

MÉTODOS QUANTITATIVOS

Pesquisa Operacional

Otaviano Francisco Neves
(organizador)

1

VOLUME



Editora Poisson

Otaviano Francisco Neves
(organizador)

Métodos Quantitativos
Pesquisa Operacional
Volume 1

1ª Edição

Belo Horizonte
Poisson
2018

Editor Chefe: Dr. Darly Fernando Andrade

Conselho Editorial

Dr. Antônio Artur de Souza – Universidade Federal de Minas Gerais
Dra. Cacilda Nacur Lorentz – Universidade do Estado de Minas Gerais
Dr. José Eduardo Ferreira Lopes – Universidade Federal de Uberlândia
Dr. Otaviano Francisco Neves – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
Dr. Luiz Cláudio de Lima – Universidade FUMEC
Dr. Nelson Ferreira Filho – Faculdades Kennedy

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M593

Métodos Quantitativos- Pesquisa Operacional
Volume 1/
Organização Otaviano Francisco Neves -
Belo Horizonte - MG : Poisson, 2018
189p

Formato: PDF

ISBN: 978-85-93729-88-1

DOI: 10.5935/978-85-93729-88-1.2018B001

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

1. Métodos Quantitativos 2. Pesquisa
Operacional.3. Estatística I. Neves,
Otaviano Francisco II. Título

CDD-658.8

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

www.poisson.com.br

contato@poisson.com.br

SUMÁRIO

Capítulo 1: Simulação de Controle de Rota de Ônibus pelo Método Analítico para Otimização de Percurso **6**

Iago Lucas de Oliveira Leão Teixeira, Vitor Gomes Afonso, Hércules André da Costa e Silva, Walter Charles Sousa Seiffert Simões, Lúcia Helena de Oliveira Leão Teixeira

Capítulo 2: A aplicação do Problema do Caixeiro Viajante para solução de um problema logístico de roteirização **16**

Jandrei Sartori Spancerski, Silmar Antonio Lunkes, Tiago Luiz Strapasson, Micheli Ferreira

Capítulo 3: Utilização de técnicas de mineração de dados na análise de aspectos sobre o comportamento do mosquito Aedes Aegypti **27**

Julio Cezar Negri Ramos, Elias Rocha Gonçalves Júnior, Virgínia Siqueira Gonçalves

Capítulo 4: Aplicação do MRP como ferramenta para o planejamento e controle da produção em uma vidraçaria **36**

Diego Marques Cavalcante, Micheli Silva Sousa, Dayse Kellen Ferreira de Oliveira

Capítulo 5: Comparação de modelos para o ajuste da cinética de hidratação de amido natural **47**

Gustavo de Souza Matias, Karoline Yoshiko Gonçalves, Fernando Henrique Lermen, Tânia Maria Coelho

Capítulo 6: Metodologia para o aumento da eficiência do processo de elaboração e análise de projetos de linhas aéreas rurais de distribuição de energia elétrica **57**

Leonardo da C. Brito, Adson S. Rocha, Cássio L. Ribeiro, Denner M. de Carvalho, Pedro H. S. Palhares

Capítulo 7: A influência dos recursos e das competências operacionais no desempenho da cadeia de suprimentos: Uma análise a partir da Visão Baseada em Recursos e da Visão Relacional entre empresa e fornecedor **74**

Rodrigo Randow de Freitas, Aliomar Lino Mattos, Wellington Gonçalves, Gabriela De Nadai Mauri, Fernando Nascimento Zatta

Capítulo 8: Aplicação dos princípios da teoria das restrições e simulação computacional no processo de pinturas de cadeiras em uma indústria moveleira.	89
Alencar Servat, Camila Ciello, José Airton Azevedo dos Santos, Lucas Duarte, Fabiana Costa de Araujo Schutz	
Capítulo 9: Aplicação da metodologia de Box-Jenkins para modelagem do índice de confiança do empresário industrial (ICEI)	98
Ícaro Romolo Sousa, Agostino Saymon Ricardo de Oliveira Sousa, Cristiane Melchior, Adriano Mendonça Souza, Roselaine Ruviano Zanini	
Capítulo 10: Modelagem e análise da produção industrial alimentícia brasileira (2002-2017) a partir de um modelo SARIMA	112
Cristiano Ziegler, Renan Mitsuo Ueda, Letícia Marasca, Adriano Mendonça Souza	
Capítulo 11: Previsão da variação do preço da soja, utilizando Cadeia de Markov	126
Rafaela Boeira Cechin, Leandro Luís Corso	
Capítulo 12: Análise de um restaurante self-service via simulação	135
Sara Aparecida da Silva Vaz, Wagner de Barros Neto, Diene Maria Oliveira, Nelson Dias da Costa Junior, Stella Jacyszyn Bacheга	
Capítulo 13: Algoritmos genéticos aplicados na cinemática inversa de manipulador robótico	150
Gabriella Ragazzi Costa, Márcio Mendonça, Bruno Costalonga Leite, Jônatas Favotto Dalmedico, Thalita Lopes Salvadori	
Capítulo 14: Nível de satisfação de clientes de megaeventos esportivos no Rio de Janeiro - Um estudo de fatores de qualidade percebida utilizando Teoria Fuzzy e Redes Neurais Artificiais	162
Priscila da Silva Oliveira, Marcelo Prado Sucena	
Sobre os autores	179



SIMULAÇÃO DE CONTROLE DE ROTA DE ÔNIBUS PELO MÉTODO ANALÍTICO PARA OTIMIZAÇÃO DE PERCURSO

Iago Lucas de Oliveira Leão Teixeira
Vitor Gomes Afonso
Hércules André da Costa e Silva
Walter Charles Sousa Seiffert Simões
Lúcia Helena de Oliveira Leão Teixeira

RESUMO

O transporte urbano na cidade de Manaus adota um modelo semelhante de outras grandes cidades onde apresenta sérios problemas em relação ao gargalo da rota e ao número excessivo de ônibus no trânsito. Este artigo discute esse problema e apresenta uma proposta de redução do número de veículos através de definição de rotas e trechos compartilhados. A metodologia adotada é analítica, que visa garantir que as análises realizadas reproduzam valores consistentes com o valor de referência, considerando as características dos requisitos estabelecidos. A ferramenta utilizada para simulação e avaliação analítica é o software Arena. Os resultados indicam que a nova maneira de executar o serviço de transporte público na linha estudada pode ser replicada nas outras linhas, reduzindo custos e tempo em cada viagem.

Palavras-chave

Transporte, Simulação, Manaus.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é uma preocupação em escala global e de acordo com William Frawley, especialista em planejamento urbano do *Transportation Institute A&M*, uma cidade bem planejada e organizada quanto aos seus meios logísticos terá vantagens econômicas em relação a outras cidades, além de influenciar na qualidade de vida de sua população. Frawley afirma que, uma cidade cuja as vias são bem distribuídas se torna um atrativo para o investimento de novas empresas, pois isso significa redução nas quantidades de engarrafamento, ganhando tempo durante o transporte de mercadorias e matérias primas e até mesmo menos tempo no transporte de passageiros, o que ajudaria na diminuição de atrasos, tanto de entrega de produtos quanto no atraso dos colaboradores (BAIMA, 2017).

No Brasil há um enorme desequilíbrio espacial. A maioria das cidades brasileiras cresceu de uma maneira não planejada, e com isso suas principais vias de transporte com o passar do tempo se encontram ineficientes. Tais problemas representam uma demora enorme no tempo de deslocamento de um ponto a outro na cidade, prejudicando muitas vezes o usuário de transporte público, que além de enfrentar os mesmos problemas que uma pessoa que utiliza um veículo particular, ainda tem que usufruir de um transporte público de baixa qualidade no serviço (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS, 2017).

Segundo Rao V. e Rao P. (2011) os modelos de simulações atuais são baseados nas condições e operações estabelecidas inicialmente no projeto, tornando resultados de procedimentos a longo prazo não realísticos devido a constantes mudanças no processo ao longo do tempo.

Este artigo apresenta uma proposta de estruturação do transporte público coletivo que funcione de maneira integrada. Nele será realizado o desenvolvimento e os resultados de uma simulação, com o intuito de fornecer informações em busca de otimizar um percurso de uma linha de ônibus, tendo como ferramenta o *software* Arena que permite a modelagem de cada parte do problema assim como a análise dos resultados.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho realizado por Faggioni e Sorra-tini estuda o desempenho do transporte coletivo em um corredor urbano implantado na cidade de Uberlândia, no decorrer do trabalho os autores mostram a viabilidade que a implantação dessa medida trouxe para a cidade, porém, a ideia apresentada neste artigo se tornou uma proposta interessante a curto prazo, onde de acordo com os estudos aqui realizados tem potencial para mudar o atual cenário da linha estudada. A metodologia utilizada serviu exatamente para determinar o tempo de deslocamento realizado no cenário sugerido, onde o *software* utilizado se mostrou de fácil utilização podendo ser utilizado por pessoas não especializadas

(FAGGIONI *et al.*, 2008).

Mesmo com objetivos um pouco distintos e *softwares* diferentes, Faggioni e Sorratini (2008) asseguram que o uso de ferramentas computacionais podem influenciar de forma positiva no resultado da melhoria do transporte. Ao comparar este artigo com outro artigo pesquisado, pode-se perceber que há diversas maneiras para se melhorar a mobilidade dentro de uma cidade assim como vários métodos para se analisar a viabilidade das ideias.

Seguindo a ideia de outros projetos científicos, há a necessidade de se implantar metodologias que possam ajudar no controle e na melhoria do trânsito na cidade, uma vez que todas as variáveis terão que ser levadas em consideração. Oliveira e seus co-autores utilizaram o *software* Arena para fazer a análise dos dados, a fim de simular as condições para o tráfego no local e possivelmente determinar o melhor cenário para as vias da praça, uma vez que o próprio sistema fornece diversos cenários para a tomada de decisão, para assim melhorar o trânsito do seu entorno (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Utilizando como referência outros artigos que envolvem a otimização do transporte público ou simplesmente o uso da simulação para melhorar a gestão, pode-se atestar que o uso de programas voltados para modelagem de dados e simulações de cenário influenciam de forma positiva no desenvolvimento de planos para a mobilidade urbana. É válido utilizar *softwares* de simulação e microssimulação para auxi-

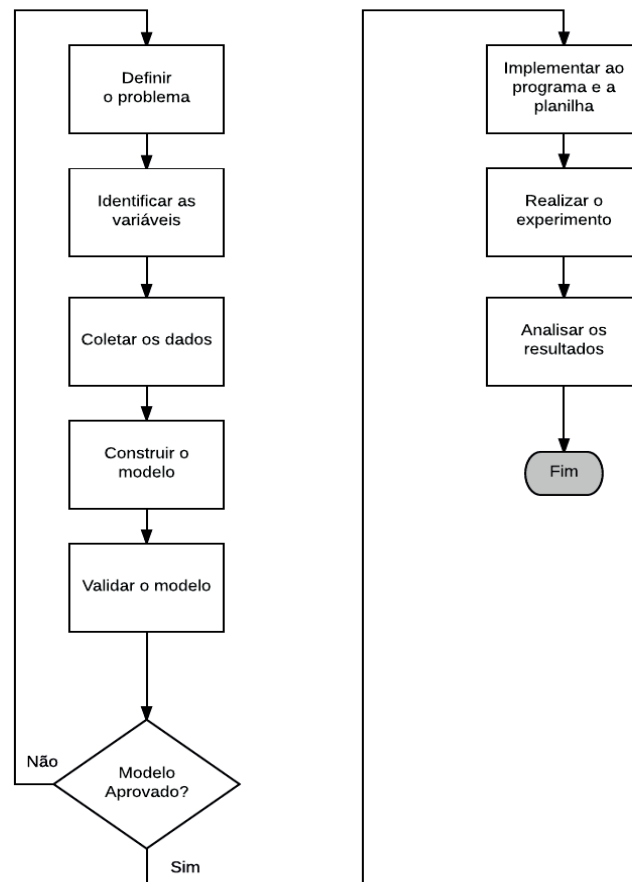
liar a tomada de decisões no que se diz respeito à mobilidade urbana, uma vez que seus valores chegam a ser próximo dos valores reais.

Diferentemente de outros trabalhos pesquisados, a ideia aqui sugerida evita ao máximo a alteração das vias públicas, se preocupando somente em otimizar o percurso feito pelos veículos sem que haja a necessidade de alguma mudança nas vias.

3. METODOLOGIA

Para a elaboração do artigo, foi criado um protocolo de trabalho mostrado na Figura 1. Nesse fluxograma seguiu-se uma ordem, sendo a primeira a definição do problema atual, isto é, achando o percurso da linha de ônibus 640, posteriormente identificando quais variáveis seriam criteriosais para a obtenção dos resultados da simulação, como o tempo de chegada e saída em cada parada de ônibus e o custo do percurso. Após isso foi feito a coleta de dados com base nas variáveis adquiridas, sendo feito durante o horário de pico das 6 horas até as 8 horas da manhã, para obter resultados em um ambiente de alta circulação.

Figura 1 - Protocolo de trabalho



Fonte: Autores

A otimização na linha de ônibus foi realizada por meio de simulação computacional utilizando o *software* Arena, visto sua possibilidade de obter ferramentas para simular frota, fornecer os dados requisitados, ser de baixo custo e aplicação e ter potencial para ser uma ferramenta de gestão para os órgãos responsáveis pelo transporte público. A simulação foi inspirada no trabalho de Baskaran e Krishnaiah (2012), onde os mesmos desenvolveram um modelo que determina o melhor trajeto para uma única rota de ônibus.

4. DESENVOLVIMENTO

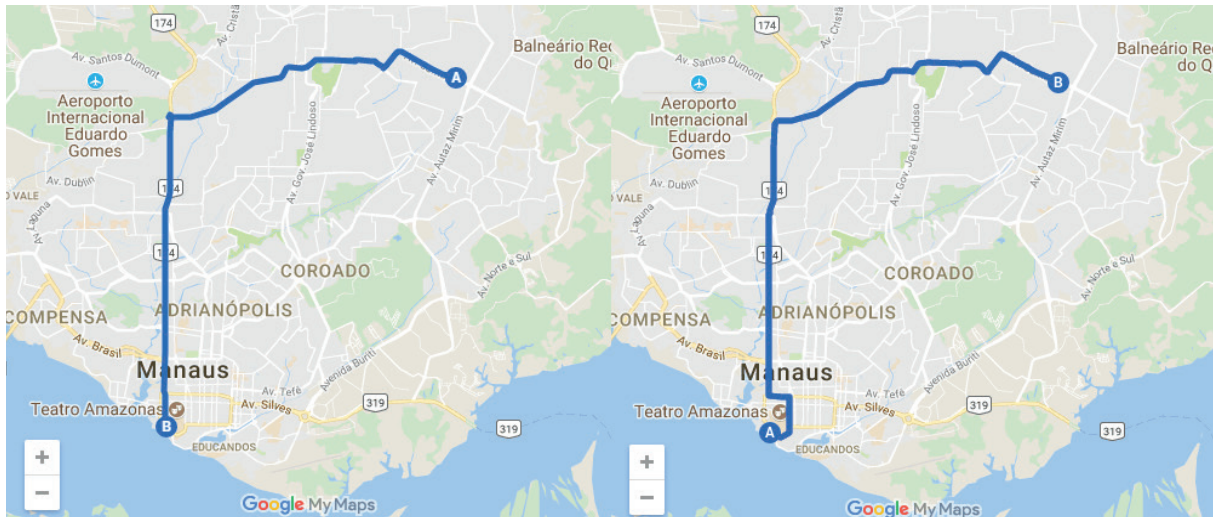
A ideia proposta por esse artigo é de obter ganho de tempo dentro de um determinado trajeto feito por uma linha de ônibus na cidade de Manaus localizada no estado do Amazonas e a diminuição de custo. O trajeto avaliado será o da linha 640 que se inicia no Terminal 4, localizado no bairro Cidade Nova, e termina no Terminal da Matriz, localizado na Praça da Matriz no centro da cidade, em sentido circular.

