Este resultado foi considerado satisfatório, mas novos estudos são necessários para investigar a intenção de compra e os fatores que possam influenciar na aquisição do produto.

Considerações finais

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que, utilizando a formulação e a metodologia propostas, foi possível produzir um presunto que atendesse aos parâmetros legislativos e com redução de 27% de sódio quando comparado ao seu equivalente da marca convencional de mercado. Além disso, a formulação apresentou aceitação em relação aos atributos sabor, gosto salgado e odor, sendo que os consumidores responderam que têm a intenção de consumir frequentemente o produto. Os atributos aparência e textura poderão ser otimizados em trabalhos futuros através de alterações na formulação. Os resultados desse trabalho atendem às instruções do Ministério da Saúde em seu acordo com as indústrias de alimentos para a redução de teores de sódio dos alimentos industrializados tendo em vista promover a melhoria da saúde da população.

Referências

BENITO-DELGADO, J.; MARRIOTT, N.G.; CLAUS, J.R.; WANG, H.; GRAHAM, P.P. Chuck *Longissimus* and *Infraspinatus* muscle characteristics as affected by rigor state, blade tenderization and calcium chloride injection. *Journal of Food Science*, v. 59, n. 2, 1994, p.295-299.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos*. Disponível em:

<<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/Portaria+n%C2%BA+1004%2C+de+11+de+dezembro+de+1998.pdf/41e1bc8f-b276-4022-9afb-ff0bb3c12c0c>>. Acesso em: 19 abr. 2019

BRASIL. *Métodos físico químicos para análise de alimentos*. Instituto Adolfo Lutz, 4 ed, São Paulo, 2008. Disponível em:

<www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016.../analisedealimentosial_2008.pdf> Acesso em: 27 maio 2019

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Instrução Normativa nº20, de 31 de Julho de 2000. Regulamento técnico de identidade e qualidade de presunto*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2000. Disponível em:

<<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=1686>>. Acesso em: 19 abr. 2019

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Instrução Normativa nº30, de 26 de Junho de 2018. Oficializar os métodos analíticos oficiais para análises microbiológicas para controle de produtos de origem animal e água*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2018. Disponível em:

<<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>> . Acesso em: 29 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. *Portaria nº 1004, de 11 de dezembro de 1998. Atribuição de função de aditivos, aditivos e seus limites máximos de uso para a categoria 8 - Carne e Produtos Cárneos*. Disponível em:

<<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/Portaria+n%C2%BA+1004%2C+de+11+de+dezembro+de+1998.pdf/41e1bc8f-b276-4022-9afb-ff0bb3c12c0c>>. Acesso em: 19 abr. 2019

BRASIL, Nações Unidas. *OMS define novos parâmetros para alimentos processados que têm açúcar, sal ou gordura em excesso*. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/oms-define-novos-parametros-para-alimentos-processados-que-tem-acucar-sal-ou-gordura-em-excesso/>> Acesso em: 30 maio 2019

CARVALHO, F. de A.; DONADUZZI, A.; VIDAL, A.R.; DONEDA, M.; MELLO, R. de O.; PRESTES, R.C. Determinação de sódio em presunto cozido com redução de sódio. 5º Simpósio de segurança alimentar: Alimentação e saúde. Bento Gonçalves, 2015. Disponível

em:<<https://docplayer.com.br/39672912-Determinacao-de-sodio-em-presunto-cozido-com-reducao-de-sodio.html>> Acesso em: 29 set. 2019.

LAMARINO, L.Z.; OLIVEIRA, M.C.; ANTUNES, M.M.; OLIVEIRA, M.; RODRIGUES, R.O.; ZANIN, C.I.C.B.; SCHIMILE, M.; LIMA, A.A. Nitritos e nitratos em produtos cárneos enlatados e/ou

embutidos. *Gestão em Foco*, Edição nº: 07, 2015. Disponível em:
<http://www.unifia.edu.br/revista_eletronica/revistas/gestao_foco/artigos/ano2015/nitritos_nitratos.pdf> Acesso em: 28 maio 2019

MENEZES, N. M. C. *Efeito da adição de óleo essencial de orégano sobre a vida útil de presunto fatiado embalado a vácuo: modelagem em condições isotérmicas e não isotérmicas*. 2016. 78 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2016.

NIELSEN, A. C. Panorama do setor da carne. *Revista Nacional da Carne*, 370, 43-47. 2007

PARDI, M, C. *Ciência, higiene e tecnologia da carne*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2007, 2v.

RUUSUNEN, M.; PUOLANNE, E. Reducing sodium intake from meat products. *Meat Science, Barking*, v. 70, n. 3, Jul. 2005, p. 531-541.

VÁLKOVÁ, V.; SALÁKOVÁ, A.; BUCHTOVÁ, H.; TREMLOVÁ, B. Chemical, instrumental and sensory characteristics of cooked pork ham. *Meat Science*, 77(4), 608-615. 2007.



O Scilab como ferramenta de ensino para modelagem de sistemas dinâmicos de primeira e segunda ordem

Scilab as a teaching tool for modelling of dynamic systems of first and second order

Victor Inácio de Oliveira (victorif@hotmail.com)
Doutor em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Isabelle Puertas Ruiz (isandypuertas@outlook.com)
Graduanda em Engenharia de Computação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Rafael Kenji Yamasita (rafael.kenji98@gmail.com)
Graduando em Engenharia de Computação pela Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 5 mai. 2019. **Aceitação:** 25 ago. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 78-94

Resumo

Este trabalho demonstra como o software Scilab pode ser utilizado como ferramenta de ensino de sistemas de controle dinâmicos. A modelagem de sistemas dinâmicos é parte integrante em disciplinas dos cursos de Engenharia, como elétrica, automação e computação. Tendo isso como ponto de partida, é fundamental conhecer ferramentas que permitam estudar a modelagem de sistemas dinâmicos de forma visual e simples. O Scilab é um software gratuito, e através de sua ferramenta denominada XCOS, é possível gerar diagramas de blocos com diferentes funções de transferência, permitindo assim uma análise direta da resposta dos sistemas a diferentes funções de impulso. Neste trabalho, ficou comprovado como o Scilab pode ser usado para modelar sistemas de primeira e segunda ordem. Através do levantamento de curvas de respostas foi possível demonstrar que o Scilab pode ser utilizado de forma bem eficaz no ensino de sistemas dinâmicos.

Palavras-chave: Modelagem. Sistemas dinâmicos. Sistemas de primeira ordem. Sistemas de segunda ordem.

Abstract

This paper presents how the software Scilab can be used as an important teaching tool for dynamic systems control. The modelling of these systems is part of the subjects for the Engineering courses, such as: Electrical, Automation and Computer. Having all of these mentioned aspects as a starting point, it is fundamental to know the tools that may allow the study of the modelling of the dynamic systems in a visual and simpler way. The Scilab is a free software and through the XCOS tool we can generate block diagrams with different transference functions, which can enable the direct analysis of answers for the systems at distinct impulse functions. In this paper it has been shown how Scilab can be used to model systems of first and second order. Through the response curves it was possible to demonstrate that the Scilab can be used as a very efficient software to teach dynamic systems.

Keywords: Modeling. Dynamic systems. First order systems. Second order systems.

Introdução

O estudo da modelagem de sistemas dinâmicos de controle é parte integrante de diversas disciplinas nas áreas de engenharia e tecnologia. Dentre elas, podemos destacar as disciplinas de controle e automação e modelagem de sistemas dinâmicos. Nesse contexto, o uso de uma ferramenta de software que permite visualizar o funcionamento global de um sistema dinâmico através de sua modelagem é fundamental para o desenvolvimento da disciplina, como ficou demonstrado em diversos trabalhos anteriores (AMARAL et al, 2015) e (FILHO; CARVALHO; VILLA, 2007) ou ainda em (TAMAYO; CANU; DUQUE, 2015). É nesse contexto que será apresentado neste trabalho como proceder para se utilizar a ferramenta de modelagem do software Scilab (SCILAB, 2019) de modo a realizar a modelagem e a análise das respostas em sistemas dinâmicos.

O Scilab (acrônimo de Scientific Laboratory) é uma ferramenta computacional poderosa e gratuita criada por pesquisadores da Ecole Nationale des Ponts et Chaussee (ENPC) e do Institut Nationale de Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA), ambos na França. Atualmente, ele é mantido e atualizado pelo ESI group (ESI, 2019), e vem sendo utilizado já há algum tempo por diversos institutos de pesquisa, universidades e empresas em geral em diferentes áreas como Física, Matemática, Engenharia e Computação (MARIANI, 2005), devido ao baixo custo de implementação e sua usabilidade simplificada. O Scilab faz parte de uma família de softwares que simulam ambiente de computação numérica. Dentro dessa família destaca-se também o MatLab (acrônimo de Matrix Laboratory), sendo que esse é um software proprietário e, por isso, só pode ser usado se sua licença for paga, porém, ainda assim, é bastante utilizado (MARCHETTO, 2016).

Nas próximas páginas, será apresentado um estudo de como utilizar o software Scilab para modelar e analisar sistemas dinâmicos de primeira e segunda ordem. Este estudo poderá ser utilizado como guia para que professores e alunos de cursos de Engenharia e de Tecnologia possam aplicar essa ferramenta para esse fim.

Fundamentação teórica

Sistemas dinâmicos

O estudo dos sistemas dinâmicos aborda técnicas de modelagem matemática, simulação e análise de diversos sistemas físicos, que normalmente são de interesse da área de engenharia (OGATA, 2011).

De modo geral, pode-se definir sistema como sendo um conjunto de componentes interconectados e interdependentes que atuam gerando um sinal de saída a partir de um sinal de entrada. Já um sistema dinâmico nada mais é que um sistema dependente do tempo (OGATA, 2011) e (NISE, 2012). Um exemplo de sistema dinâmico mecânico seria o de uma ponte que possui as tensões sobre ela dependente do tráfego de veículos, o que por sua vez depende do tempo. Um sistema muito utilizado didaticamente é o sistema massa-mola-amortecida. Mas, além desses exemplos, podemos ter outros das áreas de eletricidade, fluídica e termodinâmica; ou ainda sistemas híbridos como, por exemplo, os motores elétricos que são sistemas eletromecânicos (FELICIO, 2010).

A modelagem dos sistemas se inicia encontrando-se a equação diferencial que fundamenta todo e qualquer sistema. Para exemplificar, será analisado o sistema de massa-mola-amortecedor, conhecido como oscilador amortecido, que pode ser visto na figura 1. Nesse sistema, a massa m quando movimentada por uma força F oscila de forma amortecida fornecendo um deslocamento x que será a função do tempo. A modelagem desse sistema pode ser feita utilizando-se as leis de Newton e de Hooke (HALLIDAY, RESNICK, 2016).

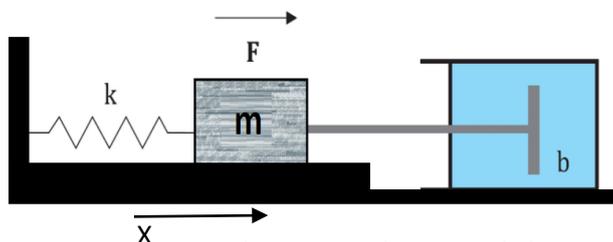


Figura 1: Sistema massa-mola-amortecedor, ou oscilador amortecido
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

As forças em questão neste modelo serão: força elástica (F_{el}), força de resistência (F_r) e força externa (F), sendo a F_{el} devido à mola, a F_r devido ao amortecedor e a F é a aplicada sobre a massa de força externa. Essas forças podem ser vistas no diagrama referente à figura 2.

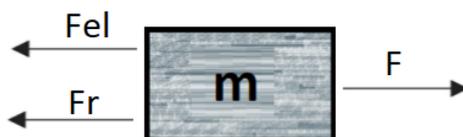


Figura 2: diagrama de forças do sistema massa-mola-amortecedor
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Aplicando-se a segunda Lei de Newton teremos:

$$F(t) - Fel(t) - Fr(t) = ma(t) \quad (1)$$

É sabido que o módulo de $Fel(t) = kx(t)$ e que $Fr(t) = bv(t)$ (HALLIDAY, RESNICK, 2016), onde $v(t)$ é a velocidade em função do tempo, $x(t)$ é o deslocamento no tempo, k é a constante elástica da mola e b é o fator de amortecimento do amortecedor. Substituindo essas expressões em (1) temos:

$$F(t) - kx(t) - bv(t) = ma(t) \quad (2)$$

Sabe-se também que a velocidade pode ser encontrada pela derivada de deslocamento em relação ao tempo ($v(t) = x'(t)$) e que a aceleração é dada pela derivada segunda do deslocamento em relação ao tempo ($a(t) = x''(t)$) (HALLIDAY, RESNICK, 2016). Sendo assim, a equação final do sistema massa-mola-amortecedor, depois de um pequeno ajuste algébrico, pode ser representada da seguinte forma:

$$m \frac{d^2x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = F(t) \quad (3)$$

Essa seria a equação matemática que modela o sistema do exemplo. Porém, para se realizar a análise computacional desse sistema, será preciso obter a função de transferência (FT) a partir dessa expressão. A FT pode ser obtida pela razão entre a Transformada de Laplace da função de saída pela Transformada de Laplace da função de entrada (FELICIO, 2010). Nesse caso, a função de entrada seria a força externa ($F(t)$) e a função de saída seria o deslocamento ($x(t)$). Ou seja, aplica-se força (impulso) para se verificar o deslocamento (resposta).

Aplicando o cálculo de Laplace na equação e considerando que o problema apresenta condições iniciais iguais a zero, vamos ter a seguinte equação:

$$ms^2X(S) + bsX(S) + kX(S) = F(S) \quad (3)$$

Rearranjando os termos, teremos:

$$G(S) = \frac{X(S)}{F(S)} = \frac{1}{ms^2 + bs + k} \quad (4)$$

A equação (4) é a função de transferência do sistema massa-mola-amortecedor, definida por $G(S)$, e pode ser utilizada nas análises de sistemas de forma computacional. Uma das análises mais realizadas é a chamada impulso-resposta em que uma função $F(S)$ conhecida é aplicada na entrada, e na saída será obtida a função resposta $X(S)$; isso é possível já que: $X(S) = F(S)*G(S)$. A Figura 2 mostra uma representação de como seria esse processo.

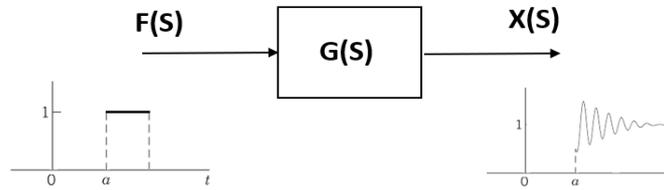


Figura 3: Exemplo do processo de análise por impulso-resposta.
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Sistemas de primeira ordem e sistemas de segunda ordem

Pode-se definir um sistema de primeira ordem como sendo aquele cuja saída $x(t)$ pode ser modelada por uma equação diferencial de primeira ordem. Já um sistema de segunda ordem é aquele modelado com uma equação diferencial de segunda ordem. (FELICIO, 2010).

A equação geral de um modelo de primeira ordem pode ser vista da seguinte forma (5).

$$a \frac{dx(t)}{dt} + bx(t) = cy(t) \quad (5)$$

onde $x(t)$ representa a função de entrada, $y(t)$ a função de saída e a , b e c são constantes. Comumente, as constantes a , b e c são substituídas por K_p e τ_p (FELICIO, 2010). Dessa forma, o modelo pode ser assim enunciado:

$$\tau_p \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = k_p y(t) \quad (6)$$

Essas constantes são chamadas de constante de tempo, no caso de τ_p , e ganho estacionário, no caso de K_p . Elas têm grande influência sobre os sistemas de primeira ordem como pode ser observado nos resultados deste trabalho.

Para se obter a função de transferência de um sistema de primeira ordem, basta aplicar a Transformada de Laplace em ambos os lados da equação do modelo. Nesse caso, teremos a equação (6), como segue:

$$\tau_p s X(S) + X(S) = k_p Y(S) \quad (7)$$

Rearranjando a equação (7), ela será assim representada:

$$G(S) = \frac{X(S)}{F(S)} = \frac{kp}{\tau ps + 1} \quad (8)$$

que é a função de transferência típica de um sistema de primeira ordem.

Já um sistema de segunda ordem pode ser modelado genericamente por uma equação como a vista a seguir:

$$a \frac{d^2x(t)}{dt^2} + b \frac{dx(t)}{dt} + cx(t) = dy(t) \quad (9)$$

que se define, normalmente (NISE, 2012) da seguinte forma:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + 2\xi\omega \frac{dx(t)}{dt} + \omega^2x(t) = k\omega^2y(t) \quad (10)$$

onde ξ é o fator de amortecimento do sistema e ω é a frequência natural de oscilação do sistema. Assim como nos sistemas de primeira ordem, esses parâmetros têm grande influência na resposta dos sistemas.

Do mesmo modo, para se obter a função de transferência de um sistema de segunda ordem, basta aplicar a Transformada de Laplace em ambos os lados da equação do modelo, nesse caso, a equação (10). E assim tem-se:

$$s^2X(S) + 2\xi\omega sX(S) + \omega^2X(S) = k\omega^2Y(S) \quad (11)$$

que rearranjada transforma-se em:

$$G(S) = \frac{X(S)}{Y(S)} = \frac{k\omega^2}{s^2 + 2\xi\omega s + \omega^2} \quad (12)$$

que é a função de transferência típica de um sistema de segunda ordem.

Materiais e métodos

Configuração dos parâmetros gerais do software

O XCOS é um *add-in* do Scilab, ou seja, ele é um editor gráfico para projetar modelos de sistemas híbridos. Esses modelos podem ser projetados, carregados, salvos, compilados e simulados, o que representa solução econômica e eficiente para as necessidades industriais e acadêmicas; ele também fornece funcionalidades para modelagem de sistemas mecânicos (automotivos e aeronáuticos), circuitos hidráulicos (barragens e modelagem de tubos), sistemas de controle, entre outros. O XCOS está disponível gratuitamente e é distribuído juntamente com o Scilab. O site oficial do Scilab contém exemplos específicos para os mais diversos usos dessa ferramenta (SCILAB, 2018).

Além disso, o software pode ser baixado de maneira gratuita. A versão utilizada nesta pesquisa foi a 6.0.2, a última lançada até a data da elaboração deste trabalho.

Após a instalação do software, para sua inicialização, basta encontrar a ferramenta XCOS que aparece em um botão na barra do canto superior esquerdo, como demonstra a Figura 4. Para modelagem de sistemas, é essa a ferramenta que será utilizada.

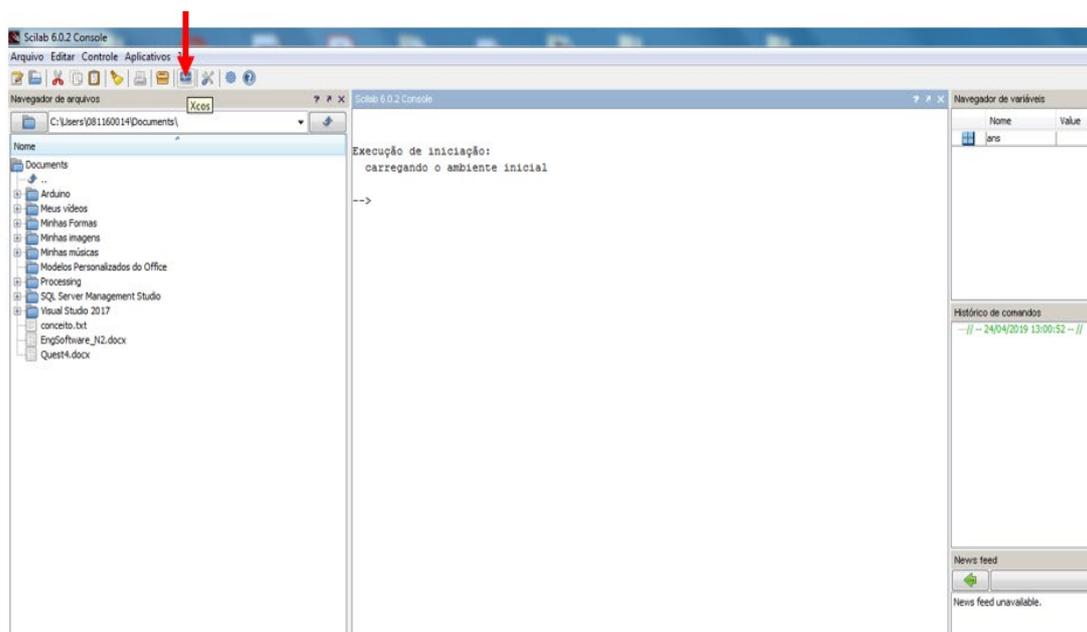


Figura 4: Foto da tela de entrada do software Scilab versão 6.0.2.

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Ao clicar na ferramenta, duas páginas serão abertas, mostrando o navegador de paleta e uma página em branco onde o ambiente será configurado bloco a bloco (figura 5).