No cenário atual o percurso feito pelo ônibus, em horário de pico, enfrentaria

diversos gargalos devido ao alto fluxo de carros entre a avenida Constantino Nery e o centro da Cidade, acarretando em perda de tempo no deslocamento dos passageiros de um ponto a outro na cidade. A

Figura 2 se refere ao percurso atual, sendo a imagem da esquerda o sentido de ida (Terminal 4 – Terminal da Matriz) e o do lado direito o sentido de volta (Terminal da Matriz – Terminal 4).

Figura 2 - Percurso atual da linha de Ônibus estudada



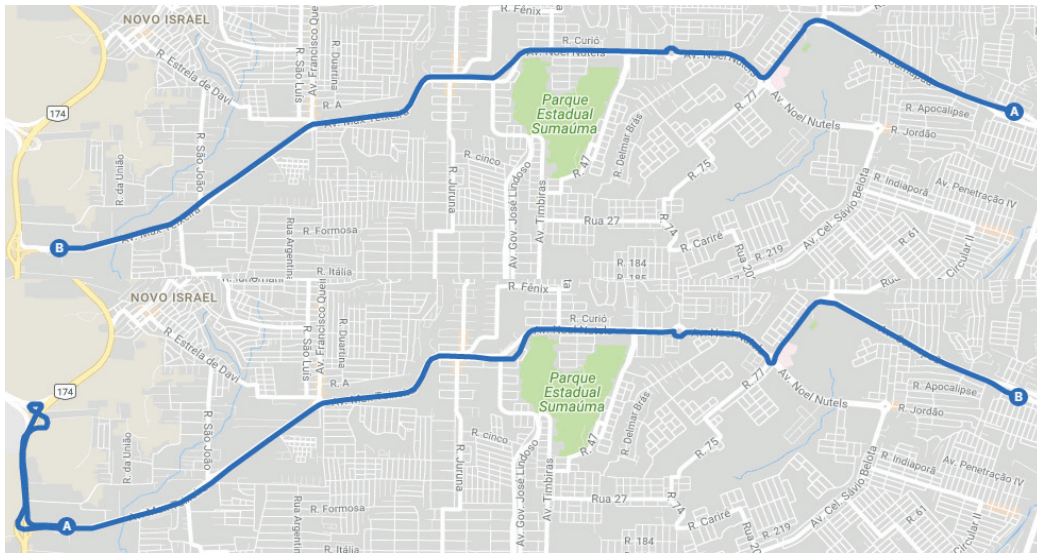
Fonte: Extraído do site *Google Maps*

O cenário sugerido para otimizar o trajeto acarreta no serviço de integração entre os ônibus e sugere a possibilidade de integração temporal da passagem, conforme descrito por meio eletrônico na página da Superintendência Municipal de Transportes Urbanos (SMTU), a integração temporal é uma opção adicional ao sistema integrado existente, por meio da qual o usuário pode trocar de ônibus, sem custo adicional, fora de um terminal de integração, desde que se passe na catraca do ônibus seguinte dentro de um determinado período de tempo. Em relação ao trajeto, ele terá desmembramento em três partes, fazendo com que outras partes do trajeto sejam feitas por mais dois ônibus, sendo o da linha 640 fazendo o percurso

que envolve o bairro Cidade Nova, outro no sentido Torquato Tapajós até o Terminal 1, enquanto o último percorre dentro do centro da cidade, todos em um formato de rota circular.

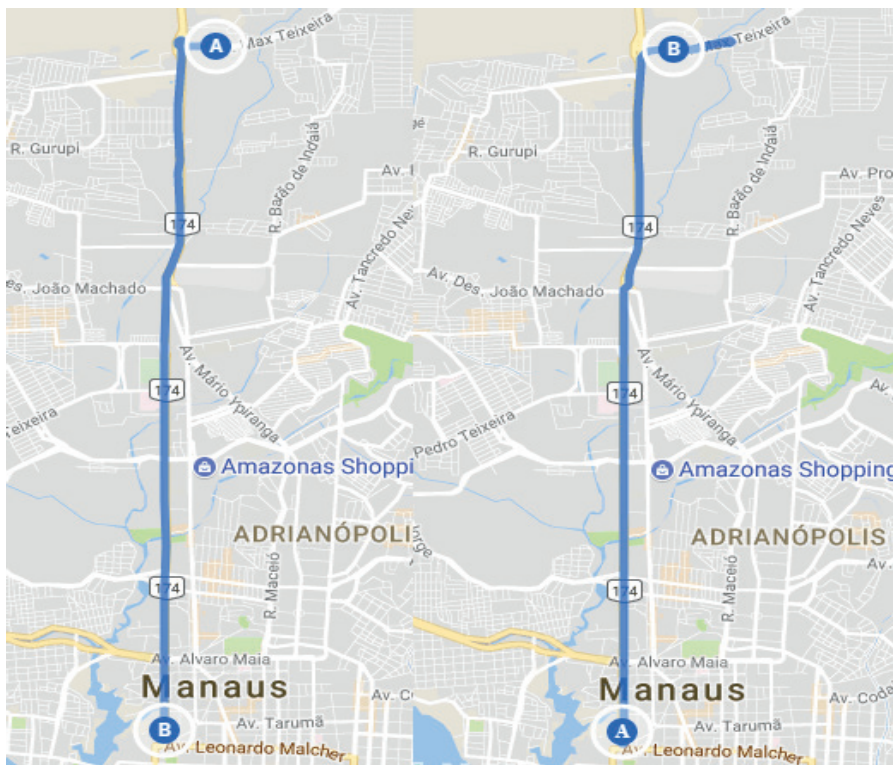
A imagem mostrada na Figura 3 reflete exatamente o percurso sugerido pelo ônibus da linha 640, trajeto de ida e volta, enquanto a Figura 4 mostra as imagens do percurso percorrido por um dos ônibus implantados pela ideia sugerida, onde o mesmo irá continuar o trajeto no sentido bairro - centro, completando o caminho que a linha 640 deixou de fazer. Assim percorrendo no sentido Torquato Tapajós até o Terminal 1.

Figura 3 -Percurso sugerido para linha 640



Fonte: Extraído do site *Google Maps*

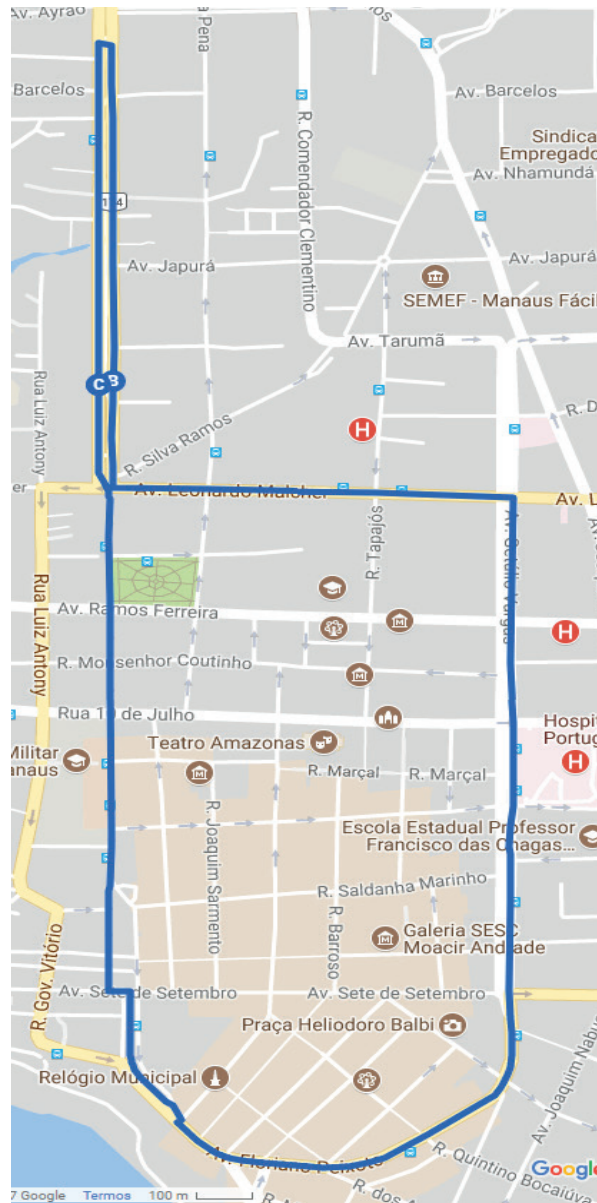
Figura 4 -Ônibus trafegando pela rota sugerida



Fonte: Extraído do site *Google Maps*

A Figura 5 mostra um cenário sugerido para movimentar-se dentro do centro da cidade de Manaus, onde iria percorrer em sentido circular.

Figura 5 - Rota circular no centro de Manaus



Fonte: Extraído do site *Google Maps*

5. AVALIAÇÃO

Após a definição do modelo sugerido, foi iniciada a coleta de dados do trajeto antigo da linha 640, sendo estes o tempo de parada, tempo de percurso e tempo de embarque e desembarque. Posteriormente foi montada uma planilha contendo essas informações relacionadas com cada parada feita pelo ônibus e seguidas essas informações foram aplicadas ao *software*

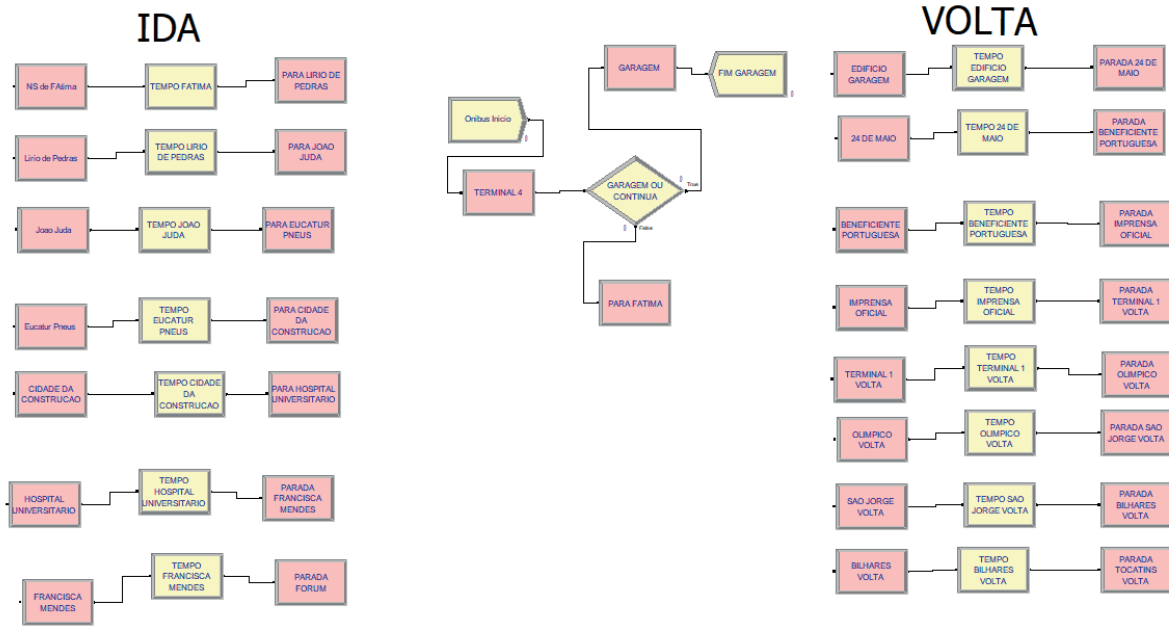
Arena, sofrendo filtração de dados para submissão ao *Input Analyzer*, para que fosse obtida uma média e um desvio-padrão que compactuassem com a realidade. Tais dados obtidos foram utilizados para montar dois modelos trabalhados dentro do *software*, um sendo o cenário atual e outra o sugerido, como mostram as Figuras 6 e 7. Os cenários mostrados foram feitos a partir da modelagem do

Métodos Quantitativos - Pesquisa Operacional - Volume 1

traçado, prevendo a circulação do ônibus, sendo um para o modelo atual e outro para o sugerido. Sua estrutura foi dividida fazendo o percurso do ônibus prevendo o tempo de espera entre as paradas e a

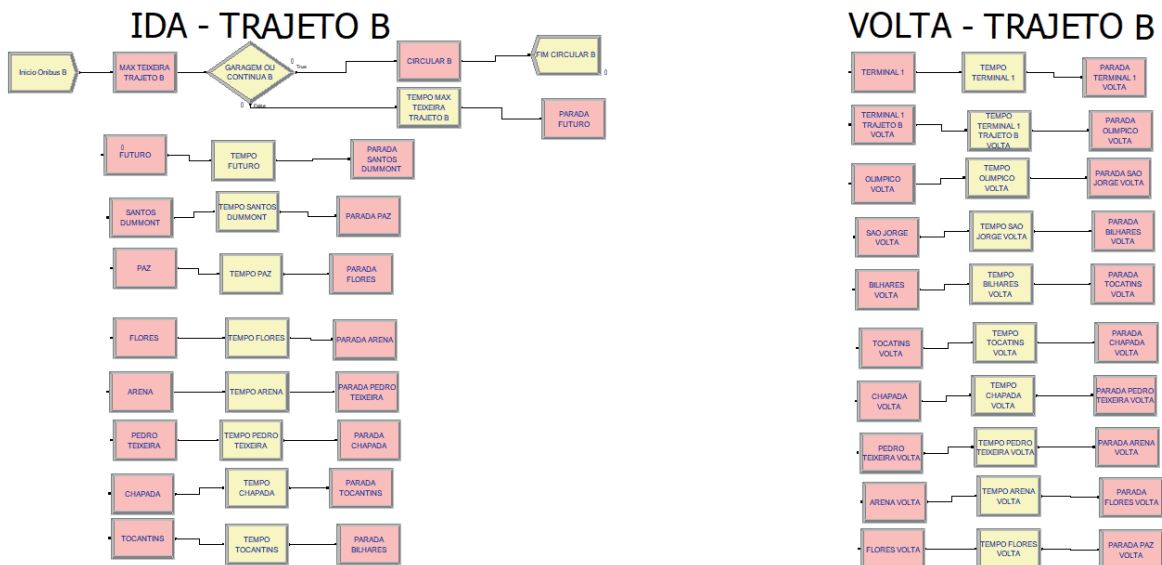
distância entre elas a partir de *stations* e *routes*, fornecendo um atributo ao ônibus para encerrar seu trajeto após fazer todo o seu percurso de retorno.

Figura 6 - Simulação do Modelo Atual



Fonte: Extraído do software Arena

Figura 7 - Simulação do Modelo Sugerido



Fonte: Extraído do software Arena

Para o cenário sugerido, foram elaboradas três entidades independentes com seus respectivos trajetos e retornos, sem a necessidade do antecessor chegar ao seu

fim para iniciar seu percurso. Assim, foi feita uma análise com base nos resultados obtidos, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de trajeto nas simulações

Trajeto	Atual	Sugerido		
	Cenário Atual	Terminal 4 - Max Teixeira	Torquato - Terminal 1	Sentido Circular Centro
Tempo	01:47:27	00:59:23	00:45:05	00:20:00
Tempo Total	01:47:27		02:04:28	

Fonte: Autores

Comparando o trajeto atual e o cenário sugerido, observar-se que há uma diferença visual de tempo em todo seu percurso, tornando maior a rotatividade e circulação, podendo assim dar um maior atendimento aos usuários do transporte coletivo e diminuindo os potenciais gargalos e consequentemente atrasos.