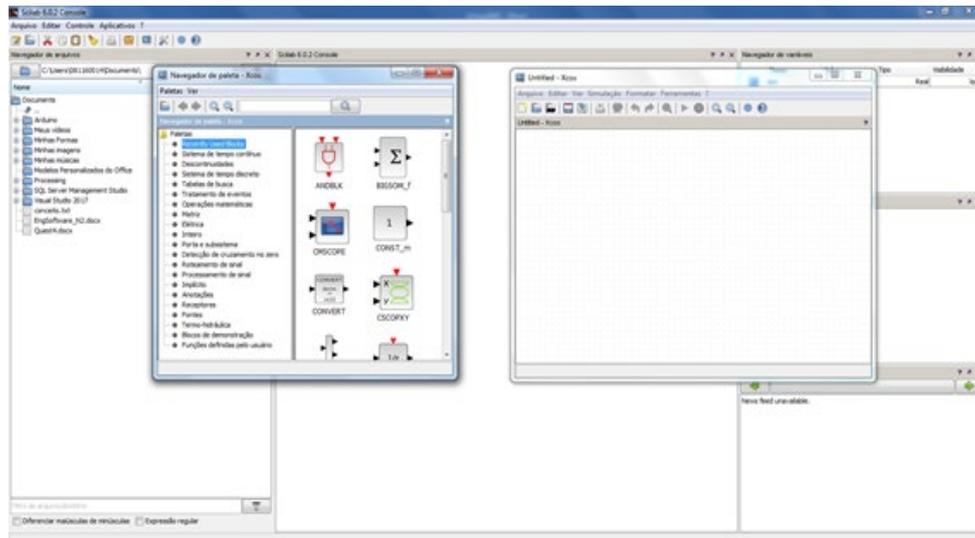


Figura 5: exemplo de tela de edição com a paleta de componentes.
 Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Para levar algum bloco do navegador de paleta para o projeto em branco, basta clicar e arrastá-lo para dentro do espaço vazio. Observe que, para encontrar alguns blocos, existe a funcionalidade da busca por nome. A conexão entre um bloco e outro é feita clicando-se na seta que indica que um atrelamento é permitido. Basta pressionar e arrastá-la até o ponto de entrada de outro componente. Setas que apontam para fora do objeto são saídas, e para dentro, entradas. Na Figura 6, é possível ver um exemplo disso; já na tabela 1, podem ser vistos alguns blocos que são usados de forma recorrente, bem como um resumo de suas funções e configurações.

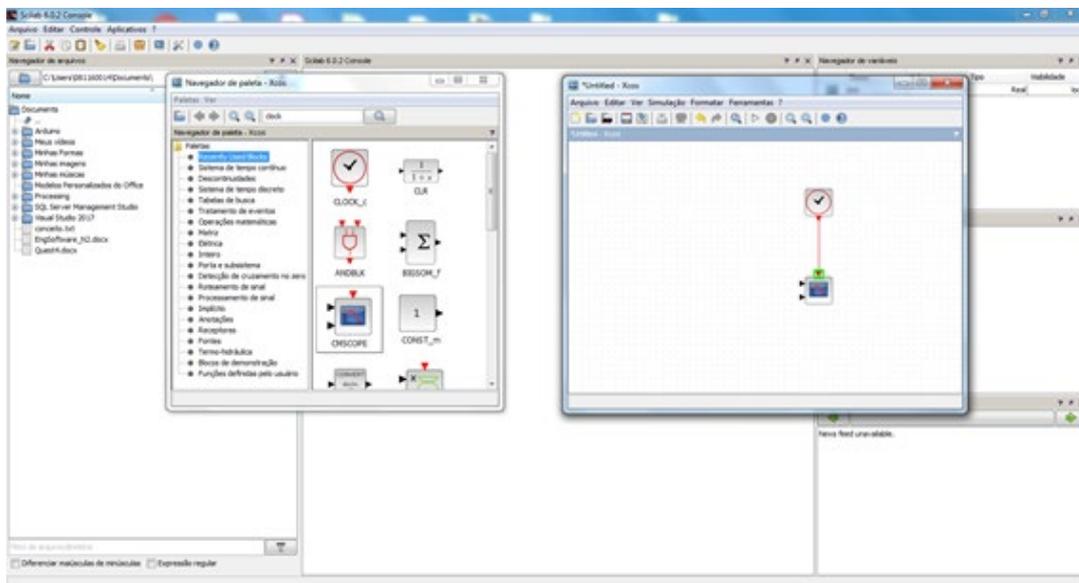


Figura 6: Exemplo de conexão entre blocos.
 Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Tabela 1: Resumo dos componentes mais utilizados no XCOS para simulação e análise de sistemas de primeira e segunda ordem

| BLOCO | FUNÇÃO | CONFIGURAÇÃO |
|---|--|---|
| <p>CLOCK_C</p>  | Utilizado para gerar a base de tempo de amostragem para a geração dos gráficos. | Recomenda-se manter a configuração padrão. |
| <p>CSCOPE</p>  | Capturar a variação de sinais em função do tempo e plotar os gráficos. | Neste bloco, os parâmetros Ymin e Ymáx são referentes ao eixo Y e o “refresh period” diz respeito ao eixo X. Recomenda-se alterar conforme a necessidade. |
| <p>MUX</p>  | Captura dois sinais de fontes diferentes e faz sua multiplexação. Este bloco é útil para mostrar mais de um gráfico ao mesmo tempo em um único CSCOPE. | Recomenda-se manter a configuração padrão. |
| <p>STEP_FUNCTION</p>  | Utilizada para gerar uma função degrau. Normalmente esse tipo de função é utilizado como função impulso. | Pode-se alterar a amplitude do degrau e também o seu valor de início. |
| <p>CLR</p>  | Neste bloco, é colocada a função de transferência do sistema. | Editar a função conforme obtida na modelagem |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Outra configuração importante da ferramenta XCOS é o parâmetro de tempo de integração, que deve estar alinhado com o parâmetro *refresh period* do bloco CSCOPE. A Figura 7 mostra onde esse parâmetro pode ser encontrado em (a) e em (b) e onde ele pode ser alterado.

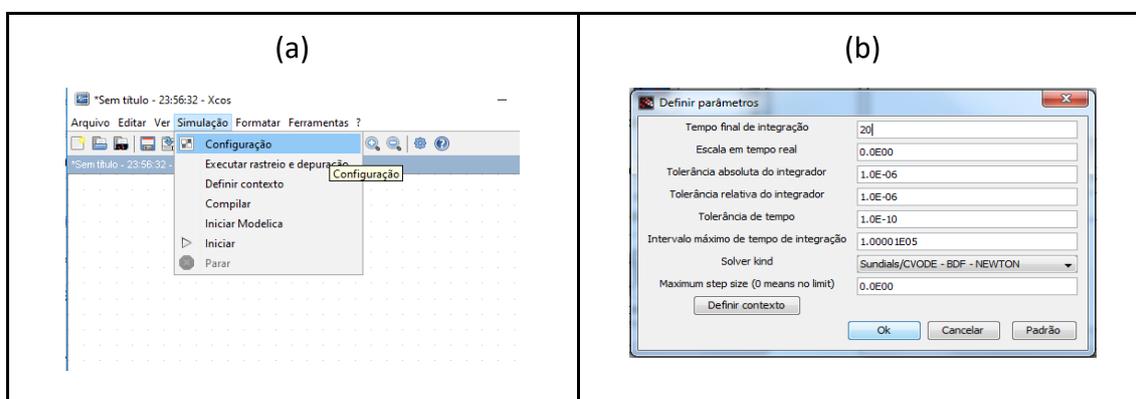


Figura 7: Tela de configuração do parâmetro “tempo final de integração”.

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Montagem para análise de sistemas de primeira ordem

Um sistema de primeira ordem se caracteriza por possuir uma função de transferência derivada de uma equação diferencial de ordem um, como a equação (6). Para simular computacionalmente a resposta de um sistema desse tipo a um impulso de entrada, será preciso construir um diagrama de blocos no XCOS como o apresentado na figura 8. Nele, foram utilizados, basicamente, um bloco CLR para se definir a função de transferência, um bloco STEP_FUNCTION, utilizado como função de entrada e um CSCOPE, destinado a capturar as funções de entrada e de saída. Além desses, pode-se ver os blocos MUX e CLOCK_C, sendo que o primeiro tem por função mostrar os dois gráficos ao mesmo tempo na tela, e o segundo, gerar a base de tempo para a aquisição, como foi descrito na tabela 1.

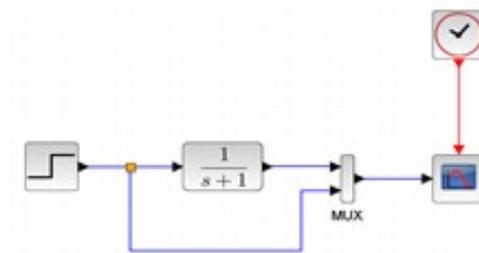


Figura 8: Diagrama de blocos utilizado para simular um sistema de primeira ordem. Nesse exemplo, $K_p = 1$ e $\tau_p = 1$.
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Os valores simulados para este sistema estão resumidos na Tabela 2 a seguir. Foram feitos testes com a variação de K_p com τ_p fixo e da variação de τ_p com K_p fixo. As curvas de resposta obtidas podem ser vistas em resultados e discussões.

Tabela 2: Mostra como foram variados os parâmetros K_p e τ_p para as simulações do sistema de primeira ordem.

| <i>Fixo</i> | <i>Variação</i> τ_p | <i>Fixo</i> | <i>Variação</i> K_p |
|-------------|--------------------------|--------------|-----------------------|
| $K_p = 1$ | $\tau_p = 0,1$ | $\tau_p = 1$ | $K_p = 0,1$ |
| | $\tau_p = 0,5$ | | $K_p = 1$ |
| | $\tau_p = 1$ | | $K_p = 2$ |
| | $\tau_p = 1,5$ | | $K_p = 1,5$ |
| | $\tau_p = 2$ | | $K_p = 2$ |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Montagem para análise de sistemas de segunda ordem

Um sistema de segunda ordem se caracteriza por possuir uma função de transferência derivada de uma equação diferencial de ordem dois. Para simular computacionalmente a resposta de um sistema desse tipo a um impulso de entrada, será preciso construir um diagrama de blocos no XCOS como o da Figura 9. Nele, foram utilizados, basicamente, os mesmos blocos aplicados na simulação do sistema de primeira ordem, porém agora a função de transferência em CLR muda.

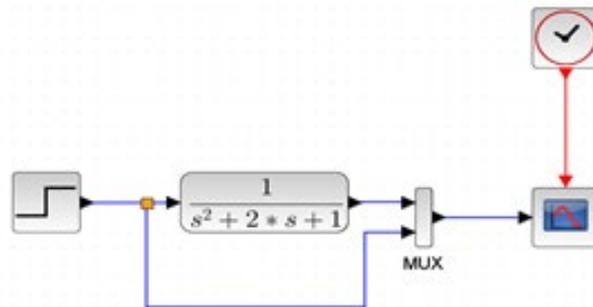


Figura 9: Diagrama de blocos utilizado para simular um sistema de segunda ordem. Nesse exemplo, $\omega = 1$, $K_p = 1$ e $\xi = 1$.
Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Tabela 3: Mostra como foram variados os parâmetros ω , K_p e ξ para as simulações do sistema de segunda ordem.

| Fixo | Variacão ξ | Fixo | Variacão ω |
|--------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------------|
| $\omega = 1$ | $\xi = 0.1$ | $\omega = 1$ | $\omega = 0.1$ |
| | $\xi = 0.5$ | | $\omega = 0.5$ |
| | $\xi = 1$ | | $\omega = 1$ |
| | $\xi = 1.5$ | | $\omega = 1.5$ |
| | $\xi = 2$ | | $\omega = 2$ |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Podem ser definidos quatro tipos de respostas de sistemas de segunda ordem a partir da variação dos valores do fator de amortecimento (NISE, 2012): se $\xi > 1$, o sistema é definido como superamortecido; se $\xi = 1$, tem-se um sistema criticamente amortecido; se $0 < \xi < 1$, o sistema é denominado subamortecido e, por fim, se $\xi = 0$, o sistema é conhecido como não amortecido. Na próxima seção, são mostradas curvas obtidas para essas quatro situações; para esta análise foram utilizados os valores constantes da Tabela 4, destacada logo a seguir.

Tabela 4: Valores utilizados para simular os diferentes tipos de respostas de um sistema de segunda ordem

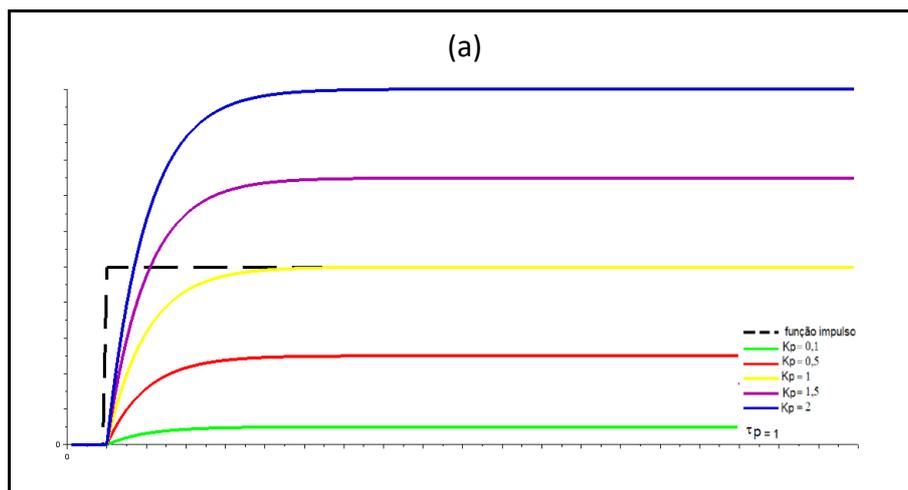
| Fixo | Variação ξ | Tipo de resposta |
|--------------|----------------------------------|-------------------------|
| $\omega = 1$ | $\xi = 0$ | Não amortecido |
| | $\xi = 0,2$ | Subamortecido |
| | $\xi = 1$ | Criticamente amortecido |
| | $\xi = 1,5$ | Superamortecido |

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Resultados e discussões

Análise dos sistemas de primeira ordem

A partir dos parâmetros mostrados na tabela 2, foi possível obter a variação das curvas de respostas variando-se K_p com τ_p fixo e τ_p com K_p fixo. Os resultados são apresentados na figura 10. É possível notar que, com o aumento de K_p , houve uma maior intensidade do sinal de resposta. Isso era esperado, já que o ganho é o parâmetro que define a intensidade do sinal de resposta (ver Figura 10(a)). Já com o aumento de τ_p houve um tempo maior para a curva de resposta alcançar a curva de impulso em intensidade. Isso também era esperado, uma vez que a constante de tempo define o momento de chegada à curva de impulso pela curva de resposta (ver figura 10(b)).



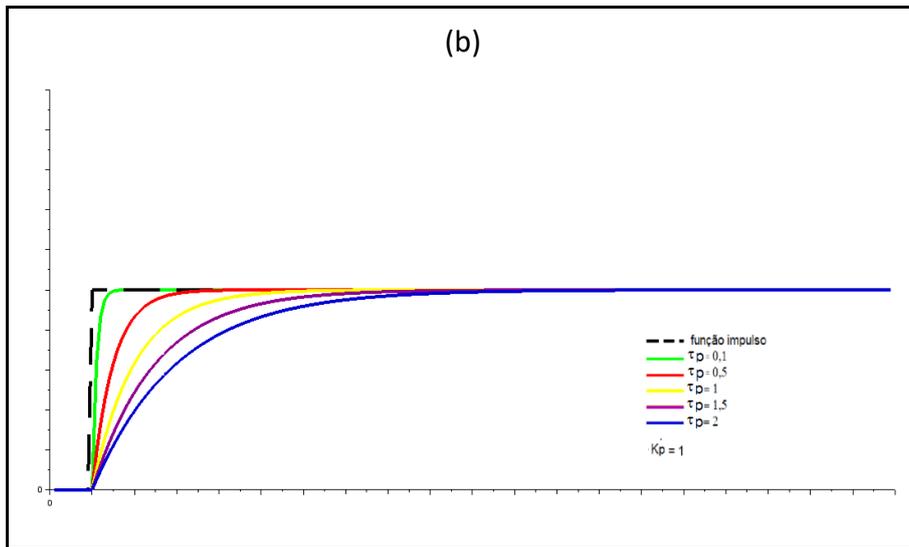
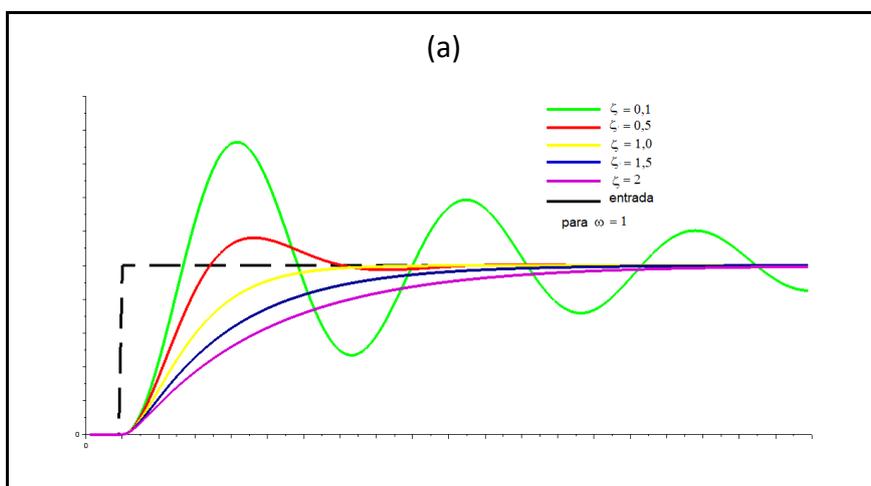


Figura 10: Em (a) é possível ver a variação da curva de resposta conforme K_p é modificado, e em (b) tem-se a variação da resposta com a variação de τ_p .
 Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Análise dos sistemas de segunda ordem

A partir dos parâmetros vistos na Tabela 3, foi possível obter a variação das curvas de respostas variando-se ξ com ω fixo, e também ω com ξ fixo. Os resultados são apresentados na Figura 11. É possível notar nessa figura que aumentando-se o fator de amortecimento (ξ) ocorre uma diminuição na oscilação do sistema. Já em (b) é possível notar um aumento no tempo de chegada à resposta à medida que a frequência natural (ω) é amplificada.



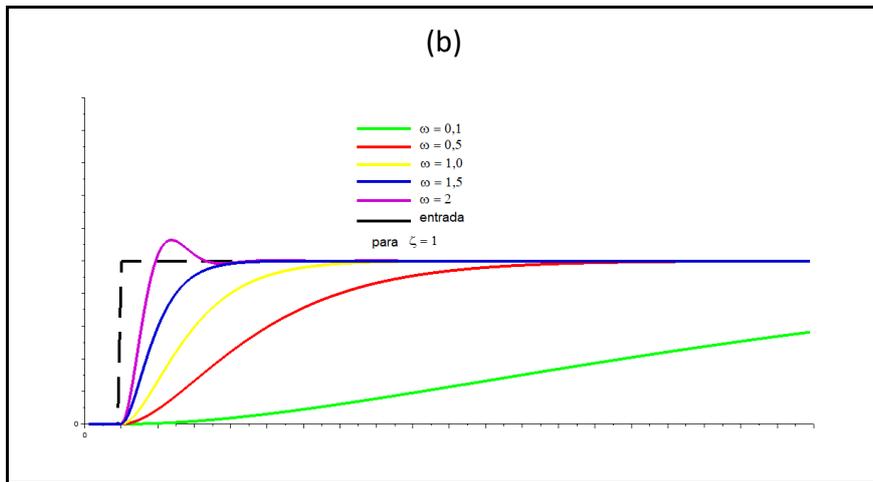


Figura 12: Em (a) é possível ver a variação da curva de resposta conforme ζ é modificado, e em (b) tem-se a variação da resposta com a variação de ω .

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

As curvas da Figura 13 representam as repostas para os sistemas de segunda ordem: não amortecido, subamortecido, criticamente amortecido e superamortecido, obtidas para as faixas de ζ demonstradas na seção anterior.

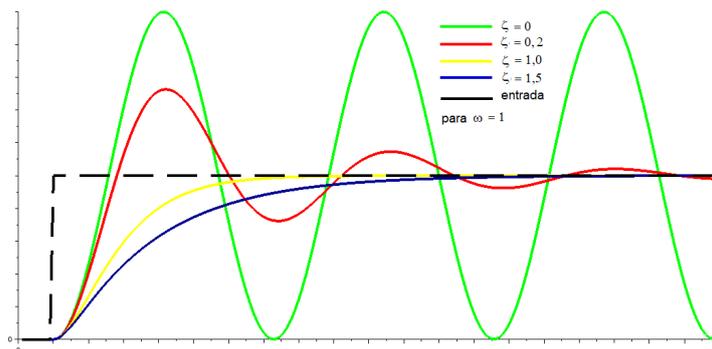


Figura 13: Mostra as diferentes repostas obtidas a partir da variação de ζ .

Fonte: Elaboração dos autores (2019)

Considerações finais

O estudo dos sistemas dinâmicos é parte integrante dos cursos de engenharia em diversas universidades e faculdades. Tendo isso como ponto de partida, faz-se necessário o uso de um software para modelar esses sistemas. O Scilab mostrou-se, neste trabalho, uma alternativa viável para ser utilizado na modelagem e simulação dos sistemas de primeira e de segunda ordem.