6. CONCLUSÃO

Considera-se que o objetivo do estudo foi alcançado uma vez que ficaram demonstrados ambos os cenários e seus resultados preliminares dentro do *software* Arena. A metodologia utilizada foi eficiente para o andamento e realização do trabalho. O estudo permitiu mostrar que por mais que haja um aumento de tempo em 15,9% do trajeto inteiro em relação ao sugerido sob ótica geral, observou-se maior circulação por menor tempo em cada percurso, possibilitando ao passageiro ser atendido pelos ônibus, podendo reduzir tempo de espera do mesmo, não sofrendo gargalos de todo o trajeto.

Com um controle de processos e percursos sobre auxílio de simulações, pode-se observar que há como melhorar e a analisar serviços atualmente oferecidos e atendidos pelo transporte público brasileiro. O que também foi percebido foi que, quando comparado uma única linha de ônibus a um sistema desmembrado da rota, o modelo com trajeto único é mais interessante, porém, quando se compara com rotas desmembradas de mais um ônibus desta linha, os ganhos são acentuados em relação ao tempo, causado pela redução da frota pelo uso de trechos comuns (Torquato – Terminal 1 e Sentido Circular Centro).

É importante salientar que o estudo não é conclusivo, ficando aberto para demais estudos. Espera-se que este trabalho incentive outras pesquisas sobre o tema, em prol da melhoria da qualidade do transporte público em um contexto urbano e geral.

REFERÊNCIAS

- [1]. BAIMA, Cesar. **Mobilidade tem forte efeito na economia e qualidade de vida, afirma especialista**, entrevista com William Frawley, 11 de setembro de 2013. O Globo - Revista Amanhã. Disponível em <<https://oglobo.globo.com/sociedade/ciencia/revista-amanha/mobilidade-tem-forte-efeito-na-economia-na-qualidade-de-vida-afirma-especialista-9912420>>, acesso em 15.09.2017, às 20:00
- [2]. BASKARAN, R; KRISHNAIAH, K. **Simulation model to determine frequency of a single bus route with single and multiple headways**. Journal: *Int. J. of Business Performance and Supply Chain Modelling*, 2012 Vol.4, No.1, pp.40 - 59. Department of Industrial Engineering, Anna University Chennai, Chennai – 600 025, India. 2012
- [3]. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE, ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. **Pesquisa Mobilidade da População Urbana 2017** (Relatório de Pesquisa/2017), Brasília, DF, Confederação Nacional do Transporte, Associação Nacional das Empresas de Transportes Urbanos. 2017
- [4]. FAGGIONI, Andreza Cauhy; SORRATINI, José Aparecido. **Estudo da Confiabilidade do Transporte Público Coletivo Urbano de Uberlândia, MG por meio da Microssimulação**. Brasil. 2008
- [5]. MANAUS, SUPERINTENDÊNCIA MUNICIPAL DE TRANSPORTES URBANOS (SMTU). Prefeitura Municipal. Disponível em <<http://smtu.manaus.am.gov.br/o-que-e-integracao-temporal/>>, acesso em 12.09.2017, às 21:00 horas.
- [6]. OLIVEIRA, Túlio Lupiano; GUIMARÃES, Irce Fernandes G.; RODRIGUES, Lásara Fabrícia; MARTINS, Felipe Rocha. **Simulação Computacional Aplicada ao Tráfego: uma Análise do Fluxo de Veículos na Praça Tiradentes em Ouro Preto – MG**. Brasil. 2010
- [7]. RAO, Venkateswara.; RAO, Prasanna. **Increasing Accuracy of Simulation Modeling via a Dynamic Modeling Approach**. Master's Thesis, University of Tennessee. http://trace.tennessee.edu/utk_gradthes/906 2011



A APLICAÇÃO DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE PARA SOLUÇÃO DE UM PROBLEMA LOGÍSTICO DE ROTEIRIZAÇÃO

Jandrei Sartori Spancerski
Silmar Antonio Lunkes
Tiago Luiz Strapasson
Micheli Ferreira

RESUMO

Alguns dos fatores fundamentais na estratégia logística das organizações são distância, tempo e custos, sendo estes, as principais condicionantes para que se possa determinar a melhor rota possível. O presente trabalho caracteriza-se na minimização da distância percorrida por um entregador de produtos alimentícios, a fim de atender várias cidades situadas no oeste do Paraná. Para obter a solução otimizada da rota, utilizou-se da metodologia do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), desenvolvendo-se um algoritmo na ferramenta computacional LINGO®. No decorrer do trabalho, são apresentadas as etapas advindas da aplicação do método, que constitui-se do desenvolvimento de uma tabela de distâncias do tipo De-Para, obtida através do software Google Earth® e da construção de um algoritmo baseado no PCV para realizar os cálculos iterativos. O resultado se deu por um grafo direcionado que aponta a solução da pesquisa, sendo que esta foi enviada como sugestão para implantação pela empresa. Sendo assim, este trabalho proporciona a visualização da importância da modelagem matemática na construção de estratégias mais seguras para consecução de soluções logísticas.

Palavras-chave

Custos, Engenharia de Produção, Modelagem Matemática, Otimização, Pesquisa Operacional.

1. INTRODUÇÃO

Grande parte das empresas tem atualmente repensado seus processos em busca de reduzir os custos e melhorar o seu desempenho operacional, sendo que dentro da atividade logística, a área de transportes representa a parcela mais significativa dos custos (BENEVIDES, 2012).

Segundo o Boletim de Conjuntura Econômica Regional do Oeste do Paraná (2016), em sua segunda edição, dentre os dezoito setores agregados analisados, o setor de alimentos e bebidas é o quarto maior empregador a nível nacional. O estado do Paraná concentra 10,7% dos empregados deste setor, sendo o segundo maior empregador, atrás apenas do estado de São Paulo, que conta com 25,9%.

A empresa analisada situa-se no estado do Paraná, na cidade de São Miguel do Iguaçu. Está há quinze anos no ramo da produção de embutidos e defumados de origem suína, como linguiça defumada, linguiça toscana, torresmo, entre outros. A distribuição dos produtos não é terceirizada, sendo realizada por meio um caminhão frigorificado próprio.

Ballou (1993, p. 145) ressalta que “Quando uma empresa possui frota própria, ela freqüentemente encontra problemas ao despachar um veículo à partir de uma base central para uma série de paradas intermediárias, devendo o veículo retornar então à base central”.

A otimização da distribuição de produtos tem sido objeto de estudo de diversas

áreas, como da computação, da matemática e da pesquisa operacional (CUNHA; BONASSER; ABRAHÃO, 2002). Os autores citados afirmam que existem vários métodos para encontrar soluções viáveis para problemas de roteirização, mas que por vezes, não geram resultados significativos, visto que existe uma dificuldade de se resolver problemas de grande escala. Sendo assim, soluções por modelos que geram resultados aproximados do ótimo, podem ser uma boa alternativa em um tempo computacional aceitável.

Rosa (2007, p. 18-19) nos traz uma abordagem sobre a vantagem competitiva proporcionada pelo gerenciamento logístico:

A competitividade tem exigido que as empresas brasileiras desenvolvam vantagens em relação aos seus concorrentes que envolvem tempo, e principalmente custo e nível de serviços. O gerenciamento logístico focado nos custos operacionais surgem então como uma ferramenta com o objetivo de oferecer aos gestores parâmetros de avaliação do desempenho compatível com os objetivos da empresa.

Problemas logísticos envolvendo roteamento de veículos, gerenciamento de armazéns, entre diversos outros, são, de acordo com Hashemi Doulabi e Seifi (2013), habitualmente solucionados tomando-se decisões a nível tanto estratégico quanto tático e operacional, sendo que os ganhos advindos destas decisões são de porte significativo para as empresas, seja de cunho financeiro ou até de conhecimento.

Os cinco principais tipos de modais de transporte, citados por Bowersox e Closs (2001), são aéreo, o aquaviário, o ferroviário, o dutoviário e, por fim, o rodoviário. Cada um destes modais possuem especificidades que melhor se adequam a diferentes cenários, como volume de carga e tráfego, lucro, acessibilidade e agilidade.

Caixeta Filho e Martins (2001) apontam a indiscutibilidade da vantagem competitiva que o modal rodoviário propicia quanto à questão de oferecer um serviço porta-a-porta, pois os demais modais limitam-se a instalações fixas de aeroportos, de trilhos, portos e sistemas dutoviários.

O transporte rodoviário é um dos mais eficientes e simples quando comparado aos demais meios de transporte, sendo que uma das exigências mais críticas é a existência de rodovias. Em contrapartida, esta opção acarreta em um alto consumo de combustível. Devido à sua flexibilidade, indica-se este modal para a distribuição urbana, em que as distâncias de distribuição são menores, onde sua exigência é de um modal versátil, provendo um nível de acessibilidade específico (ROSA, 2007).

O autor supracitado afirma que o processo de roteirização constitui-se no planejamento precedente das entregas realizadas por operadores logísticos, que seguem um roteiro lógico, determinado pela distância do percurso, a capacidade do veículo transportador, bem como o tempo despendido para entrega.

Conforme conceituado por Arenales (2007, p. 21) a problemática que envolve trans-

porte, transbordo e designação:

[...] consiste em transportar o produto dos centros de produção aos mercados consumidores de modo que o custo total de transporte seja o menor possível. Admite-se, geralmente, que as quantidades produzidas ou ofertadas em cada centro e as quantidades demandadas em cada mercado consumidor são conhecidas. O transporte deve ser efetuado respeitando-se as limitações de oferta e atendendo a demanda.

Segundo Laporte *et al.* (2000), o Problema do Caixeiro Viajante é um dos problemas mais estudados em otimização combinatória, que apesar de simples, apresenta desafios dentro do campo da Pesquisa Operacional. Cunha, Bonasser e Abrahão (2002), definem que o PCV é um problema que procura encontrar a rota de menor custo que interliga um conjunto de vértices de um grafo, partindo de um ponto inicial, perpassando pelos demais uma única vez e, retornando ao mesmo ponto de partida.

Para Golbarg e Luna (2000), a origem do Problema do Caixeiro Viajante é atribuída a William Rowan Hamilton, que desenvolveu um jogo em que o objetivo era o de traçar um roteiro através dos vértices de um dodecaedro, equivalendo às cidades, com a exigência de iniciar e terminar no mesmo vértice, visitando apenas uma vez cada cidade.

Guedes, Leite e Aloise (2005, p. 17) descrevem a definição de uma maneira mais formal:

[...] dado um grafo $G(V, E)$, com $|V| \geq 3$ e custos C_{ij} , $(i, j) \in E$, associados às arestas, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) consiste em encontrar o ciclo hamiltoniano de custo mínimo. No caso de um grafo completo com n vértices (cidades) significa buscar a melhor rota dentre $(n - 1)!/2$ possibilidades.

Cunha, Bonassere e Abrahão (2002) ressaltam que o PCV é chamado simétrico quando a distância entre dois nós quaisquer i e j independe do sentido, isto é, quando $d_{ij} = d_{ji}$, caso contrário, o problema é denominado assimétrico. O grafo que descreve o cenário da situação problema encontrada neste estudo é considerado simétrico.

Em relação à classificação da Pesquisa Operacional (PO) perante as demais ciências, para Loesch e Hein (2009), pode ser melhor descrita como ciência do conhecimento, pela sua capacidade de estruturar processos a partir da transformação de dados de um cenário real, permitindo a interação entre diversas restrições e variáveis, propondo, se bem interpretadas, ações e alternativas de solução diversas.

Segundo a concepção dada por Silva *et al.* (2008), a Pesquisa Operacional se institui em um sistema complexo, ou seja, dado o modelo matemático condizente com a problemática estudada, o mesmo consegue descrever o sistema observado de forma lógica, e por intermédio da iteração deste modelo, encontra-se uma maneira segura de trabalhar este sistema.

Recorrendo ao dicionário Houaiss da língua portuguesa (HOUAISS; VILLAR, 2009), temos

que método é “procedimento, técnica ou meio de fazer alguma coisa, especialmente de acordo com um plano”.

Para se ter um melhor entendimento do que vem a ser uma solução ótima, Barbosa e Zanardini (2010, p. 13) nos afirmam que “podemos dizer que é aquela que melhor serve aos objetivos das pessoas e das organizações”.

O presente trabalho caracteriza-se na minimização da distância percorrida por um entregador de produtos alimentícios, a fim de atender várias cidades situadas no oeste do Paraná. Para obter a solução otimizada da rota, utilizou-se da metodologia do Problema do Caixeiro Viajante (PCV), desenvolvendo-se um algoritmo na ferramenta computacional LINGO®. O Objetivo é trazer melhorias em custos, através da modelagem matemática baseada no PCV, pela otimização das distâncias logísticas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A classificação geral desta pesquisa científica é dada como prática, que segundo Demo (2000, p. 22), é “ligada à práxis, ou seja, à prática histórica em termos de conhecimento científico para fins explícitos de intervenção; não esconde a ideologia, mas sem perder o rigor metodológico”.

A pesquisa científica prática é subclasificada em relação à natureza, à abordagem, ao objetivo e aos procedimentos. No tocante à natureza é dada como aplicada, quanto à abordagem é considerada

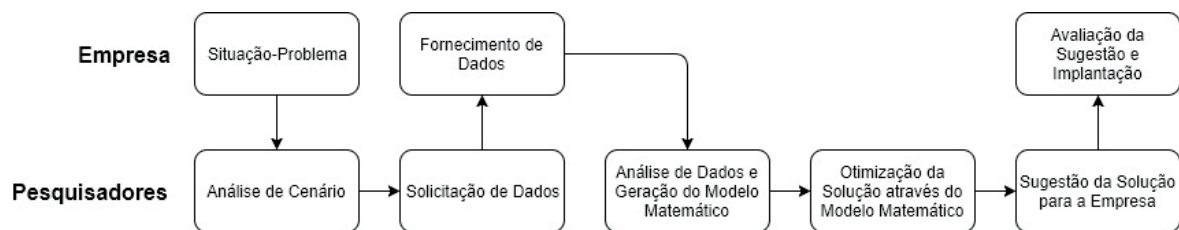
quantitativa, quanto ao objetivo é descritiva e relacionado aos procedimentos é de pesquisa operacional.

Considera-se aplicada, pois conforme Martins *et al.* (2014), gera conhecimentos que buscam solucionar problemas práticos e específicos, no qual, particularmente neste estudo, pretende-se solucionar o real problema de roteirização da empresa. Quantitativa, pois segundo Hayati, Karami e Slee (2006), é um método que visa utilizar-se de dados numéricos (que no presente caso, trata-se das distâncias entre as cidades), que permitem analisar as relações causa-efeito, tornando os resultados reprodutíveis, se utilizado o mesmo método. Descritiva, que consoante à Kauark, Magalhães e Medeiros (2010), objetiva descrever as relações entre variáveis, as propriedades da população ou fenômeno, em que as variáveis deste trabalho são o número de veículos e distância. Envolve também, o uso de

técnicas padronizadas de tratamento de dados, que na atual pesquisa, trata-se do método do PCV. Por fim, sua classificação quanto aos procedimentos é de pesquisa operacional, pois conforme Arenales *et al.* (2007), é uma abordagem científica para a tomada de decisão, a fim de buscar uma melhor solução de um problema real das organizações, em que serve de suporte para planejar e operar o sistema.

Em relação às etapas de estudos aplicados a problemas reais, Moreira (2007) apresenta alguns passos fundamentais, que se iniciam na definição da situação-problema, passam pela formulação de um modelo quantitativo, perpassam pela resolução do modelo matemático que visa a melhor solução, até a sugestão de implementação da solução obtida. Baseando-se nas etapas descritas pelo autor citado, a Figura 1 contempla o processo de desenvolvimento da presente pesquisa.

Figura 1 - Etapas de desenvolvimento da presente pesquisa



Através de um diálogo com o gestor da empresa, levantou-se dados relativos às questões logísticas, como o mercado de atuação, as cidades atendidas, a localização dos respectivos pontos, o método corrente de entrega dos produtos e os clientes em potencial. Neste contexto,

observou-se a oportunidade de aplicação de estudos voltados ao problema da roteirização ao longo das cidades atendidas e prospectadas pela empresa.

Optou-se por analisar o cenário pela perspectiva do Problema do Caixeiro Viajante

(PCV), elencando-se todas as variáveis a serem solicitadas à empresa para possibilitar o estudo através do referido método de programação linear.

A empresa forneceu dados relativos à área geográfica atendida e ao número de veículos que realizarão as entregas, na qual se constatou que a empresa dispõe de apenas um veículo. Vale ressaltar que o empreendimento não possuía qualquer controle ou histórico de consumo de combustível, rotas realizadas e distâncias percorridas.

As distâncias entre as cidades foram obtidas com o auxílio do aplicativo Google Earth® e sobre os dados, realizou-se um

tratamento para alocá-los em uma tabela de distâncias do tipo De-Para, posteriormente utilizada para realizar as iterações no algoritmo.

Para o cenário real da empresa estudada, objetivou-se analisar as distâncias entre as cidades atendidas, já que possuem maior representatividade de custos (distâncias) para o deslocamento quando comparados aos custos de entrega dentro de uma mesma cidade.

O algoritmo elaborado é composto por uma função objetivo, que deve ser minimizada, e restrições, conforme pode ser visualizado no Quadro 1.

Quadro 1 - Modelo matemático PCV

$$\begin{aligned}
 \text{FO: } \min Z &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} c_{ij} \\
 \text{s. a.:} \\
 \text{r1: } \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1, \quad j = 1, \dots, n \quad (\text{origem}) \\
 \text{r2: } \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (\text{destino}) \\
 \text{r3: } x_{ij} &\in [0,1] \quad (\text{binário})
 \end{aligned}$$

Fonte: Autoria Própria (2017)

A função objetivo (FO) do modelo proposto visa minimizar o custo total (c_{ij}) do caminho (x_{ij}), que para este estudo, é a distância total percorrida pelo entregador. A FO está sujeita às restrições de origem e destino, fazendo com que a solução propicie ao entregador passar por todas as cidades

com o mínimo de visitas possível, retornando à empresa.

Para facilitar a resolução dos cálculos iterativos, optou-se por utilizar a ferramenta computacional LINGO®, que possibilita a compilação de algoritmos que determinam, através de suas iterações, uma

solução viável para o problema (LINDO SYSTEMS, 2017). O computador utilizado para executar o referido software é da marca Dell®, provido de um processador Intel® Core™ i5, com frequência de processamento de 2,5 GHz.

Finalmente, de posse da rota encontrada através dos métodos já descritos, sugeriu-se à empresa a realização de uma avaliação dos resultados por meio de análises de viabilidade (financeira, de percurso, entre outras) para a implantação da solução.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A empresa atende a região oeste do Paraná, totalizando dezessete cidades e um distrito (São Clemente, que por conveniência será tratado como um município), com clientes fixos e em potencial. A Figura 1 apresenta a disposição dos pontos (cidades) que arquitetam o grafo utilizado como referência para a obtenção dos dados de distância. O ordenamento das letras nos marcadores do mapa (Figura 1), que formam os vértices do grafo, foram inseridas da esquerda para a direita e de cima para baixo, de A à R, sendo que a empresa estudada localiza-se no ponto E, posição inicial e final da rota.

Figura 1 - Disposição dos pontos (cidades) na região de abrangência da empresa



A vista aérea da região oeste do Paraná (Figura 1) foi obtida através do software Google Earth®, em que os traços destacados na cor amarela, representam as rodovias federais e estaduais, onde o pentágono iconizado identifica a rodovia federal BR 277, onde os pontos A, B, E, H, K, N, Q e R estão contidos. Salienta-se

que, aproximadamente, 66% da extensão da rodovia citada é duplicada (SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO PARANÁ, 2017). As demais vias são estaduais, asfaltadas e não duplicadas, representando os demais caminhos possíveis a serem percorridos.

Métodos Quantitativos - Pesquisa Operacional - Volume 1

As distâncias entre os pontos contidos na Figura 1 são apresentadas no Quadro 2, conforme resultados também gerados pelo software Google Earth®, em que os

valores são referentes a caminhos possíveis, ou seja, por questões do método adotado (PCV), somente as cidades circunvizinhas podem ser visitadas.

Quadro 2 - Distâncias entre as cidades (De-Para)

Valores em Quilômetros		Destino																	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Origem	Foz do Iguaçu	A	-	23,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Santa Terezinha de Itaipu	B	23,2	-	-	-	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Santa Helena	C	-	-	-	34,5	-	-	17,1	-	32,9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Missal	D	-	-	34,5	-	-	9,1	-	29,5	42,6	-	-	-	-	-	-	-	-
	São Miguel do Iguaçu	E	-	25	-	-	-	32,5	-	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Itaipulândia	F	-	-	-	9,1	32,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	São Clemente	G	-	-	17,1	-	-	-	-	-	-	33,6	-	-	-	-	-	-	-
	Medianeira	H	-	-	-	29,5	17,8	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-
	Diamante d'Oeste	I	-	-	32,9	42,6	-	-	-	-	-	23,3	-	-	20,4	-	-	-	-
	São José das Palmeiras	J	-	-	-	-	-	-	33,6	-	23,3	-	-	34,2	43,6	-	32,6	-	-
	Matelândia	K	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	21,6	-	-	-
	Ouro Verde do Oeste	L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34,2	-	-	-	-	25,2	22,4	73,3
	Vera Cruz do Oeste	M	-	-	-	-	-	-	-	-	20,4	43,6	-	-	-	15,3	15,4	-	33,3
	Céu Azul	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21,6	-	15,3	-	-	-	26,7
	São Pedro do Iguaçu	O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32,6	-	25,2	15,4	-	-	31,2	31,9
	Toledo	P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,4	-	-	31,2	-	57,9
	Santa Tereza do Oeste	Q	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73,3	33,3	26,7	31,9	57,9
Cascavel	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68,8	45,6	21,5	-	

Baseado na modelagem matemática genérica do PCV, apresentada no Quadro 1, efetuou-se a programação de um algoritmo na ferramenta computacional LINGO®, utilizando-se da linguagem própria do software.

Através da compilação do código no referido software, após 294000 iterações, realizadas em um tempo de 24 segundos, obteve-se a solução otimizada para o problema, resultando na rota de menor custo (distância).

A solução encontrada através do modelo construído, com base no Problema do Caixeiro Viajante, resultou na seguinte rota: E, B, A, B, E, H, K, N, Q, R, P, L, P, O, M, I, J, G, C, D, F, E.

Para facilitar a visualização da rota de entrega, desenhou-se o dígrafo solução, ilustrado na Figura 2.

A distância total percorrida, saindo do vértice "E", para atender todas as cidades e retornar ao ponto inicial é de 470 quilômetros. Vale ressaltar que esta quilometragem refere-se às distâncias entre cidades.

Nota-se a formação de inúmeras sub-rotas no dígrafo (Figura 2), que podem ser úteis caso a capacidade do caminhão não seja suficiente para atender a demanda de todos os pontos em uma única carga. Um exemplo seria o atendimento da sub-rota E-B-A-B-E, e posteriormente a sub-rota composta pelas demais cidades.

Figura 2 – Dígrafo solução da rota de entrega



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo proporcionou à empresa a oportunidade de melhoria em custos através da otimização da rota de distribuição de seus produtos, por meio da modelagem matemática baseada no PCV, atendendo ao objetivo principal deste trabalho.

A distância total do percurso otimizado foi de 470 quilômetros, passando por rodovias de boa qualidade, o que traz segurança, agilidade e ajuda a conservar o veículo.

A rota proposta garante o menor custo quando todas as cidades forem atendidas ou quando avalia-se o atendimento por sub-rotas, pela necessidade devido à restrições de carga ou tempo ou por estratégia da empresa.

O tempo necessário para que o entregador atenda a todos os pontos pode ser maior do que um dia de trabalho. Desta forma, pode-se estudar se é mais viável o retorno

do entregador à empresa para que seja dada a continuidade no dia seguinte, ou se é preferível que o mesmo pernoite em uma cidade pertencente à rota de entrega. Portanto, propõe-se para estudos futuros a análise de viabilidade econômica das entregas em cada cidade, considerando o ponto de equilíbrio (margem de lucro) e análise das sub-rotas.

Para um resultado pormenorizado dos custos de entrega, é necessária a avaliação dos custos inerentes à rota interna às cidades, ou seja, realizar um estudo de roteirização considerando os fatores intrínsecos a cada grafo intraurbano, em que, possivelmente, seja necessária a utilização de outras metodologias de investigação operacional.

Sugere-se também a elaboração de um aplicativo, baseado em um algoritmo vinculado ao GPS do veículo ou do celular, que seja capaz de recalculer a rota de maneira prática para o entregador sempre que haja causas especiais, como pedidos emergen-

ciais que possam desviá-lo do caminho inicialmente calculado.

REFERÊNCIAS

- [1]. ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.
- [2]. BALLOU, R. H. **Logística Empresarial - Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física**. São Paulo: Atlas, 1993.
- [3]. BARBOSA, M. A.; ZANARDINI, R. A. D. **Iniciação à pesquisa operacional no ambiente de gestão**. Curitiba: Ibpex, 2010.
- [4]. BENEVIDES, P. F. **Aplicação de heurísticas e metaheurísticas para o problema do caixeiro viajante em um problema real de roteirização de veículos**. Curitiba: UFPR, 2012, 157 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- [5]. BOLETIM DE CONJUNTURA ECONÔMICA REGIONAL DO OESTE DO PARANÁ. 2016. Disponível em: <<https://www.pti.org.br/sites/default/files/Publica%C3%A7%C3%B5es/Boletim%20de%20Conjuntura%20n%C2%BA2.compressed.pdf>> Acesso em: 10 Ago. 2017.
- [6]. BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística Empresarial - O Processo de Integração da Cadeia de Suprimento**. São Paulo: Atlas, 2007.
- [7]. CAIXETA FILHO, J. V.; MARTINS, R. S. **Gestão Logística do Transporte de Cargas**. São Paulo: Atlas, 2001.
- [8]. CUNHA, C. B. da; BONASSER, U. de O.; ABRAHÃO, F. T. M.. **Experimentos computacionais com heurísticas de melhorias para o problema do caixeiro viajante**. In: XVI Congresso da Anpet. Natal: 2002.
- [9]. DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.
- [10]. LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.Y.; SEMET, F. **Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem**. International Transactions in Operational Research, v.7, n. 4-5, p. 285-300, Set. 2000.
- [11]. GOLBARG, M. C.; LUNA, H. P. R. **Otimização Combinatória e Programação Linear**. Rio de Janeiro, Campus, 2000.
- [12]. GUEDES, A. da C. B.; LEITE, J. N. F.; ALOISE, D. J. **Um algoritmo genético com infecção viral para o problema do caixeiro viajante**. Revista PublCa, Natal, v. 1, n. 1, p. 16-24, 2005.
- [13]. HASHEMI DOULABI, S. H.; SEIFI, A. **A Lower and upper bounds for location-arc routing problems with vehicle capacity constraints**. European Journal of Operational Research, v. 224, n. 1, p. 189-208, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221712004705>>. Acesso em: 10 Ago. 2017.
- [15]. HAYATI, D.; KARAMI, E. & SLEE, B. **Combining qualitative and quantitative methods in the measurement of rural**

poverty. Social Indicators Research, v.75, p.361-394, springer, 2006.

[16]. HOUAISS, A.; VILLAR, M. de S. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa.** Versão 3.0. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009. 1 CD-ROM.

[17]. KAUARK, F.S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: Um guia prático.** Itabuna: Via Litterarum, 2010.

[18]. LINDO SYSTEMS INC. **software Lingo 9.0.** 2017, Disponível em: < <http://www.lindo.com/>> Acesso em: 10 Ago. 2017.

[19]. LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa operacional: fundamentos e modelos.** São Paulo: Saraiva, 2009.

[20]. MARTINS, R.A.; MELLO, C.H.P; TURRIONI, J.B. **Guia de Elaboração de Monografia e TCC em Engenharia de Produção.** 1. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

[21]. MOREIRA, D. A. **Pesquisa operacional: curso introdutório.** São Paulo: Thomson Learning, 2007.

[22]. ROSA, A. C. **Gestão do transporte na logística de distribuição física: uma análise da minimização do custo operacional.** 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado). Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, SP, Brasil.

[23]. SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA DO PARANÁ. 2017. Disponível em: <<http://www.der.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=15>>.

Acesso em 10 Ago. 2017.

[24]. SILVA, E. M. da et al. **Pesquisa operacional: programação linear.** 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

3

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MINERAÇÃO DE DADOS NA ANÁLISE DE ASPECTOS SOBRE O COMPORTAMENTO DO MOSQUITO AEDES AEGYPTI

**Julio Cezar Negri Ramos
Elias Rocha Gonçalves Júnior
Virgínia Siqueira Gonçalves**

RESUMO

Neste artigo, foi demonstrado como as técnicas de mineração de dados são eficientes no descobrimento de conhecimentos antes ocultos sobre o comportamento do mosquito *Aedes Aegypti*. As informações foram mineradas de um banco de dados gerado por um questionário distribuído digitalmente e que obteve 341 respostas. O foco dessa pesquisa era apenas a cidade de campos dos goytacazes, no Rio de Janeiro, e trazia perguntas sobre hábitos de indivíduos e sua relação com a transmissão de doenças. Os dados foram minerados utilizando a ferramenta Weka 3.8.1, na qual foi aplicada a técnica de clusterização com o algoritmo simplekmeans. Os conhecimentos obtidos demonstraram uma relação entre indivíduos do sexo feminino, jovens (entre 20 e 39 anos) que moram no centro da cidade e ficam menos de 12h por dia em casa, sendo que esse grupo estava associado à questão de terem contraído dengue. Também foi percebida uma associação clara entre o centro da cidade e esses indivíduos.

Palavras-chave

Mineração de dados, Weka 3.8.1, *Aedes Aegypti*.

1. INTRODUÇÃO

A mineração de dados tem sido uma técnica que tem mostrado potencial uso para gestores, na tomada de decisões e na construção e descoberta de conhecimentos que estariam ocultos ou passariam despercebidos sob uma grande camada de dados aleatórios.

A análise de dados era realizada desde seus primórdios por meios estatísticos, nesse processo, os dados têm sido sistematicamente coletados e armazenados eletronicamente. Somente esse método matemático não proporciona a descoberta de informações desconhecidas em uma base de dados. Segundo Bothorel, Serrurier e Hurter (2011), a Mineração de Dados visa extrair o máximo de conhecimento a partir de bancos de dados com grande volume de informação.

As principais motivações para o uso das técnicas de mineração de dados são o aumento da capacidade de processamento e armazenamento de dados, o baixo custo do processo, já que se usa uma ferramenta de software livre, a grande quantidade de dados que têm sido armazenados nos últimos anos e a inviabilidade de se analisar esses dados de forma manual.

Fayyad (1996) expõe a Mineração de Dados como um processo para identificação, nos dados utilizados como base, padrões válidos, úteis e compreensíveis. Nesse contexto, surge a questão de como tirar proveito do conhecimento subjacente a todo o patrimônio digital que vem

sendo acumulado. Portanto, a mineração de dados pode ser vista como uma ferramenta aplicável nesse contexto.

A dengue é uma infecção viral sistêmica cujo principal vetor é o mosquito *Aedes aegypti*, com boa adaptação ao clima tropical e subtropical. A doença pode se manifestar de formas variadas, desde as oligossintomáticas até formas graves, representando um importante problema de Saúde Pública em nível mundial (BHATT et. al., 2013). Segundo estimativa da World Health Organization (2009), 50 milhões de casos da doença ocorrem a cada ano, em média, levando a 500 mil hospitalizações e mais de 20 mil óbitos.

As manifestações clínicas da doença dependem da susceptibilidade do hospedeiro, da genética viral, da resposta imune e de possíveis reações cruzadas advindas de infecções prévias. Estas características parecem estar relacionadas com o desenvolvimento de formas graves da dengue (GUZMAN et. al., 2010).