Foi possível mostrar qual o procedimento de configuração dos parâmetros da ferramenta XCOS que devem ser alterados para que ela seja utilizada de forma adequada. Em seguida, através do

levantamento das curvas, ficou demonstrado como os parâmetros K_p e τ_p influenciam os sistemas de primeira ordem, como os parâmetros ξ e ω afetam um sistema de segunda ordem e como obter os diferentes tipos de resposta para esse sistema. Além disso, outros tipos de simulações podem ser feitos, como por exemplo, análise do algoritmo PID, como já foi apresentado em outros trabalhos (RUIZ, 2018).

A partir dos resultados referentes às simulações e à modelagem, podemos afirmar que o Scilab, mesmo sendo gratuito, se equivale a softwares proprietários tais como o MatLab, quando utilizado para análise das respostas dos sistemas dinâmicos de primeira e de segunda ordem. Além disso, sua usabilidade simplificada facilita a sua implementação para esse fim.

Referências

AMARAL, T.R., LEITE, N.M.G., LADEIA, V.F.A.C., CARVALHO, R.S., *Modelagem e simulação de sistemas dinâmicos com o Scilab/Xcos: um caderno didático*, Anais do 6º Simpósio Hipertexto e Tecnologias na Educação, Pernambuco, 2015.

ESI GROUP. Disponível em: <https://www.esi-group.com/>. Acesso em 30 setembro de 2019

FELICIO, L.C.. *Modelagem da dinâmica de sistemas e estudo da resposta*. São Paulo: Rima, 2010

FILHO, P.T.S., CARVALHO, M.O.M., VILLA, C.V.S., *Utilização de ferramenta computacional para o ensino da dinâmica em engenharia mecânica*, Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Curitiba, 2007.

HALLIDAY, D., RESNICK, R., *Fundamentos de física 1 - Mecânica*, 10ªed. São Paulo: LTC, 2016

MARCHETTO, R., *Utilização do software MATLAB como recurso tecnológico de aprendizagem na transformação de matrizes em imagens*. Florianópolis: Revemat, 2016.

MARIANI, V.C., PRETO, T.M., GUEDES, A.L.P., *Utilização do maple, matlab e scilab nos cursos de engenharia*, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Campina Grande, 2005

NISE, N. S. *Engenharia de sistemas de controle*. 6a. ed. São Paulo: LTC, 2012.

OGATA, K. *Engenharia de controle moderno*. 5a. ed., Pearson, São Paulo, 2011.

RUIZ, I.F., YAMASITA, R.K., *Estudo de controladores PID utilizando arduino uno conectado ao software scilab*, X Congresso Brasileiro de Iniciação Científica, Santos, 2018

SCILAB. Disponível em: <https://www.scilab.org/>. Acesso em 31 maio de 2019

TAMAYO, F.J., CANU, M., DUQUE, M., *Didactic engineering applied to control system learning: equilibrium and stability concepts in the ball and beam experiment*. Researchgate, 2015.



Mancais magnéticos: conceito e aplicações

Magnetic bearings: concept and application

Rogério Issamu Yamamoto (rogerio.yama@gmail.com)
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo (USP) e professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

Marco Antonio Fumagalli (fumagallimarcoantonio@gmail.com)
Doutor pelo Institute of Robotics da Eidgenössische Technische Hochschule – ETH – Zurique e professor da Faculdade de Tecnologia Termomecânica (FTT).

**Engenharia de
Controle e Automação**

FTT Journal of Engineering and Business. •
SÃO BERNARDO DO CAMPO, SP

NOV. 2019 • ISSN 2525-8729

Submissão: 11 fev. 2019. **Aceitação:** 2 ago. 2019

Sistema de avaliação: às cegas dupla (*double blind review*).

FACULDADE TECNOLOGIA
TERMOMECANICA, p. 95-108

Resumo

Atualmente, o crescimento tecnológico está em ampla evolução; por outro lado, há uma busca generalizada por máquinas com novos requisitos, como por exemplo, a sustentabilidade. Dessa forma, os novos sistemas têm como objetivo aumentar o desempenho das máquinas produzidas, reduzindo suas perdas energéticas. Nesse cenário, novas tecnologias vêm sendo aplicadas às máquinas e dispositivos, como os mancais magnéticos, que são capazes de sustentar o rotor através da aplicação de forças magnéticas, dessa forma evitando o contato entre o rotor e o mancal, conseqüentemente reduzindo as perdas devido ao atrito. Com a levitação do rotor, também é possível reduzir significativamente seu desgaste, aumentando a vida útil do sistema assim como o seu desempenho. Com o intuito de promover a difusão do conhecimento acerca dos mancais magnéticos, este trabalho tem o propósito de apresentar o conceito por trás desses mancais, incluindo suas aplicações atuais e seu estado de arte, buscando assim o desenvolvimento de novas aplicações ou tecnologias de levitação magnética.

Palavras-chave: Mancais magnéticos. Aplicações. Sustentabilidade.

Abstract

Nowadays, the expansion of the technology increases the search for new requirements, such as sustainability. Therefore, the new systems have to increase the machine performance, reducing the energy losses. In this scenario, new technologies have been applied on machines and devices, like the magnetic bearings, which are capable of sustaining the rotor through magnetic forces, therefore avoiding contact between the rotor and the bearings, and consequently reducing the friction losses. The levitation of the rotor also allows a significantly reduction of the rotor wear, increasing the system's life cycle as well as its performance. In order to promote the diffusion of knowledge about the magnetic bearings, this paper aims to present the concept behind these bearings, including their current applications and its state of art, thus seeking the development of new applications or technologies of magnetic levitation.

Keywords: Magnetic bearings. Application. Sustainability.

Introdução

Mancais são elementos de máquinas responsáveis por posicionar e suportar as cargas sobre o rotor, gerando o mínimo de resistência para a sua rotação. O mancal de deslizamento representa a configuração mais simples de mancal mecânico e utiliza basicamente forças de contato entre sólidos para sustentar o rotor na posição desejada.

Porém, nesse tipo de mancal ocorre o atrito entre rotor e mancal, que gera uma resistência indesejada à rotação. Por esse motivo, outra configuração foi proposta, na qual foram utilizados elementos rolantes entre o rotor e a parte fixa do mancal. Com isso, foi possível reduzir o atrito entre o rotor e o mancal. Esses são os chamados mancais de rolamentos (BUDYNAS & NISBETT, 2011).

Posteriormente, tentando reduzir ainda mais o atrito, buscou-se usar fluidos entre a parte móvel e a fixa do mancal, gerando assim a configuração hidrodinâmica, em que uma camada de óleo é utilizada no lugar dos elementos rolantes do mancal de rolamento, o que permitiu reduzir ainda mais o atrito (BUDYNAS & NISBETT, 2011).

Percebe-se, portanto, a busca da engenharia em reduzir o atrito dos mancais sem comprometer o seu funcionamento. Por essa razão, foi proposto o uso da força de campos magnéticos ao invés das forças de contato. Dessa forma, os mancais não teriam atrito e nem desgaste. Seguindo esse princípio, foram desenvolvidos os mancais magnéticos.

Mancais magnéticos

Os mancais magnéticos são aqueles que utilizam forças magnéticas ao invés de forças de contato. Consequentemente, o rotor levita sem contato com o mancal. Diferentemente do mancal mecânico, existem diversas formas de gerar a força de levitação magnética, dentre as quais se destacam: a levitação por ímãs permanentes, a levitação eletrodinâmica, a levitação supercondutora e a levitação eletromagnética (SCHWEITZER, 2009).

A levitação por ímãs permanentes ocorre através das interações entre ímãs desse tipo para gerar as forças de levitação magnética, ou seja, as forças de atração ou repulsão são responsáveis por gerar as forças que vão sustentar o rotor, como pode ser visto na figura 1, que apresenta diferentes configurações de ímãs permanentes para sustentar radialmente rotores (YONNET, 1978).

A grande vantagem desse tipo de mancal é sua simplicidade construtiva, pois, basicamente, ele é constituído de dois ímãs permanentes: um fixado no rotor e outro na parte fixa do mancal. Com o advento de materiais como o neodímio ou samário, é possível produzir campos magnéticos elevados apenas utilizando ímãs permanentes (YAMAMOTO, 2017).

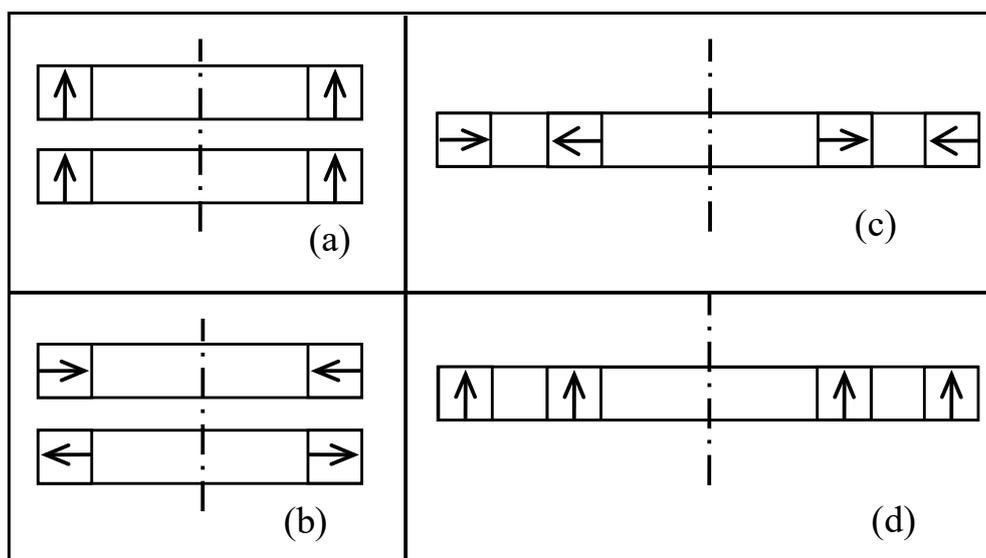


Figura 1: Quatro configurações básicas de mancais radiais magnéticos que utilizam ímãs permanentes – (a) e (b) modelos por atração e (c) e (d) por repulsão.

Fonte: Retirado do artigo de Yonnet (1978)

A levitação por ímãs permanentes apresenta um empecilho ao ser aplicada, pois não é possível estabilizar o rotor com 3 graus de liberdade apenas com essa estratégia. Por esse motivo, esse tipo de levitação vem sendo utilizado em conjunto com outras estratégias.

Um exemplo dessa combinação é proposto por Pavani (2015), que acoplou o mancal magnético a um mancal axial mecânico. Esse tipo de mancal híbrido utiliza uma esfera para estabilizar axialmente o rotor, como apresentado no esquema da Figura 2, gerando o mínimo de resistência à rotação.