Alguns fatores influem na densidade de mosquitos, como as condições de saneamento e os aspectos socioeconômicos e culturais das comunidades. Donalísio e Glasser (2002) afirmam que o conhecimento desses fatores é fundamental para a compreensão das epidemias de dengue e o direcionamento das ações de controle.

Segundo Rigau-Pérez (1999), o sistema de vigilância epidemiológica da dengue tem um papel primordial nas atividades de prevenção e controle da doença: ser capaz de detectar precocemente o aumento de

casos e epidemias, além dos casos graves, e a alteração no perfil epidemiológico. Para tanto, torna-se necessário uma informação consistente e oportuna, diagnóstico laboratorial otimizado, critérios de definição de caso claros e objetivos e profissionais de saúde com conhecimento clínico da doença.

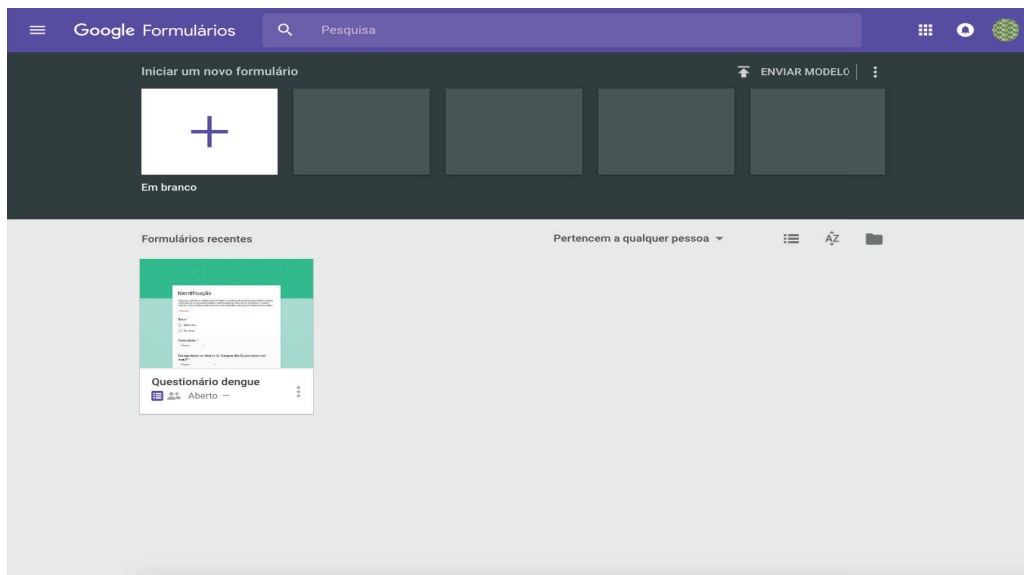
Neste âmbito, o objetivo deste trabalho é utilizar as técnicas de mineração de dados para descobrir hábitos e comportamentos do mosquito *Aedes Aegypti*, além de buscar determinar o perfil principal de pessoas que contraíram alguma doença transmitida pelo mesmo. Uma pesquisa com 14 questões foi estruturada e distribuída eletronicamente. As respostas foram processadas através do software WEKA e os resultados serão apresentados ao longo deste artigo.

2. METODOLOGIA

No processo de tratamento dos dados, objeto deste trabalho, será utilizado o conceito de descoberta de conhecimento em bases de dados, KDD. Tal processo foi definido por Fayyad, Piatetsky-shapiro e Smyth (1996), como sendo: "... o processo não trivial de identificação de padrões válidos, novos, potencialmente úteis e compreensíveis, embutidos nos dados".

Para levantar os dados para a mineração, foi elaborado um questionário com 14 perguntas utilizando a ferramenta online Google Forms (forms.google.com), representada na Figura 1, e distribuído eletronicamente através de redes sociais, encaminhamentos via e-mail, programas de compartilhamento de mensagens e SMS.

Figura 1 - Tela inicial da ferramenta online *Google Forms*



O questionário ficou disponível durante os meses de maio e junho de 2017 e continha perguntas que visavam respostas que ajudariam a construir uma espécie de perfil

das vítimas do *Aedes Aegypti*. As seguintes perguntas estruturavam o questionário:

- a) Sexo

- b)** Faixa etária
- c)** Em que bairro ou distrito de Campos dos Goytacazes você mora?
- d)** Suas atividades te permitem ficar em casa:
 - a.** Mais de 12h por dia
 - b.** Menos de 12h por dia
- e)** Em qual período você fica mais tempo em casa?
- f)** Já teve dengue?
- g)** Sua casa tem mosquitos?
- h)** Os mosquitos preferem picar você na maioria das vezes?
- i)** Em que parte da casa ocorrem as picadas?
- j)** Onde se escondem?
- k)** Quais objetos/locais mais atraem?
- l)** Onde os mosquitos mais atacam?
- m)** Horários que mais atacam?
- n)** Como você se previne?

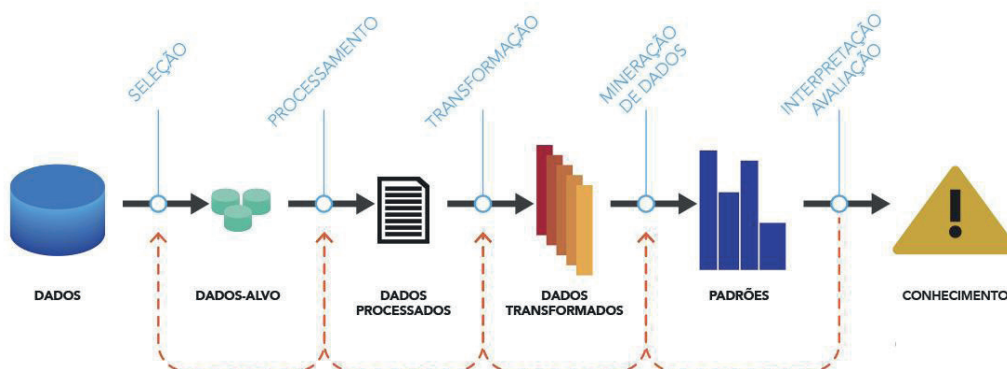
O questionário obteve 341 respostas e,

após a limpeza dos dados, foi preparado para ser minerado a fim de se buscar resultados relevantes que gerassem conhecimentos. Segundo Elmasri e Navalhe (2005) citado por Nascimento (2012), a mineração de dados se refere à descoberta de novas informações em função de padrões em grandes quantidades de dados. Seu objetivo é a extração de conhecimentos dessas grandes quantidades de dados que seriam impossíveis de serem extraídos manualmente. A mineração é um dos processos de KDD (Knowledge Discovery in Databases). Segundo Amo (2003), é comum existir uma confusão entre os termos KDD e mineração de dados, mas na verdade o segundo é uma das etapas do primeiro:

“Finalmente, o que é Mineração de Dados? Falando simplesmente, trata-se de extrair ou minerar conhecimento de grandes volumes de dados. Muitas pessoas consideram o termo Mineração de Dados como sinônimo de Knowledge Discovery in Databases (KDD) ou Descoberta de Conhecimento em Banco de Dados.”.

Ainda de acordo com Amo (2003), o KDD é um processo amplo que consiste de várias etapas, conforme demonstrado na Figura 2:

Figura 2 - Tela inicial da ferramenta online *Google Forms*



Amo (2003) relata as etapas deste processo, que inclui:

- a) Limpeza dos dados: etapa na qual são eliminados ruídos e dados inconsistentes;
- b) Integração dos dados: etapa na qual diferentes fontes de dados podem ser combinadas produzindo um único repositório de dados;
- c) Seleção: etapa na qual são selecionados os atributos que interessam ao usuário. Por exemplo, o usuário pode decidir que informações como endereço e telefone não são de relevantes para decidir se um cliente é um bom comprador ou não;
- d) Transformação dos dados: etapa onde os dados são transformados num formato apropriado para aplicação de algoritmos de mineração (por exemplo, através de operações de agregação);
- e) Mineração: etapa essencial do processo consistindo na aplicação de técnicas inteligentes a fim de se extrair os padrões de interesse;
- f) Avaliação ou Pós-processamento: etapa na qual são identificados os padrões interessantes de acordo com algum critério do usuário;
- g) Visualização dos Resultados: etapa na qual são utilizadas técnicas de representação de conhecimento a fim de apresentar ao usuário o conhecimento minerado.

A ferramenta utilizada para fazer a mine-

ração de dados é o software WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis), desenvolvido pela Universidade de Waikato da Nova Zelândia.

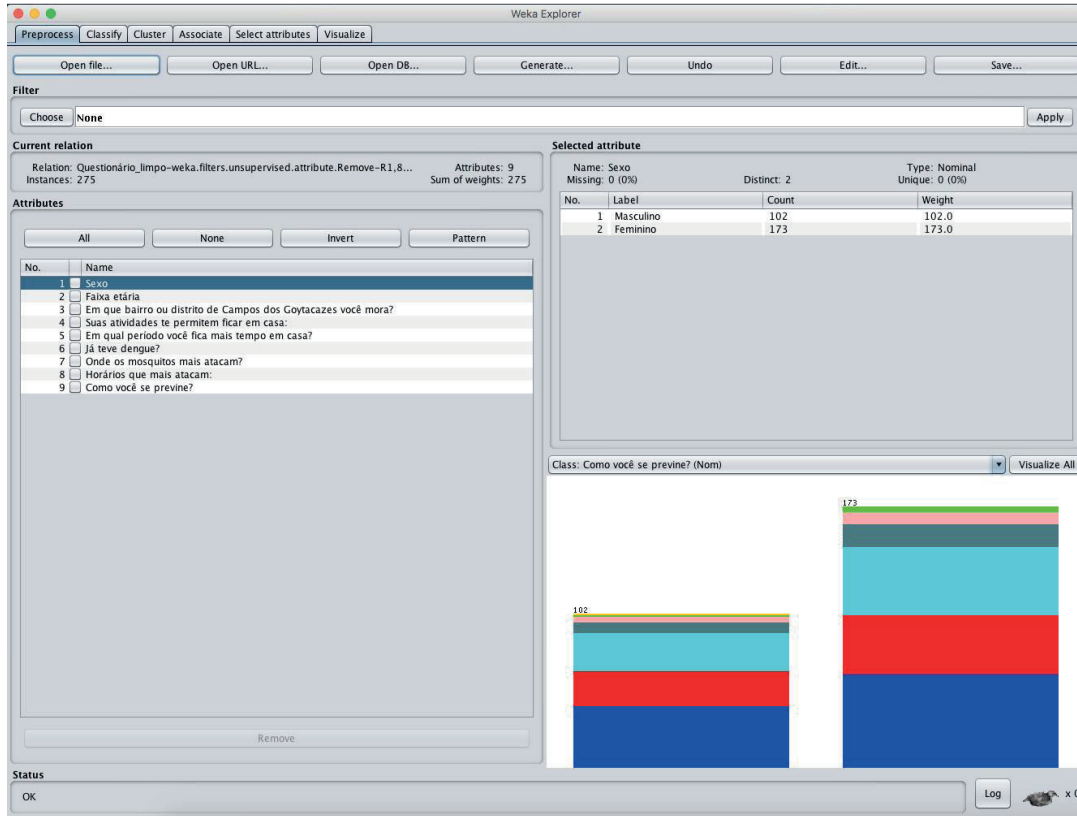
Com o WEKA, foi realizado o processo de clusterização com o algoritmo SimpleK-means, que é um dos mais usados para se trabalhar com regras de associação em bancos de dados, pois ele detecta os itemsets frequentes (L1), que são os conjuntos de itens com um padrão repetitivo (AGRAWAL et. al. 1993).

Para Salvador et. al. (2009), a clusterização, uma das técnicas da mineração de dados, busca agrupar os dados de tal maneira que seja capaz de potencializar a similaridade dos objetos de um mesmo grupo e/ou diferença entre grupos distintos.

De acordo com Tan, Steinbach e Kumar (2009), o objetivo é aprender uma função alvo F para mapear cada grupo de atributos X para um dos rótulos de classes Y pré-determinados.

Com os dados prontos, o WEKA foi configurado para utilizar apenas 9 dos 15 atributos, conforme Figura 3, e foi realizada a etapa da mineração denominada agrupamento ou clusterização. Nesta etapa, o software identifica grupos de objetos através de algumas características em comum ou critérios de similaridade. Um cluster se trata de um conjunto de objetos similares entre si e diferentes dos objetos que pertençam a outros grupos.

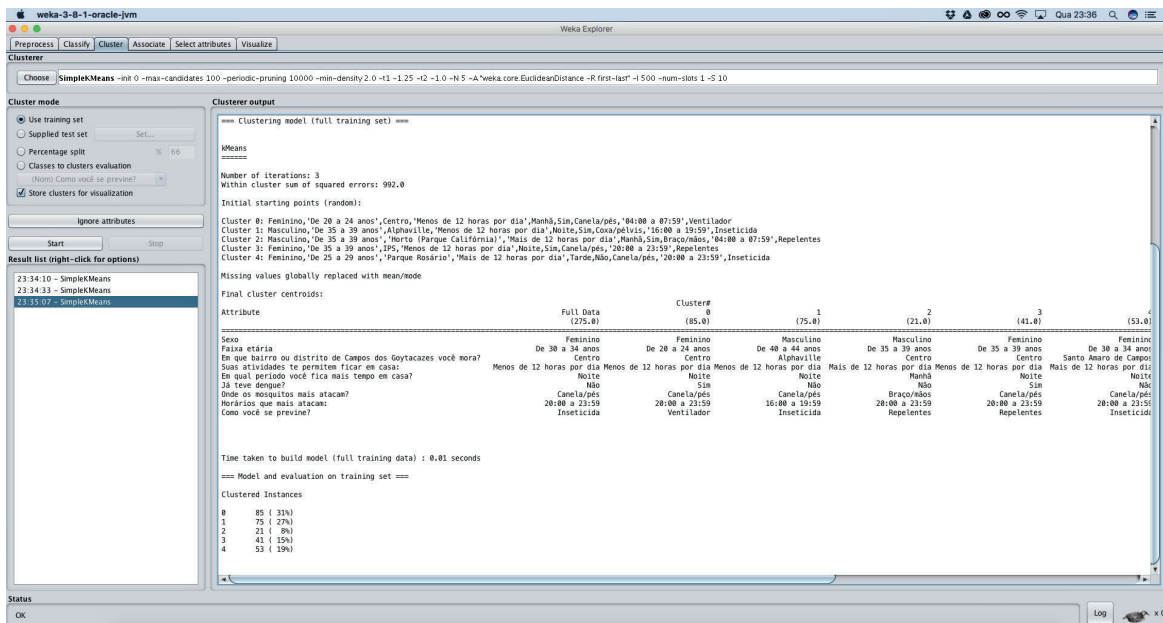
Figura 3 - Tela de processamento do WEKA



Como o objetivo do trabalho é a obtenção conhecimento sobre o comportamento do mosquito Aedes Aegypti e a transmissão da dengue, foram gerados cinco clusters, como indicado na Figura 4, utilizando o algoritmo SimpleKMeans, sendo selecionados apenas

os clusters que indicavam que as pessoas daquele grupo tinham contraído dengue. A partir disso, foram analisados os clusters que apresentavam resultados indicando pessoas que contraíram dengue anteriormente.

Figura 4 - Tela de resultados do WEKA mostrando o processo de clusterização



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise dos dados minerados pelo WEKA, foram destacados apenas os clusters #0 e #3, pois eram aqueles que associavam informações com usuários que declararam na pesquisa já terem contraído dengue pelo menos uma vez.

O Cluster #0, vide Figura 5, indica uma relação entre pessoas do sexo feminino da faixa etária entre 20 e 24 anos, moradoras do Centro e que permaneciam por menos de 12 horas por dia contraíram dengue, mais especificamente na parte da noite.

Figura 5 – Cluster #0 gerado pelo aplicativo SimpleKmeans

```

Cluster#
  0
(85.0)
=====
Feminino
De 20 a 24 anos
Centro
Menos de 12 horas por dia
Noite
Sim
Canela/pés
20:00 a 23:59
Ventilador
    
```

Houve também uma associação relativa à parte do corpo em que teria ocorrido a picada, sendo verificada a opção como principal alvo dos mosquitos. O horário em que as picadas eram mais frequentes é nos horários entre 20:00 e 23:59. O modo

de prevenção de picadas mais utilizado por este grupo é o ventilador.

Já o Cluster #3, representado na Figura 6, indica que pessoas do sexo feminino da faixa etária entre 35 e 39 anos, que moram no Centro e ficam em casa menos de 12h por dia na parte da noite contraíram dengue. A parte do corpo indicada como a de preferência dos mosquitos para atacar seria também a opção “canela/pés”, sendo que esse grupo também percebe que a maioria das picadas ocorre entre 20:00 e 23:59, no entanto o modo de prevenção utilizado é repelente.

Figura 6 – Cluster #3 gerado pelo aplicativo SimpleKmeans

```

Cluster#
  3
(41.0)
=====
Feminino
De 35 a 39 anos
Centro
Menos de 12 horas por dia
Noite
Sim
Canela/pés
20:00 a 23:59
Repelentes
    
```

Há a possibilidade de ser elaborada uma relação entre as vítimas do mosquito da dengue e seu local de trabalho, pois em ambos os clusters indicam que os indivíduos ficam fora de casa mais de 12h por dia. Porém, essa informação pode ser

contestada, visto que o Centro é um bairro de grande densidade populacional, tanto residencial como comercial, ou seja, muitas pessoas moram e trabalham no Centro.

Nota-se também que, nos cluster associados às pessoas que contraíram da dengue, o horário percebido das picadas foi entre as entre 20:00 e 23:59, contrariando o que costuma ser apontado por conhecimento popular, de que o mosquito *Aedes Aegypti* tem hábitos diurnos.

A magnitude da atual epidemia de dengue em grande parte do território nacional permite inferir que as medidas que visavam o combate ao vetor, tais como campanhas de informação e de mobilização de pessoas, fortalecimento da vigilância epidemiológica e entomológica, trabalho de campo, atuação multissetorial e utilização de instrumentos legais, não surtiram o efeito desejado.

Explicações para o relativo fracasso dessas medidas são diversas, desde pouca colaboração da população na prevenção e eliminação de criadouros do mosquito e ocupação desordenada do espaço urbano, até mudanças de hábito. Além disso, incluem-se insuficiência de campanhas oficiais e recursos humanos capacitados para as ações de campo, além da diminuição do investimento nas ações de prevenção de forma geral.

A melhoria das condições higiênico-sanitárias das habitações, coleta apropriada do lixo e fornecimento de água encanada são medidas também importantes no controle da dengue.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação do KDD utilizando o software WEKA 3.8.1 sobre a base de dados meteorológicos mostrou-se uma ferramenta útil para auxiliar na descoberta de conhecimentos relevantes sobre os hábitos do mosquito *Aedes Aegypti*, que podem ser utilizados para futuras ações de prevenção à doença.

Segundo as análises realizadas, pode-se afirmar que há alguns indicativos quanto ao padrão do comportamento do mosquito *Aedes Aegypti*. Observou-se que a maioria das pessoas vítimas da dengue eram mulheres de uma faixa etária mais jovem (entre 20 e 39 anos). Foi percebido também que o Centro foi o bairro que apareceu em ambos os Clusters, bem como o a parte do corpo que sofreu a picada “canela/pés”. Ambos os grupos indicam uma relação com pessoas que ficam menos de 12h por dia em casa, sempre no período da noite, entre 20:00 e 23:59.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se aumentar o número de dados coletados para que se tenha um conhecimento mais real das condições da região nos outros meses do ano, para determinar se há sazonalidade no período de predominância de picadas e/ou na parte do corpo na qual esta ocorre. Isso porque, para compreender uma doença multicausal como a dengue, são necessários mais elementos explicativos, relativos não apenas às características da população, como também do ambiente urbano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo suporte financeiro para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1]. AGRAWAL, R.; IMIELINSKI, T.; SWAMI A. **Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases**. 1993. Disponível em: <<http://arbor.ee.ntu.edu.tw/~chyun/dmpaper/agrama93.pdf>>. Acesso em: 20/07/2017.
- [2]. AMO, S. **Técnicas de Mineração de Dados**. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Computação. 2003.
- [3]. BHATT, S. *et. al.* **The global distribution and burden of dengue**. Nature Vol 496, n. 7446, p 504-507, 2013.
- [4]. BOTHOREL, G.; SERRURIER, M.; HURTER, C. **Utilisation d'outils de Visual Data Mining pour l'exploration d'un ensemble de règles d'association**. Sophia Antipolis, France: lhm'11, 2011.
- [5]. CAROSIA, A.E.; CIFERRI, C.D.A. **Mineração de Dados**. Disponível em <<http://wiki.icmc.usp.br/images/3/3c/BDAmine-racao.pdf>>. Acesso em: 19/07/2017.
- [6]. DONALÍSIO, M.R.; GLASSER, C.M. **Vigilância entomológica e controle de vetores do dengue**. Rev bras epidemiol, v. 5, n. 3. P 259-279, 2002.
- [7]. FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. **From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases**. AI magazine, p. 37-54, 1996
- [8]. GUZMAN, M.G. *et. al.* **Dengue: a continuing global threat**. Nat Rev Microbiol, v. 8, n. 12, p. 7-16, 2010.
- [9]. NASCIMENTO, S.Q. **Utilização da Mineração de Dados para Análise da Tonalidade Musical em Diversos Estilos Musicais**. XIX SIMPEP. 2012.
- [10]. RIGAU-PÉREZ, J.G. **Surveillance for an emerging disease: dengue hemorrhagic fever in Puerto Rico, 1988-1997**. P R Health Sci J, v. 18, n. 4, p 337-345, 1999.
- [11]. SALVADOR, H.G.; CUNHA, A.M.; CORRÊA, C.S. **Vedalogic: um método de Verificação de Dados Climatológicos Apoiado em Modelos Minerados**. Revista brasileira de Meteorologia, v. 24, n. 4, p. 448-460, 2009.
- [12]. TAN, P.; STEINBACH, M.; KUMAR, V. **Introdução ao Data Mining – Mineração de Dados**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda. 2009.
- [13]. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control**. Geneva: World Health Organization, 2009.



APLICAÇÃO DO MRP COMO FERRAMENTA PARA O PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO EM UMA VIDRAÇARIA



Diego Marques Cavalcante
Micheli Silva Sousa
Dayse Kellen Ferreira de
Oliveira

RESUMO

Uma das técnicas que tem contribuído sistematicamente na melhoria dos sistemas de produção é a implantação e utilização de sistemas de Planejamento e Controle da Produção. Este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em uma empresa de vidraçaria, e tem por objetivo a análise da utilização de um sistema de planejamento e controle de produção, o MRP (Material Requirements Planning – Planejamento das Necessidades de Material), em uma empresa de médio porte, que visa uma maior otimização do sistema produtivo através do cálculo correto das necessidades de materiais e da redução dos atrasos de entrega de pedido, além de contribuir para o aumento da produtividade. O estudo se valeu da Classificação ABC para a escolha do produto com maior relevância no catálogo de produção. Foi montada a lista de materiais, construída a árvore do produto e, através do procedimento do cálculo do MRP, elaboradas as planilhas de controle.

Palavras-chave

MRP, classificação ABC, planejamento e controle da produção.

1. INTRODUÇÃO

O grande intuito deste trabalho é entender a importância e como funciona um planejamento para ajudar a produzir e comprar apenas o necessário e apenas no momento certo, visando eliminar estoques para operações de fabricação ou montagem com o desenvolvimento de tarefas como a apresentação dos produtos, estrutura do produto, previsão de vendas do produto, estoques, lead time e lote mínimo, plano mestre de produção, necessidades semanais de materiais a produzir e comprar e a emissão de solicitação de compra e ordem de produção.

O objetivo é desenvolver um trabalho prático baseado na lógica de cálculo do sistema de MRP, o processamento através da mesma sistemática do MRP, que deverá estabelecer o plano de necessidades dos materiais (subconjuntos, componentes e matérias primas) para atender um determinado plano de produção de uma família de produtos acabados. E demonstrar a importância de sistemas de gestão não só nas grandes organizações, mas também em pequenas e médias empresas.

Parametrização é uma atividade que permite que possíveis restrições e características da realidade sejam informadas e, portanto, consideradas pelo sistema. É a forma de adaptarmos o cálculo do MRP às necessidades específicas da organização, que a realidade seja refletida o mais fielmente possível no sistema.

Para entender melhor o MRP se faz neces-

sário conhecer alguns conceitos como a definição de lead times (tempo de espera) consiste no tempo decorrente entre a liberação de uma ordem de compra ou de produção e o momento a partir do qual o material referente à ordem está pronto e disponível para uso.

Definição de estoques de segurança é fazer frente a incertezas em processo de transformação. As razões para uso desses estoques podem ser incertezas quanto à fase de fornecimento do item analisado, quanto ao processo que o produz ou quanto a sua demanda.

Além desses parâmetros é válido ressaltar que para um bom desempenho do MRP também deve ser observado o sistema previsão de vendas e a acurácia dos dados em estoque para garantir um desempenho global da organização onde o sistema se encontra.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Um dos registros mais antigos de produção gerenciada data de cerca 5000 A.C. Monges sumérios já contabilizavam os seus estoques, empréstimos e impostos resultantes de suas transações comerciais (Souza, 2004. Apud Batalha et al 2008). Estratégias formais e consistentes são compostas de três elementos: os objetivos a serem alcançadas, as políticas que orientam os caminhos a serem seguidos ou evitados e os planos ou programas de ação. (QUINN, 1992).

Inicialmente, é importante ter em mente a definição de tais sistemas, revelando

sua forma de aplicação, principalmente dentro de ambientes industriais referindo-se a controle de estoque e a todos os setores de manufatura abrangendo os temas de Sistemas de Produção na evolução do “Planejamento de Necessidades de Materiais” (MRP), bem como suas características, vantagens, desvantagens e exemplos, permitindo que, com base na decisão de produção dos produtos finais, cheguemos ao resultado, determinando o que, quanto e quando produzir e comprar, componentes e matérias-primas.

Segundo Noé (1996):

O sistema de controle de produção MRP, foi concebido a partir da formulação dos conceitos desenvolvidos por Oliver Wight e Joseph Orlicky, “surgiu durante a década de 60, com o objetivo de executar computacionalmente a atividade de planejamento das necessidades de materiais para manufatura, permitindo, assim, determinar, precisa e rapidamente, as prioridades das ordens de compra e fabricação”.

Segundo seus idealizadores, a visão do MRP foi centralizar e integrar informações de negócio de uma maneira que facilitasse as decisões dos gerentes de linha de produção e melhorasse a eficiência da linha de produção como um todo. Segundo Corrêa et al (2011), “em meados dos anos 80, as indústrias desenvolveram sistemas para calcular as necessidades de recursos de um lote de produção baseado nas previsões de demanda”.

Os sistemas MRP auxiliaram os gerentes

a determinar a quantidade e o momento das compras de materiais, preocupando-se, também, com a lista dos materiais comprados; o controle de estoque entre outras características que resultam nos elementos de um sistema MRP.

Segundo Slack et al. (1996) apud Souza (2003):

O MRP (Material Requirements Planning), ou seja, o cálculo das necessidades de material surgiu na década de 60 com o objetivo de auxiliar as empresas no cálculo da quantidade de um determinado produto e em que momento deveria ser produzido tal quantidade.

Para o cálculo da necessidade de material era utilizada uma lista de materiais (BOM – Bill of Materials) e determinados produtos eram compostos por muitos itens, o que dificultava o cálculo. Porém, com o advento de sistemas computacionais capazes de executar tal cálculo, o uso do MRP foi difundido no final dos anos 70 e princípio dos anos 80.

Sendo assim, o objetivo do MRP é executar computacionalmente a atividade de planejamento das necessidades de materiais, permitindo assim determinar, precisa e rapidamente, as prioridades das ordens de compra e fabricação. Os objetivos principais dos sistemas de cálculo de necessidades são:

Permitir o cumprimento dos prazos de entrega dos pedidos dos clientes com mínima formação de estoques, planejando as compras e a produção de itens compo-

mentos para que ocorram apenas nos momentos e nas quantidades necessárias, nem mais, nem menos, nem antes, nem depois (CORRÊA & GIANESI, 1993).

Os gerentes de produção utilizam o MRP com o objetivo, de acordo com Gaither e Frazier (2001), “de melhorar o serviço ao cliente, de reduzir investimentos em estoques e de melhorar a eficiência operacional de fábrica”.

Segundo Corrêa e Gianesi (1993):

O princípio básico do sistema MRP é o cálculo das necessidades, uma técnica de gestão que permite o cálculo, viabilizado pelo uso do computador, das quantidades e dos momentos em que são necessários os recursos de manufatura para que se cumpram os prazos de entrega de produtos, com um mínimo de formação de estoque.

Vollmann et al. (2006) afirma que:

Além das entradas do programa mestre de produção, o MRP requer duas entradas básicas. Uma lista de materiais, para cada número de peça, quais outros números de peças são necessários como componentes diretos. A segunda entrada básica para o MRP é o status do estoque.

Corrêa e Gianesi (1993) afirmam que:

Com a popularização do uso da técnica de cálculo de necessidades de materiais e com mais pesquisas sendo feita quanto à aplicação prática dos princípios do MRP a situações práticas de produção,

não tardou que alguns pesquisadores percebessem que a mesma lógica de cálculo de necessidades poderia, com pouco esforço adicional, ser utilizadas para o planejamento de outros recursos de produção (como as necessidades de mão-de-obra e equipamentos), além dos materiais.

3. METODOLOGIA

Para a aplicação do sistema MRP (material requirements planning) procurou-se uma empresa de montagem e revenda de janelas, portas, Box e balancins de alumínio localizada no município de Abaetetuba na rodovia Dr. João Miranda s/n. No primeiro momento houve a apresentação do sistema MRP (material requirements planning) ao gerente da empresa, depois se fez o levantamento dos produtos vendidos. A empresa em questão trabalha com a representação de uma empresa que fabrica as peças de alumínio e os vidros temperados, ela possui varias linhas de estilo das janelas, portas, Box e balancins, são elas a linha 25, linha Master, linha Gold, linha Suprema e linha imperial.

No estoque da empresa observada havia somente os produtos da linha 25 pelo fato de serem mais populares e mais econômicos, só é feito pedido dos demais modelos diante de uma demanda certa e de grande tamanho, pois a fabricante só vende em lotes. Para simular o MRP escolhemos um item da linha 25 através da construção da tabela de classificação ABC que nos mostrou o produto mais vendido conforme mostra a figura 1 e o gráfico de percentual acumulado demons-

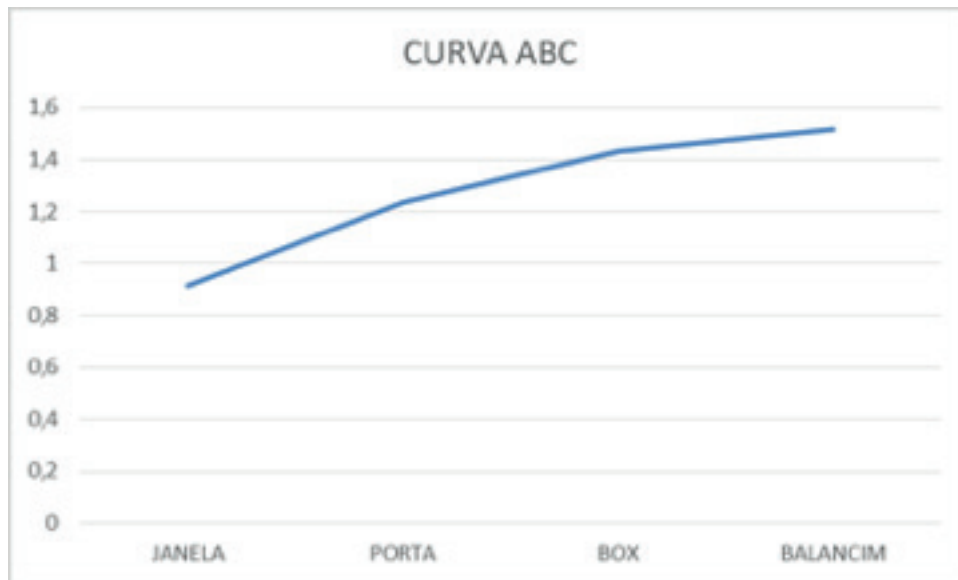
trado na figura 2. Pela classificação ABC o item mais vendido é a janela da linha 25 apresentado na figura 3.