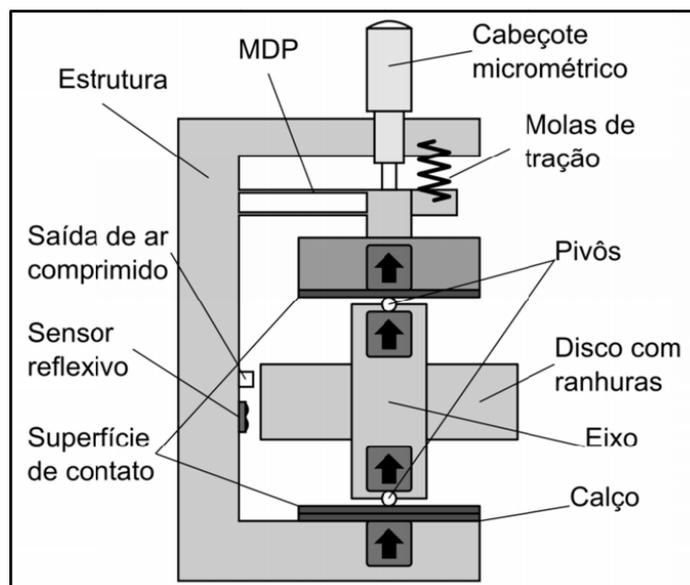


Figura 2: Esquema do mancal magnético e mecânico proposto por Pavanni (2015).
 Fonte: Retirado da dissertação de Pavani (2015)

A segunda estratégia, a levitação eletrodinâmica, utiliza o princípio da indução eletromagnética para gerar as forças de levitação. Por exemplo, suponhamos um disco feito de material condutor e que, próximo a ele, exista um ímã permanente fixado por um braço como mostra a figura 3 (LOPES, 2004).

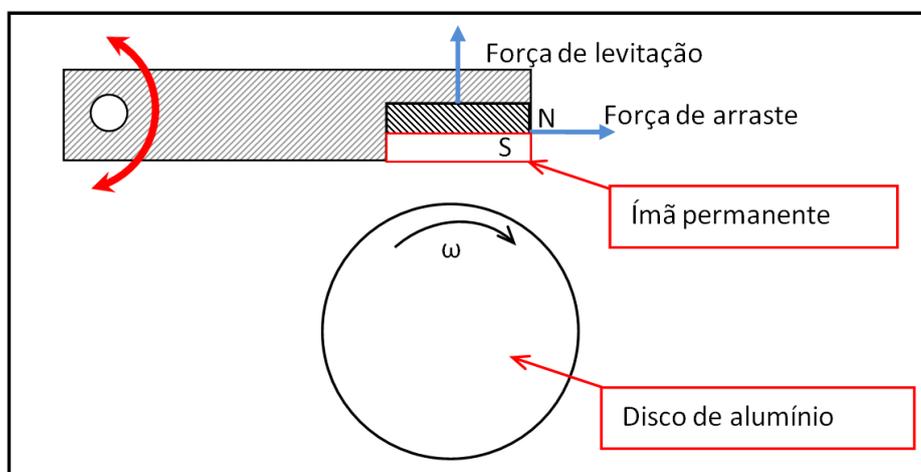


Figura 3: Esquema da levitação eletrodinâmica.
 Fonte: Adaptado da dissertação de Lopes (2004)

Considerando que o disco de alumínio está em rotação em torno de seu eixo, a aproximação do ímã permanente altera o fluxo magnético que atravessa o disco condutor. Devido a essa variação do fluxo magnético, uma corrente elétrica é induzida no disco, que gera um segundo campo magnético, repelindo o campo magnético produzido pelo ímã permanente, o qual, por sua vez, vai criar uma força de levitação (LOPES, 2004).

Portanto, a força de levitação é gerada devido à variação do campo magnético que atravessa o condutor. Essa variação pode ser obtida de duas formas: através do movimento relativo entre

condutor e o campo magnético ou criando um campo magnético que varia com o tempo, como por exemplo, um campo gerado por um eletroímã (CHEN *et. al.*, 2009).

Segundo Lopes (2004), a força de levitação tem uma relação direta com a frequência de variação do campo magnético que atravessa o material condutor, de forma que, quanto maior a frequência de variação do fluxo magnético, maior será a força de levitação e menor será a força de arraste, como está apresentado no gráfico da Figura 4.

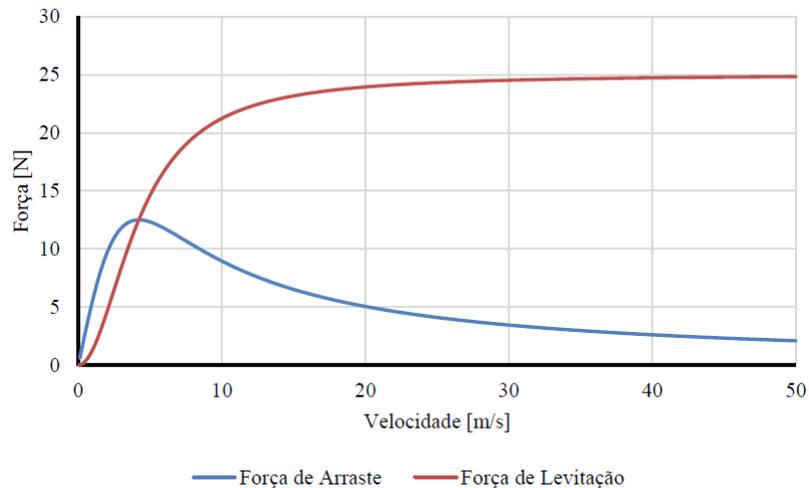


Figura 4: gráfico do comportamento das forças na levitação eletrodinâmica.
Fonte: Adaptado da dissertação de Lopes (2004)

Essa estratégia permite estabilizar 3 graus de liberdade, porém, como foi descrito, existe uma limitação para sua aplicação, que seria a frequência de variação do campo magnético, ou seja, para se obter uma elevada força de levitação é necessário que exista uma elevada frequência de variação do campo magnético. Portanto, é necessária uma alta rotação do rotor ou uma frequência de variação do campo magnético para que esse mancal funcione adequadamente.

A terceira estratégia, a levitação supercondutora, recebe esse nome devido ao uso da propriedade supercondutora. Essa propriedade está presente em alguns materiais quando mantidos em temperaturas baixas, por volta de 100 K, o que reduz significativamente a sua resistência elétrica; através do efeito Meissner-Oschensfeld, os materiais supercondutores conseguem repelir campos magnéticos que atravessam o interior desse material, como pode ser visto no esquema apresentado na figura 5 (CALLISTER, 2002).

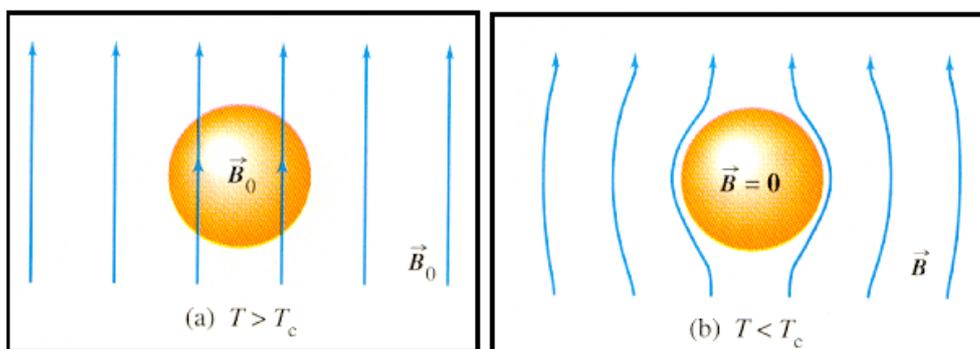


Figura 5: (a) Material supercondutor acima da temperatura crítica e (b) material supercondutor abaixo da temperatura crítica (T_c).

Fonte: Retirado do livro do Callister (2002)

Essa estratégia é capaz de produzir levitação de forma estável com 5 graus de liberdade, ou seja, é possível fazer o rotor levitar de forma estável, suportando as forças radiais, axiais e as duas inclinações indesejadas, mantendo apenas um movimento possível que é a rotação do rotor sem atrito, pois não há contato entre o rotor e o mancal, como foi proposto por Ichihara *et. al.* (2005).

Por fim, tem-se a levitação eletromagnética, que utiliza o campo magnético gerado por um eletroímã, porém diferente da levitação por ímãs permanentes. Nesse tipo de levitação, é possível controlar a força de levitação monitorando a corrente elétrica que atravessa o eletroímã. Para isso, é necessário utilizar um sistema de controle em malha fechada, como é ilustrado na figura 6 (SCHWEITZER, 2009).

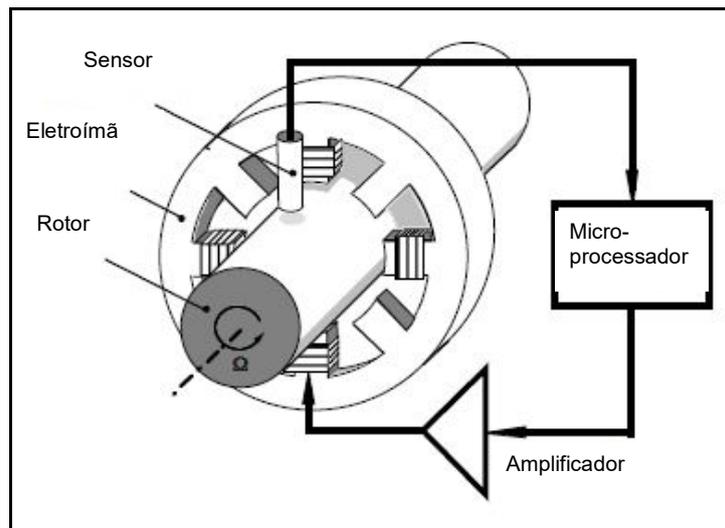


Figura 6: Esquema do princípio de funcionamento de um mancal eletromagnético radial para o controle de um grau de liberdade de um rotor.

Fonte: Adaptado do artigo de Schweitzer (2009)

A figura 6 mostra o funcionamento básico dessa estratégia de levitação, em que um sensor mede a posição do rotor. Baseado nessa medição, o controlador determina a intensidade da corrente elétrica sobre os eletroímãs, controlando dessa forma a força magnética sobre o rotor. Devido ao sistema de controle, é possível obter uma levitação estável com 5 graus de liberdade, pois mesmo que o eletroímã interaja com um ímã permanente, será possível estabilizar a levitação devido ao sistema de controle.

Pesquisas em mancais magnéticos

As pesquisas em mancais magnéticos buscam melhorar seu desempenho e eficiência para aumentar a aplicabilidade desses componentes. Com esse objetivo, os estudos feitos seguiram duas vertentes: a melhoria da estratégia de levitação e a busca em unificar duas ou mais estratégias de levitação.