Figura 1 - Tabela de classificação ABC

ITEM	QUANTIDADE	VALOR (R\$)	CUSTO TOTAL (R\$)	% ITEM	CLASS. ACUMULADA (%)	CLASSIFICAÇÃO
JANELA	4	R\$ 375,00	R\$ 1.500,00	0,915751	0,915750916	A
PORTA	1	R\$ 525,00	R\$ 525,00	0,320513	1,236263736	B
BOX	1	R\$ 320,00	R\$ 320,00	0,19536	1,431623932	B
BALANCIM	2	R\$ 69,00	R\$ 138,00	0,084249	1,515873016	C
		soma	R\$ 1.638,00	EPAM	2,431623932	

Fonte: Pesquisa Direta 2014

Figura 2 - Gráfico de Percentual Acumulado



Fonte: Pesquisa Direta 2014

Figura 3 - Janela do Modelo Linha 25

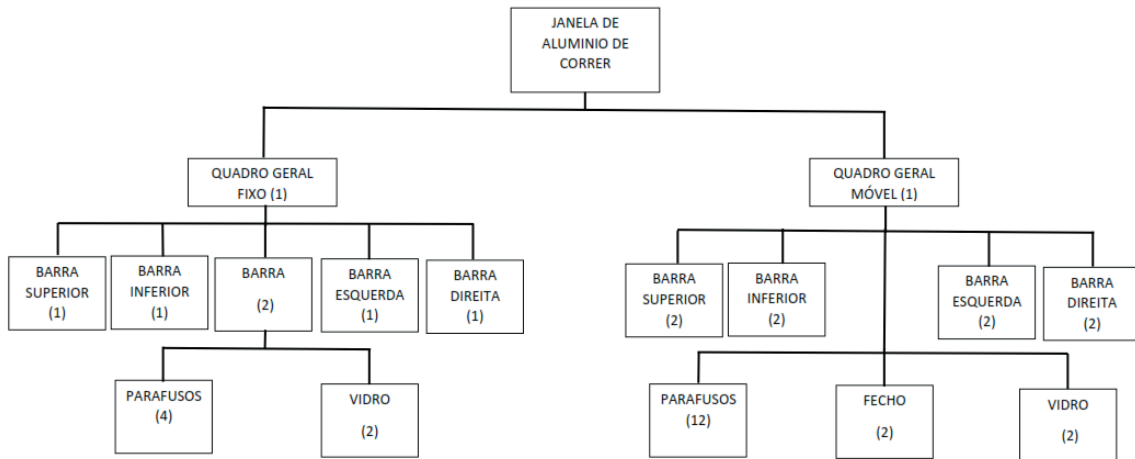


Fonte: Texa Alumínio, Disponível em: <www.texaaluminio.com.br>

Com o item definido foi montada a árvore do produto, figura 4, que possibilitou a

visualização de todos os componentes do produto final, a janela.

Figura 4 - Árvore do Produto



Fonte: Pesquisa Direta 2014

Com esses componentes fez-se a lista endentada, figura 5, com a quantidade dos

materiais e nível de cada item previamente definidos na árvore do produto.

Figura 5 - Lista Endentada de Materiais

LISTA ENDENTADA			
NÍVEL	ITEM	UNIDADE	QUANTIDADE
0---	JANELA	UND	1
-1--	QUADRO GERAL FIXO	UND	1
--2--	BARRA SUPERIOR	UND	1
--2--	BARRA INFERIOR	UND	1
--2--	BARRA ESQUERDA	UND	1
--2--	BARRA DIREITA	UND	1
--2--	BARRA	UND	2
---3-	PARAFUSO	UND	4
---3-	VIDRO	UND	2
-1--	QUADRO GERAL MÓVEL	UND	2
--2--	BARRA SUPERIOR	UND	2
--2--	BARRA INFERIOR	UND	2
--2--	BARRA ESQUERDA	UND	2
--2--	BARRA DIREITA	UND	2
---3-	VIDRO	UND	2
---3-	PARAFUSO	UND	12
---3-	FECHO	UND	2

Fonte: Pesquisa Direta 2014

O próximo passo foi à criação da árvore de prazos, vista na figura 6, baseada no tempo de entrega dos produtos que compõem a janela.

Figura 6 – Árvore de Prazos

ÁRVORE DE PRAZOS	
PRODUTO	PRAZO (SEMANAS)
JANELA	3
QUADRO GERAL FIXO	2
BARRA SUPERIOR	1
BARRA INFERIOR	1
BARRA ESQUERDA	1
BARRA DIREITA	1
BARRA	1
PARAFUSO	1
VIDRO	2
QUADRO GERAL MÓVEL	2
BARRA SUPERIOR	1
BARRA INFERIOR	1
BARRA ESQUERDA	1
BARRA DIREITA	1
VIDRO	2
PARAFUSO	1
FECHO	1

A partir daí baseado nas informações levantadas in loco foram estimadas as necessidades brutas, estoque programado e as recepções programadas. Desenhou-se então o seguinte cenário uma demanda de cinco apartamentos populares em que cada um teria quatro janelas, assim uma demanda de vinte janelas. Tabeledas as necessidades brutas, o estoque programado e as recepções programadas, figura 7, foi feita a matriz MRP presente em anexo.

A Matriz MRP serviu para demonstrar a eficácia desse instrumento de gestão, possível utilização em pequenos empreendimentos e através deste modelo identificar as possíveis ineficiências nos processos de produção e melhorá-las pontualmente acrescentando aos empreendimentos um diferencial diante seus concorrentes de mercado e perante seus consumidores.

Fonte: Pesquisa Direta 2014

Figura 7 - Tabela com Informações

DESCRIÇÃO	ESTOQUE PROGRAMADO	RECEPÇÕES PROGRAMADAS	NECESSIDADES BRUTAS
BARRA SUPERIOR (X3)	60	200	120
BARRA INFERIOR (X3)	60	200	120
BARRA ESQUERDA (X3)	60	100	120
BARRA DIREITA (X3)	60	100	120
BARRA (X2)	40	120	60
PARAFUSO (X16)	320	400	640
VIDRO (X4)	80	200	100
FECHO (X2)	40	100	80

Fonte: Pesquisa Direta 2014

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho demonstra a conceituação

da ferramenta MRP (Material Requirement Planning) bem como sua possibilidade de atuação dentro do processo de compras e serviços de pequenas e médias

empresas. O método MRP (Material Requirement Planning) implica em conferir o planejado, o ocorrido e o administrar para melhorar essas informações de maneira a servir como referência para novas aplicações. É certo que em várias fases poderá originar diferença entre os pontos calculados, e o sistema MRP (Material Requirement Planning) colaborando para a diminuição dessas diferenças e chegar o mais próximo possível dos números previstos. Atualmente existe um grande leque de opções de novas técnicas de otimizações, implantados nas empresas para o controle e planejamento das compras e estoque.

O controle de estoques associado à ferramenta MRP (Material Requirement Planning) constitui um fator determinante para a redução de custos e consequentemente a maximização dos lucros. Hoje, tempo em que a competitividade gera a busca pela agilidade nos processos de produção, esta ferramenta acaba por servir como um diferencial e também como facilitadora dos procedimentos de compra e de recebimento para que sejam executadas com precisão. O sistema MRP (Material Requirement Planning) ajudar a produzir e comprar apenas o necessário e apenas no momento necessário (no último momento possível), visando eliminar estoques, gerando uma série de encontros marcados entre componentes de um mesmo nível, para operações de fabricação ou montagem e hoje o mercado conta com diversas empresas que fornecem softwares de fácil manuseio e que se adequam a diversos tamanhos de empresas.

O principal obstáculo a ser vencido é encontrar o método mais eficaz para atingir o ponto ideal de emissão das ordens de compra, aliado à complexa estrutura para a entrega pontual de matéria-prima, já que vem de outros municípios que por sua vez dependem do repasse da matéria prima que vem de outros estados. Este trabalho visou aprofundar os estudos nesta ferramenta atual e analisar seus impactos sobre a lucratividade das empresas.

A sistematização é simples, porém houve certa dificuldade, pois se exige que o administrador faça um bom detalhamento dos processos produtivos a fim de assegurar as informações apuradas. Com as atuais perspectivas do mercado nacional, a utilização de grandes estoques não se faz necessária, podendo até mesmo comprometer a liquidez da empresa, deste modo à análise minuciosa com relação aos estoques mínimos, tempo de recebimento da mercadoria de cada fornecedor é imprescindível para o sucesso do sistema.

Foram verificados os processos antes da implantação desta ferramenta, e propôs-se o uso desse instrumento de gestão, através de estudos e a simulação de implantação, verificando sua eficácia no auxílio deste método. Onde se demonstrou à empresa uma vantagem, possibilitando maior rapidez do controle de abastecimento e reabastecimento das suas necessidades dentro de suas atividades desenvolvidas, dando o suporte necessário para sua possível melhora e desempenho. O presente trabalho buscou contribuir para diagnosticar a importância de sistemas

de gestão, no caso o MRP (Material Requirement Planning), no planejamento e controle de compras e estoque de uma pequena empresa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sistema MRP (Material Requirement Planning) inspirou mudanças no planejamento da empresa. Os benefícios que podem ser obtidos com o uso desta técnica superam as desvantagens uma vez que propicia maior controle sobre o estoque, maior precisão nos pedidos de compra (serviços) e prazos de entrega. Esses três fatores aliados geram informações mais concretas sobre seus custos e auxiliam o administrador na tomada de decisões.

O uso da ferramenta MRP (Material Requirement Planning), apesar de pecar por limitar seus conceitos às linhas de produção, acaba por influenciar diversos outros setores da organização por gerar maior segurança nos processos produtivos, uma vez que todos os passos são monitorados, planejados e depois analisados para garantir sua eficiência. Com o melhor uso dos níveis de estoque e tempo de armazenamento, observam-se outros três benefícios, resultantes da atuação do MRP (Material Requirement Planning): redução dos níveis de estoque com o aumento de seu giro com base na sua aquisição na quantidade e tempo correto; redução do seu ciclo de fabricação e diminuição no atraso de entrega aos clientes. A implantação deste sistema exige alto grau de envolvimento da alta administração e dos vários níveis e setores direta e indiretamente, e para que esta adaptação

ocorra de maneira coordenada é de suma importância à distribuição das informações entre os envolvidos da empresa.

REFERÊNCIAS

- [1].** BATALHA, Mário Otávio et al. **Introdução à Engenharia de Produção.** 2008 Elsevier Editora Ltda.
- [2].** CORRÊA, H. L.; GIANESII, G. N.; CAON, M. **Planejamento, Programação e Controle da Produção.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- [3].** CORRÊA, H., GIANESI, I. **Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 1996.
- [4].** NOÉ, ARMANDO C. M. J. **Novas Tecnologias e Sistemas de Administração da Produção.** Florianópolis - SC, 1996.
- [5].** QUINN, J. B. **Strategies for Change.** In. New Jersey 1992.
- [6].** SLACK, Nigel; et al. **Administração da Produção.** São Paulo: Atlas, 1999.
- [7].** SOUSA, G. L. **Impacto of alternative flow control policies on value stream robustness under demand instability: a system dynamics modeling and simulation approach.** Tese de Doutorado. Virginia Tech. Blacksburg, VA, 2004.
- [8].** VOLLMANN, T. E. et al. **Sistemas de planejamento e controle da produção para o gerenciamento da cadeia de suprimentos.** 5ª ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2006.

ANEXO

MRP DE CADA PEÇA (JANELA DE CORRER DE ALUMINIO)

Barra Superior (x3) LOTE=200 LD=1	Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
	Necessidades Brutas	120	60	60	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado	-	-	200	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	60	60	0	140	140	140	140	140
Lançamentos Previstos		60							

Barra Inferior (x3) LOTE=200 LD=1	Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
	Necessidades Brutas	120	60	60	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado	-	-	200	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	60	60	0	140	140	140	140	140
Lançamentos Previstos		60							

Barra Direita (x3) LOTE=100 LD=1	Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
	Necessidades Brutas	100	40	40	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado	-	-	100	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	60	40	0	60	60	60	60	60
Lançamentos Previstos		40							

Barra Esquerda (x3) LOTE=100 LD=1	Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
	Necessidades Brutas	100	40	40	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado	-	-	100	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	60	40	0	60	60	60	60	60
Lançamentos Previstos		40							

Métodos Quantitativos - Pesquisa Operacional - Volume 1

		Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Barra (x2) LOTE= 120 LD=1	Necessidades Brutas		60	20	20	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado		-	-	120	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	40	20	0	100	100	100	100	100	100
	Lançamentos Previstos			20						

		Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Parafuso (x16) LOTE= 400 LD=1	Necessidades Brutas		640	320	320	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado		-	-	400	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	320	320	0	80	80	80	80	80	80
	Lançamentos Previstos			320						

		Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Vidro (x4) LOTE= 200 LD=2	Necessidades Brutas		100	20	20	20	0	0	0	0
	Recebimento Programado		-	-	-	200	-	-	-	-
	Estoque Projetado	80	20	0	0	180	180	180	180	180
	Lançamentos Previstos			20						

		Períodos	1	2	3	4	5	6	7	8
Fecho (x2) LOTE= 100 LD=1	Necessidades Brutas		80	40	40	0	0	0	0	0
	Recebimento Programado		-	-	100	-	-	-	-	-
	Estoque Projetado	80	40	0	60	60	60	60	60	60
	Lançamentos Previstos			40						



COMPARAÇÃO DE MODELOS PARA O AJUSTE DA CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO DE AMIDO NATURAL

**Gustavo de Souza Matias
Karoline Yoshiko Gonçalves
Fernando Henrique Lermen
Tânia Maria Coelho**

RESUMO

Ao realizar uma analogia entre o processo de transferência de massa e a lei do resfriamento de Newton, Omoto et al., (2009) obtiveram um modelo teórico para descrever dados cinéticos de hidratação de produtos agroindustriais. Sabendo disso esse trabalho propõe-se a empregar o modelo teórico de hidratação obtido por Omoto e demais autores na hidratação de amido natural e comparar esse modelo a um modelo empírico clássico de hidratação já consagrado na literatura. Para isso dados cinéticos de hidratação de amostras de amido foram colhidos por meio de um experimento realizado com um banho termostático na temperatura de 40 °C, o modelo em estudo foi reescrito de modo a desconsiderar o formato do material estudado, uma vez que o amido não tem forma geométrica definida. Por fim os modelos foram ajustados e tiveram seu ajuste comparado por alguns critérios de comparação onde constatou-se que o modelo de estudado tem potencialidade para ser empregado na modelagem e simulação da cinética de hidratação de amido natural, uma vez que os dados se ajustaram bem ao modelo teórico.

Palavras-chave

Hidratação, Amido Natural, Cinética de Hidratação.