As pesquisas que visam melhorar as estratégias de levitação apresentam os seguintes objetivos:

- A tentativa de aumentar a força de levitação gerada pela interação de ímãs permanentes. Entre essas pesquisas, tem-se a configuração *halbach*, que aumenta o campo magnético gerado pelos ímãs permanentes (PAVANI, 2015).
- A busca de novos materiais que possuam propriedade supercondutora em temperaturas mais altas e com melhorias no sistema de refrigeração (ARSÉNIO *et. al.*, 2018).
- Novas técnicas de controle visando aumentar o desempenho dos mancais magnéticos (NOSHADI *et. al.* 2015).

As pesquisas de unificação das estratégias de levitação buscam desenvolver mancais magnéticos com duas ou mais dessas estratégias para melhorar o desempenho de cada uma delas.

Por exemplo, o mancal proposto por Silva (2005) unifica a levitação de ímãs permanentes com a levitação eletromagnética; assim o rotor é sustentado radialmente por ímãs anelares trabalhando em atração, e para estabilizar a direção axial utiliza-se a levitação eletromagnética. Dessa forma, é possível estabilizar os 5 graus de liberdade com um sistema simplificado em relação à levitação usando apenas eletromagnetismo, como mostra a Figura 7.

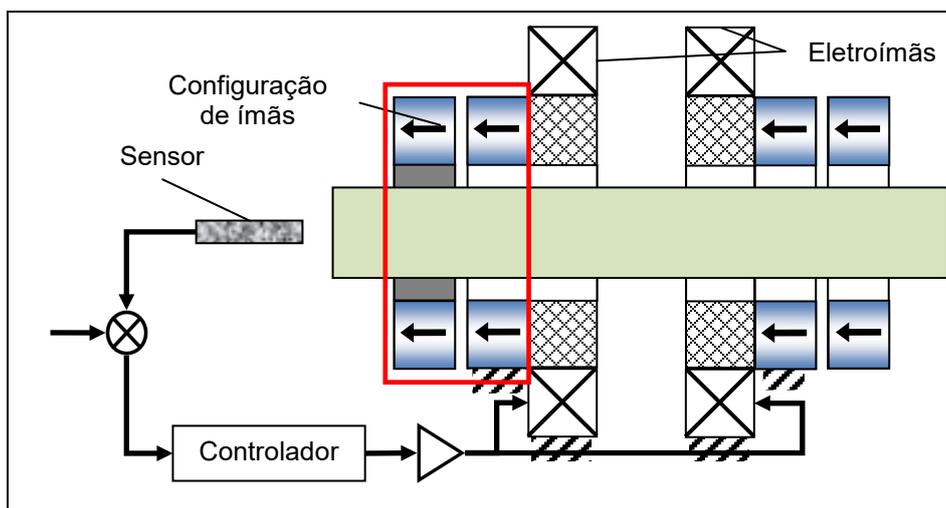


Figura 7: Esquema do mancal híbrido proposto por Silva (2005).
Fonte: Adaptado do artigo de Silva (2005)

Outro exemplo é o mancal proposto por Minami *et. al.* (2016), que realiza um estudo comparativo entre um mancal híbrido supercondutor de ímãs permanentes e um mancal puro supercondutor, mostrando as vantagens de se utilizar uma arquitetura híbrida para se obter uma rigidez maior e reduzir os efeitos da vibração.

Outra proposta que busca unificar as estratégias de levitação é apresentada por Yamamoto (2017), em que se buscou um mancal magnético híbrido com três estratégias de levitação. Sua proposta unificou a levitação radial com ímãs permanentes obtendo uma levitação eletromagnética para garantir a estabilidade com 5 graus de liberdade. Com o intuito de fornecer amortecimento passivo ao sistema, foi aplicado um mancal eletrodinâmico. O protótipo desenvolvido está representado na figura 8. Ele apresentou amortecimento radial contra impactos radiais, aumentando a estabilidade do mancal magnético.

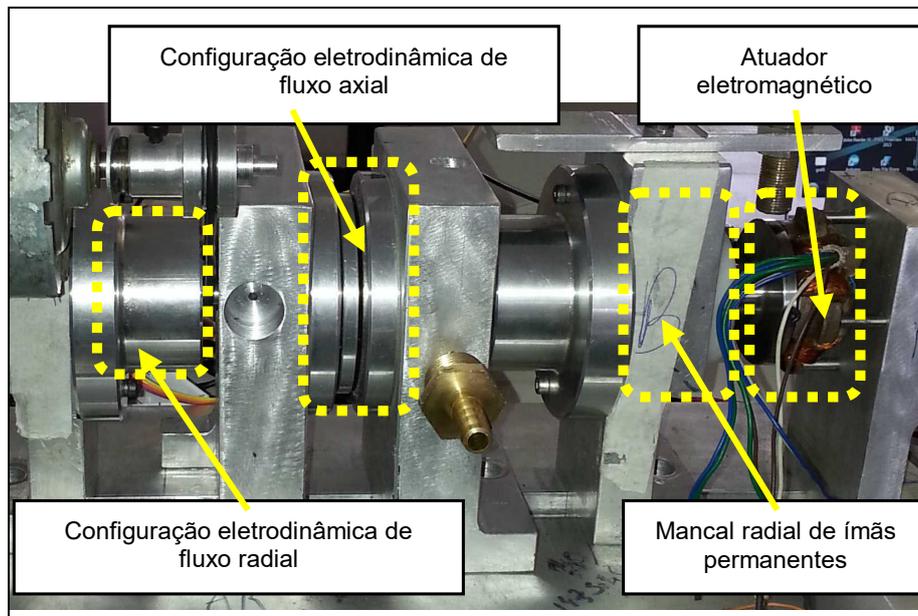


Figura 8: Foto do mancal magnético híbrido proposto por Yamamoto (2017).
 Fonte: Retirado da tese de Yamamoto (2017)

De acordo com o que foi apresentado, as pesquisas de mancais magnéticos buscam aumentar o desempenho desses componentes visando ampliar a sua gama de aplicações e até mesmo gerar novas aplicações.

Mancais magnéticos: aplicações e inovação

Dentre as diferentes aplicações dos mancais magnéticos, podem ser citadas as que estão em fase de pesquisa como o desenvolvimento do trem maglev, que utiliza a levitação magnética para sustentar os vagões. Ele é movido por um motor magnético linear; devido à ausência de contato com os trilhos, ele move-se com um gasto mínimo de energia (SOTELO et. al., 2015; LANZARA et. al., 2014). Um protótipo do maglev é apresentado na Figura 9 e está sendo desenvolvido para ser utilizado no transporte de pessoas em larga escala.

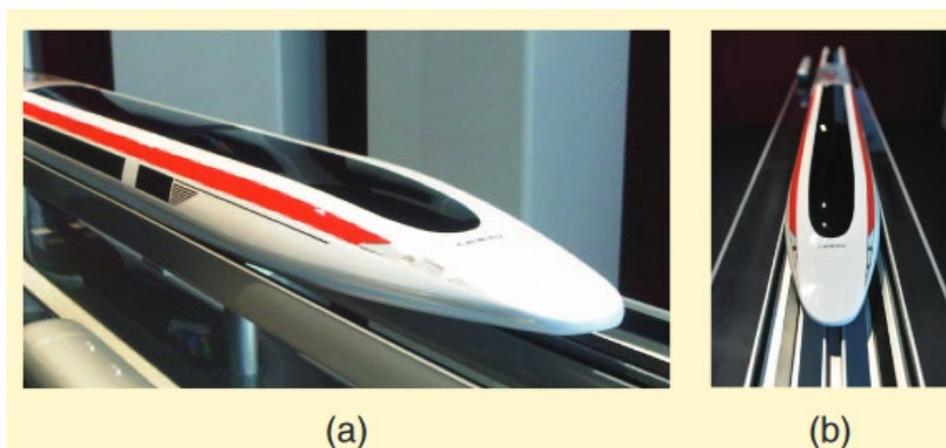


Figura 9: Protótipo do maglev.
 Fonte: Retirado do artigo de Lanzara (2014)

Além do sistema de transporte, pode ser mencionado o Dispositivo de Assistência Ventricular (DAV), comumente chamado de “coração artificial”. Horikawa *et. al.* (2008) propõem o desenvolvimento de uma bomba cujo rotor levita graças aos mancais magnéticos, como mostra o esquema da figura 10.

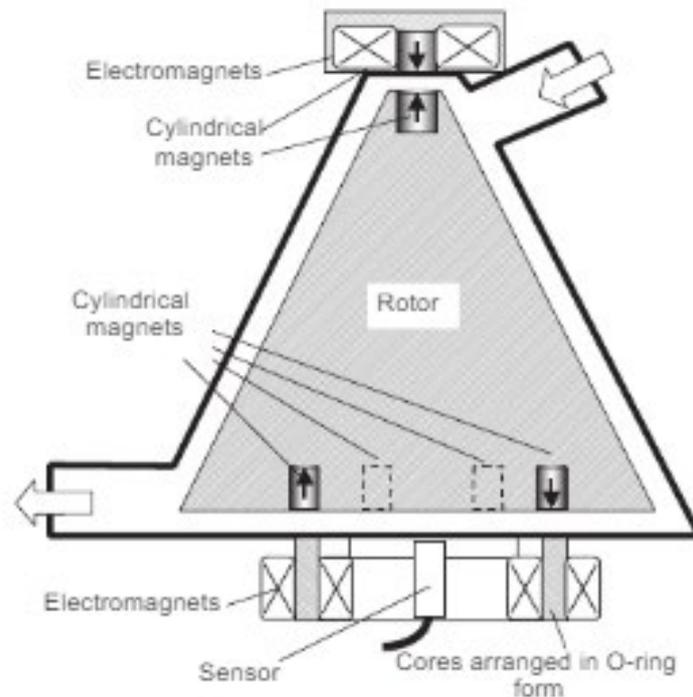


Figura 10: DAV proposto por Horikawa *et. al.* (2008)
Fonte: Retirado do artigo de Horikawa *et. al.* (2008)

Essa bomba é utilizada para promover o bombeamento do sangue em paralelo com o coração, reduzindo o seu esforço e possibilitando a recuperação do órgão. A maior vantagem do mancal magnético neste caso é reduzir a ocorrência de danos às células sanguíneas. (HORIKAWA, *et. al.*, 2008).

Outra possível aplicação dos mancais magnéticos é em baterias eletromecânicas, também chamadas de “flywheel”, que são capazes de armazenar energia cinética transformando-a em eletricidade quando necessário (RAGHEB, 2013; NGUYEN *et. al.*, 2008).

A constituição básica de uma bateria eletromecânica é baseada em um rotor com um volante de massa acoplado; estando ele em rotação, armazena energia cinética e, através de um gerador, transforma a rotação em energia elétrica.

A aplicação de mancais magnéticos permitiu ao flywheel aumentar a sua rotação, ampliando a potência armazenada, chegando a superar inclusive baterias de NiMH, que são utilizadas em carros híbridos. Na Figura 11, temos um flywheel para elevadas rotações (GERADA *et. al.*, 2014).

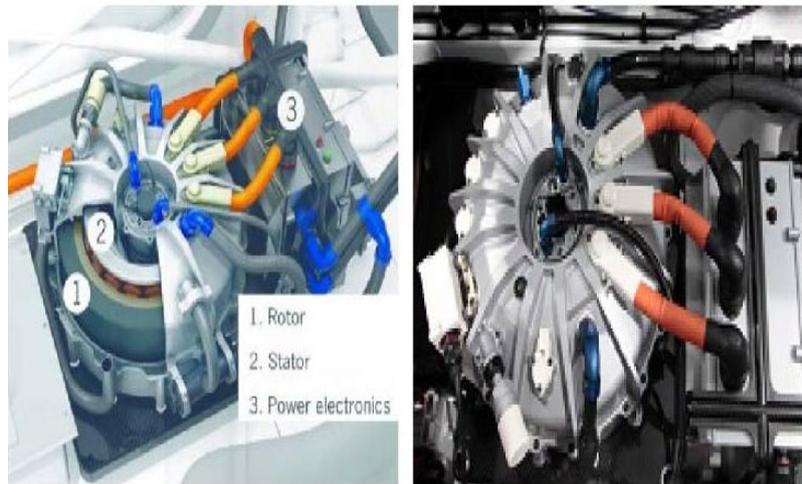


Figura 11: *Flywheel* para elevadas rotações (Williams Hybrid Power)
 Fonte: Retirado do artigo de Gerada *et. al.* (2014)

Devido à ausência de contato, e contando com uma rotação elevada, os mancais magnéticos são comumente aplicados em sistemas como as bombas turbomoleculares, que trabalham sob elevadas rotações, próximo de 100.000 rpm. Essas bombas são utilizadas para gerar e manter alto vácuo, cerca de 10^{-10} mbar, e precisam trabalhar a vácuo. Nesse cenário, a aplicação de mancais magnéticos permite uma levitação no vácuo sem a necessidade de lubrificantes ou outros contaminantes (GERADA *et. al.*, 2014).

Outra aplicação em que se deseja eliminar completamente os lubrificantes é na área de compressores de gás, pois o uso de reduções e mancais mecânicos muitas vezes acarreta a dispersão de lubrificantes junto com o gás comprimido, causando contaminação do sistema, que pode ser grave em aplicações como as das indústrias química e de óleo, ou mesmo na produção de gás. Com o intuito de gerar compressores sem a utilização de óleo, aplicou-se o sistema integrado em que o motor elétrico é acoplado diretamente ao compressor. Utilizando mancais magnéticos, foi possível eliminar completamente a lubrificação. Um comparativo entre os dois sistemas é apresentado na

figura 12.

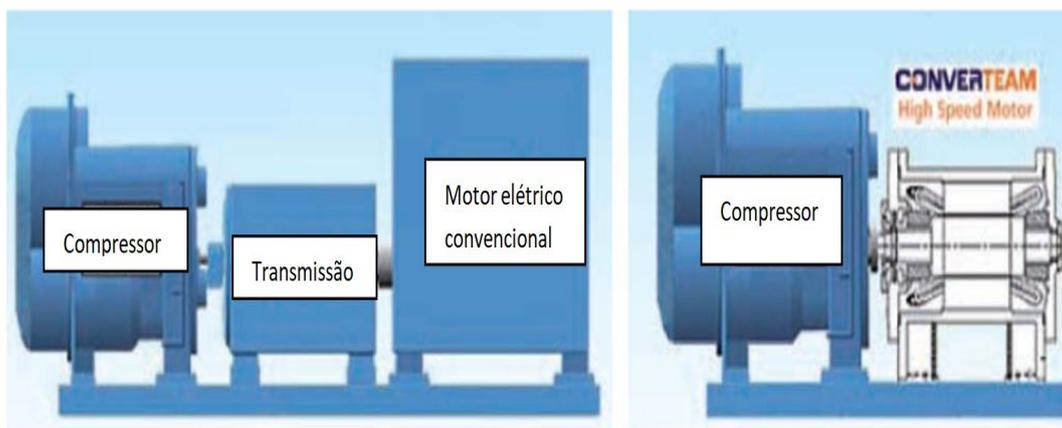


Figura 12: compressor convencional e compressor integrado (livre de óleo)
 Fonte: Retirado do artigo de Gerada *et. al.* (2014)

Além dos compressores e da bomba turbomolecular, os mancais magnéticos podem ser utilizados também em microturbinas, que funcionam através de combustão e podem ter sua eficiência aumentada mesmo que apresentem tamanho reduzido. A busca por tamanhos reduzidos se deve ao aumento do consumo de energia elétrica, exigindo uma maior produção com espaço limitado (GERADA *et. al.*, 2014). O protótipo apresentado na figura 13 demonstra a possibilidade de produzir 50 kW a 80.000 rpm com uma microturbina, que poderia ser usada para carregar as baterias de carros híbridos, representando apenas 5% do tamanho e peso do um motor de pistão com potência equivalente. (GERADA *et. al.*, 2014).



Figura 13: Microturbina de gás de 50 KW a 80.000 rpm (Bladon)
Fonte: Retirado do artigo de Gerada *et. al.* (2014)

Foi possível, portanto, observar algumas aplicações para os mancais magnéticos, e perceber a evolução desse tipo de componente e seus possíveis usos, inclusive em produtos que são considerados inovadores, como o carro híbrido.

Assim, podemos concluir que os mancais magnéticos representam uma linha de pesquisa em desenvolvimento que pode ser destinada tanto para a melhoria de aplicações conhecidas como na exploração de novas utilizações, além do desenvolvimento de mancais melhores e mais eficazes.

Considerações finais

Este artigo teve como objetivo apresentar a linha de pesquisa e o estado de arte de mancais magnéticos, uma vez que essa tecnologia permite aumentar a eficiência de sistemas mecânicos devido à redução de atrito e do desgaste.

Essa tecnologia permite também o desenvolvimento de novas máquinas e sistemas, que podem gerar grandes avanços tecnológicos tais como o trem *maglev*, que propicia um sistema de transporte mais eficiente e veloz, ou mesmo dos DAV (Dispositivos de Assistência Ventricular). Portanto, é importante a divulgação desse tipo de pesquisa para o desenvolvimento de novas propostas de aplicação ou de configurações para melhorar o desempenho desse produto, pois pode representar uma resposta sustentável para novas máquinas e equipamentos.

Referências

- ARSENIO, A., ROQUE, M., CARVALHO, M., CARDEIRA, C., RUI, M., & COSTA BRANCO, P. Implementation of YBCO Superconducting ZFC-Magnetic Bearing Prototype. *IEEE Transactions on Industry Applications*, ago. 2018.
- BUDYNAS, R. G. e NISBETT, J. K. Mancais de rolamento e Lubrificação e mancais de deslizamento. In BUDYNAS, R. G. e NISBETT, J. K., *Elementos de máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica*, Porto Alegre: Editora Mc Graw Hill, 2011, p. 575-674.
- CALLISTER, W. D. Jr. Propriedades Magnéticas: Supercondutividade. In CALLISTER W. D. Jr, *Ciência e Engenharia dos materiais*, Rio de Janeiro: LTC, 2002 p. 475-477.
- CHEN, J. Y.; ZHOU, J. B.; MENG, G.; ZHANG, W. M. Evaluation of Eddy-Current Effects on Diamagnetic Bearings for Microsystems, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, vol. 56, nº4, p. 964-972, abr. de 2009.
- MINAMI, T., SAKAI, S., & OHASHI, S. Improvement of stability against vibration at the mechanical resonance in attractive type HTS-permanent hybrid magnet bearing. *IEEE Region 10 Conference (TENCON)* nov. 2016.
- GERADA D., MEBARKI A., BROWN N. L., GERADA C., CAVAGNINO A. e BOGLIETTI A., High-Speed Electrical Machines: Technologies, Trends, and Developments *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 61, nº 6, jun. 2014.
- HORIKAWA, O.; ANDRADE, A.; SILVA, I.; BOCK, E. *Magnetic Suspension of the Rotor of a Ventricular Assist Device of Mixed Flow Type Artif Organs* 2008; 32:334–7, mai. 2008
- ICHIHARA, T., MATSUNAGA, K., KITA, M., HIRABAYASHI, I., ISONO, M., HIROSE, M. KOSHIZUKA, N. Application of Superconducting Magnetic Bearings to a 10 kWh-Class Flywheel Energy Storage System. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, Vol. 15 Nº 2, pp. 2245–2248, jun. 2005.
- LANZARA, G.; D’OVIDIO, G.; CRISI, F. UAQ4 Levitating Train: Italian Maglev Transportation System. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, v. 9, n. 4, pp. 71–77, dez. 2014.
- LOPES, M. A. *Estudo de um mancal magnético eletrodinâmico* .2004. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
- NGUYEN, TD., TSENG, KJ., ZHANG, S. e ZHANG, C. A Flywheel Cell for Energy Storage System. *Sustainable Energy Technologies*, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference on, vol., no., pp.214-219, 24-27 nov. 2008.
- NOSHADI, A., SHI, J., LEE, W. S., SHI, P., & KALAM, A. Robust control of an active magnetic bearing system using H^∞ and disturbance observer-based control. *Journal of Vibration and Control*, pp. 1857–1870, set. 2015.
- PAVANI, R., A. *Mancal Magnético passivo radial por atração combinado com mancal de escoras*. 2015. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

RAGHEB, M. *Kinetic Energy Flywheel Energy Storage*. Documento disponível em <kineticenergyflywheelenergystorage - Mragheb> acesso em 01 de maio de 2019.

SCHWEITZER, G. Introduction and Survey: Classification of Magnetic bearings. In SCHWEITZER G e MASLEN E. H. *Magnetic Bearings: Theory, Design, and application to Rotating Machinery*. Zürich/Florianópolis e Charlottesville: Springer, 2009, p. 10-15.

SILVA, I. *Mancais Magnéticos Híbridos do tipo atração com controle uniaxial*. 2005. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SOTELO, G. G.; OLIVEIRA, R. A. H. de, COSTA, F. S. *et al.* A Full Scale Superconducting Magnetic Levitation (MagLev) Vehicle Operational Line. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, v. 25, n. 3, jun. 2015.

YAMAMOTO, R. I. *Mancal magnético híbrido do tipo repulsão com controle uniaxial com amortecimento fornecido por mancal eletrodinâmico*. 2017. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

YONNET, J. P., Passive magnetic bearing with permanent magnets. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. MAG-14, nº5, p. 803-805, set. 1978.