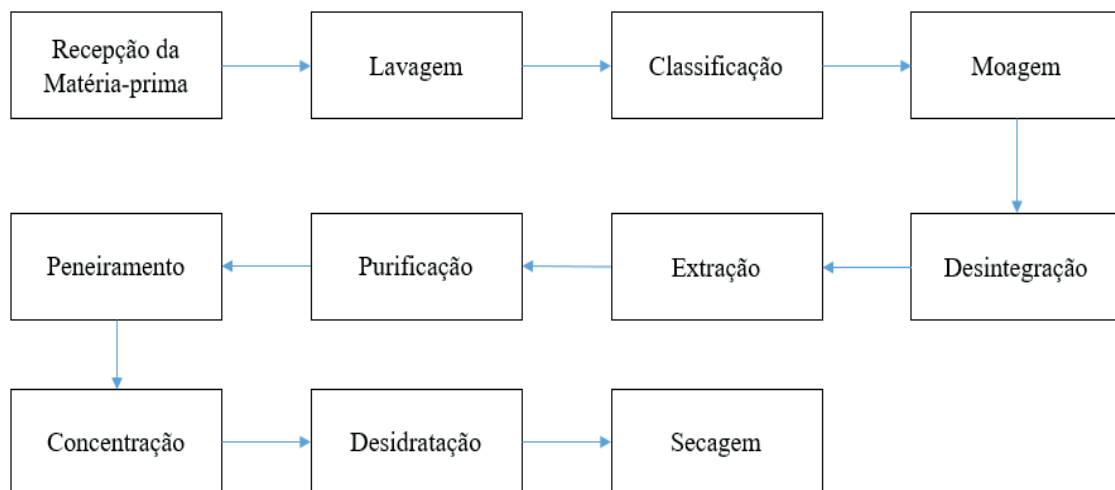
1. INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* cranz) é considerada uma cultura de suma importância em todo o mundo, pois é utilizada na alimentação humana e animal, além de ser matéria prima para outros produtos industrializados, como a fécula de mandioca (MATTOS & CARDOSO, 2003). De acordo Groxko (2016) no ano de 2015 o Brasil produziu 24,108 mil toneladas de mandioca, já a fécula de mandioca, produziu 750 mil toneladas, sendo considerado o segundo maior produtor mundial, atrás somente da Tailândia.

A fécula ou amido é o produto amiláceo comestível extraível de dois tipos de vegetais, aéreos (grãos) e subterrâneos (tubérculos), apresenta características que o diferencia dos demais, atendendo a demanda por aplicações específicas, desta forma, surgem cada vez mais pesquisas de como modificar suas características (ABNT, 1978).

Para a produção da fécula, a raiz de mandioca passa pelas etapas apresentadas na Figura 1

Figura 1 - Fluxograma do processo de produção para obtenção da fécula de mandioca.



As operações de secagem, adsorção e hidratação dos grânulos do amido estão presentes em importantes etapas de purificação do amido natural. A purificação é essencialmente um processo hidrotérmico, no qual o a mandioca triturada é imersa em água potável a uma dada temperatura para realizar a gelatinização total ou parcial do amido presente nele. O processo que acontece quando o amido atinge a temperatura de gelatinização, causa uma ruptura

na estrutura cristalina dos grânulos de amido contidos no produto, começam então a intumescer e a formar soluções consideravelmente viscosas promovendo um excesso de água no grão.

Realizando uma analogia a lei do resfriamento de Newton, Omoto et al., (2009), obtiveram um modelo de hidratação por meio do balanço de massa para o processo de hidratação de grãos de ervilha, o modelo

obtido por esses autores foi ajustado aos dados cinéticos de hidratação de ervilhas com sucesso. Sabendo disso objetivo desse trabalho é empregar o modelo de Omoto et al., (2009), na hidratação de amido natural e comparar esse modelo com um modelo empírico clássico consagrado na literatura na hidratação de produtos agroindustriais. Os autores empregaram esse modelo no ajuste de dados cinéticos de hidratação de ervilha, dessa forma propõe-se emprega o modelo de Omoto et al., (2009), na hidratação de amido natural e comparar esse modelo com um modelo empírico clássico consagrado na literatura na hidratação de produtos agroindustriais.

2. CINÉTICA DE HIDRATAÇÃO

Os fenômenos de secagem e hidratação envolvem transporte de massa, que de acordo com Welty et al., (2007) pode ser definido como o transporte de uma substância da região de maior concentração para a região de menor concentração. Quando um sistema tem dois ou mais componentes a concentração das substâncias pode ser diferente em distintas regiões do espaço nesse sistema, nesse caso existe uma tendência natural de a massa ser transferida minimizando essa diferença de concentração. O transporte de uma substância da região de maior concentração para a região de menor concentração é chamado de Transferência de Massa (WELTY et al., 2007).

A transferência de massa pode ocorrer por dois mecanismos difusão e convecção,

além de também ocorrer por uma combinação dos dois (advecção). No processo de transferência de massa por difusão ocorre a movimentação das partículas a nível molecular, dessa forma o fluido se desloca das regiões de maior concentração para as regiões de menor concentração devido ao gradiente de concentração. O fenômeno da difusão é influenciado diretamente pela temperatura devido ao fato de o aumento de temperatura ser proporcional ao aumento da agitação das partículas proporcionando taxas de transferência de massa maiores (WELTY et al., 2007).

Quando a transferência de massa ocorre com o auxílio do escoamento de um fluido ela é denominada transferência de massa por convecção, a convecção é caracterizada por ser um processo macroscópico e ocorrer em meio poroso (WELTY, et al., 2007). Conforme Defendi (2015), a secagem de produtos agroindustriais na maioria das vezes ocorre por difusão, não sendo influenciada por fatores convectivos. Sobre essa constatação sugere-se que a secagem de amido não é influenciada pela circulação de ar durante o processo.

As cinéticas de hidratação descrevem o processo de hidratação que é um processo de transferência de massa análogo e inverso à secagem, dessa forma um modelo utilizado para descrever a cinética de secagem de determinado objeto também pode ser ajustado com o intuito de descrever a cinética de hidratação de outro objeto. Peleg (1988) apresenta um modelo empírico para ajustar a cinética de hidratação esse modelo foi utilizado

originalmente para o ajuste da cinética de hidratação de arroz e leite em pó, mas nos anos seguintes foi utilizado por diversos autores no ajuste da cinética de hidratação de uma variedade de produtos agroindustriais, tornando-se um modelo clássico, disposto na Equação (1):

$$X(t)=X_0 \pm t(k_0+k_1 t) \quad (1)$$

Sendo: $X(t)$ - teor de umidade do produto em decimal (b.s) em função do tempo de secagem; X_0 - teor de umidade inicial do produto (b.s); k , k_0 , k_1 - constantes de secagem em h^{-1} a, b, c; n - coeficientes dos modelos; t - tempo de secagem em h.

Omoto et al., (2009) fez uma analogia a lei de Newton do resfriamento obtendo um modelo para o ajuste da cinética de hidratação por meio do balanço de massa em termos de densidade dos grãos de ervilha e da água. Por simplificação é possível realizar o balanço de massa em termos do teor de umidade do grão (X), considerando o volume constante obtém-se a relação apresentada na Equação (2):

$$d(X)dt=NA.A \quad (2)$$

Sendo: NA - Fluxo mássico ($g.cm^{-2} min^{-1}$); A - Área superficial do grão m^2 .

Para determinar o fluxo mássico (NA) Omoto et al., (2009), definiram o fluxo mássico em função do produto de uma constante pela diferença entre a densidade de equilíbrio (p_e), onde ocorre estabilização do processo, e a densidade variável ao longo do processo (p), dessa forma os autores obtiveram a seguinte relação:

$NA=K_s(p-p_e)$. O mesmo pode ser feito em relação à o teor de umidade (X), conforme evidenciado pela Equação (3), apresentada a seguir, onde se observa que ao contrario do trabalho de Omoto, et al., (2009) K_s apresenta um sinal negativo o que ocorre devido ao fato de a equação ter sido elaborada conforme o balanço de massa para a secagem, o processo de secagem é um processo inverso ao de hidratação:

$$NA=-K_s(X-X_e) \quad (3)$$

Sendo: K_s - é a constante cinética de transferência de massa ($g.cm.min^{-1}$); X_e - teor de umidade de equilíbrio.

No trabalho de Omoto, et al., (2009), a constante K_s é dada na unidade $cm.min^{-1}$, isso ocorreu devido a os autores trabalharem com a variação de densidade e não de X, pois X é adimensional. Os autores também levaram em consideração a geometria esférica dos granulos com raio (r_0) para determinar a variação de densidade pelo tempo, propondo o mesmo modelo para obter a variação de X pelo tempo tem-se na Equação (4):

$$d(X)dt=-3K_s r_0(X_e-X) \quad (4)$$

Sendo: r_0 - é o raio do grão.

Ao se integrar a Equação (4) obtém-se a seguinte relação: $X=c.exp(-3k_s r_0.t)+X_e$, onde c é a constante de integração, aplicando a condição inicial (t = 0) obtém-se a relação da Equação (5) para a razão de umidade pois c assume o valor X_0-X_e conforme observa-se:

$$X-X_e X_0-X_e=exp(-3k_s r_0.t) \quad (5)$$

X_0 – Teor de umidade em $t = 0$.

Nota-se que o modelo apresentado por Omoto et al., (2009), é um modelo baseado em uma derivada de primeira ordem, portanto é possível generalizar o modelo apresentando na forma de uma derivada de ordem fracionária.

Para ajustar os modelos não lineares podem ser usados diversos métodos matemáticos, como, por exemplo, o Método de Mínimos Quadrados que de acordo com Esteves (2010), consiste em um estimador que minimiza a soma dos quadrados dos resíduos de uma regressão, ou seja, é utilizado quando temos uma distribuição de pontos e queremos ajustar a melhor curva a este conjunto de dados.

2.1. COMPARAÇÃO DE MODELOS NÃO LINEARES

Para a comparação e aceitação de modelos em geral empregam-se critérios baseados em relações quantitativas, esses critérios de comparação de modelos servem para indicar qual o melhor modelo (BURNHAM & ANDERSON, 2004).

Entre os principais critérios de comparação utilizados na literatura para modelos não lineares podemos citar o Erro Quadrático Médio (EQM) e Akaike.

2.1.1. EQM - ERRO QUADRÁTICO MÉDIO

O Erro Quadrático Médio (EQM) de um modelo é dado pelos desvios do modelo, considerando a diferença entre os valores

preditos e os valores experimentais ou reais (VIEIRA, et al., 2008). O EQM é apresentado na Equação (6):

$$EQM = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / j \quad (6)$$

Sendo: y_i – i-ésimo valor da resposta; \hat{y}_i – Estimativa de y_i ; j – Número de observações da amostra.

Quanto menor o EQM melhor um modelo representa o processo, pois, os dados simulados são mais próximos dos reais.

2.1.2. RAIZ DE EQM

Hallak e Pereira Filho (2011) empregam a Raiz de EQM como Critério de Informação, a Equação (7) apresenta a relação utilizada pelos autores para calcular o critério:

$$\text{Raiz de EQM} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 / j} \quad (7)$$

A Raiz de EQM proporciona a vantagem de estimar o modulo do erro em suas proporções reais (HALLAK & PEREIRA FILHO, 2011).

2.1.3. AIC - CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO DE AKAIKE

Conforme Akaike (1974), o viés dos dados é fornecido de forma assintótica pelo número de parâmetros a serem estimados no modelo, dessa forma o autor definiu um critério de informação pela relação da Equação (8):

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (8)$$

L – valor da função máxima verossimilhança do modelo.

O modelo Akaike baseia-se na existência de um modelo real que é desconhecido, dessa forma busca quantificar a diferença entre o modelo avaliado e esse modelo real desconhecido. Portanto, quanto menor o valor de Akaike para o modelo melhor o modelo se ajusta aos dados experimentais. O Critério de Informação Akaike pode ser empregado para comparar diversos modelos (AKAIKE, 1974)

2.1.4. BIC- CRITÉRIO DE INFORMAÇÃO BAYESIANO

O Critério de Informação Bayesiano é um modelo proposto por Schwarz (1978), sendo representado pela Equação (9):

$$BIC = \ln(j)k - 2\ln(L) \quad (9)$$

O critério da Informação BIC de Schwarz (1978) é semelhante ao modelo proposto por Akaike (1974), porém em estrutura Bayesiana.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do experimento foram empregados os seguintes materiais: Estufa, Banho termostático, cronometro, Peneira Tyler Mesh 500 e balança analítica. Primeiramente foram separadas duas amostras do mesmo amido natural, uma foi para a secagem de 48 horas a 105°C em estufa e outra foi levada ao banho termostático a temperatura de 40 °C de modo que sua pesagem foi realizada em intervalos pré-determinados de tempo. Dessa forma obteve-se a massa seca da amostra. A

massa úmida nesse caso é determinada por balanço de massa conforme a Equação 10:

$$Mu = Mt - Ms \quad (10)$$

Onde: Mu- Massa úmida kg; Mt- Massa total kg; Ms- Massa seca kg.

Conhecendo-se Mu e Ms é possível determinar o teor de umidade (X) dos grânulos do amido em kg de água por kg de solido seco (b.s), como é demonstrado pela Equação 11:

$$X = \frac{Mu}{Ms} \quad (11)$$

Por balanço de massa a umidade nos diferentes intervalos de tempo de hidratação é determinada, esse experimento foi realizado em duas repetições de modo que trabalhou-se com as médias na determinação da cinética.

Com o objetivo de avaliar o modelo de Omoto et al., (2009) na representação da cinética de hidratação de amido natural esse modelo foi reescrito de modo a desconsiderar a forma geométrica do material uma vez que o amido ao contrário de grãos o amido não tem uma forma geométrica definida.

O modelo de Omoto et al., (2009) reescrito como foi empregado nesse trabalho é evidenciado pela Equação (12) apresentada a seguir, nota-se que o formato é desconsiderado uma vez que o raio do grão é uma constante e isso não influencia o ajuste apenas o valor da constante do modelo, o modelo também foi rearranjado em termos de X para facilitar a comparação com o modelo de Peleg:

$$X=(X_0-X_e)\exp(-k_s.t)+X_e \quad (12)$$

O ajustes dos modelos foi realizado pela função nls() do software R desenvolvido por R Core Team (2016), com o objetivo de testar a aceitabilidade do modelo de Omoto et al., (2009) para o ajuste de dados cinéticos de hidratação de amido natural, esse modelo foi comparado com modelos clássicos. Para a comparação dos modelos foram empregados os critérios AIC, BIC, EQM e \sqrt{EQM} .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados cinéticos representados pela variação da umidade em relação ao tempo no processo de hidratação de amido natural a 40°C são demonstrados na Tabela 1, nela estão presentes as duas repetições do experimento e a média que foi empregada diretamente no ajuste dos modelos.

Tabela 1 – Cinética de hidratação para as duas amostras de amido natural

Tempo (s)	Repetição 1	Repetição 2	Média
	X(kg H2O/ kg s.s)	X(kg H2O/ kg s.s)	X média (kg H2O/ kg s.s)
0	0,19047619	0,19047619	0,19047619
15	1,595238095	1,5	1,547619048
30	2,142857143	2,071428571	2,107142857
45	2,166666667	2,238095238	2,202380952
60	2,476190476	2,404761905	2,44047619
90	2,5	2,523809524	2,511904762
120	2,547619048	2,523809524	2,535714286
150	2,595238095	2,595238095	2,595238095
180	2,666666667	2,642857143	2,654761905
240	2,666666667	2,666666667	2,666666667
300	2,69047619	2,666666667	2,678571429
360	2,69047619	2,738095238	2,714285714
420	2,714285714	2,642857143	2,678571429
480	2,523809524	2,571428571	2,547619048
540	2,619047619	2,523809524	2,571428571
600	2,642857143	2,595238095	2,619047619

A partir dos dados cinéticos da Tabela 1 foi realizado o ajuste dos parâmetros do modelo pelo software R, o valor dos parâmetros de ajuste de cada modelo demonstrado na Tabela 2 apresentada a seguir.

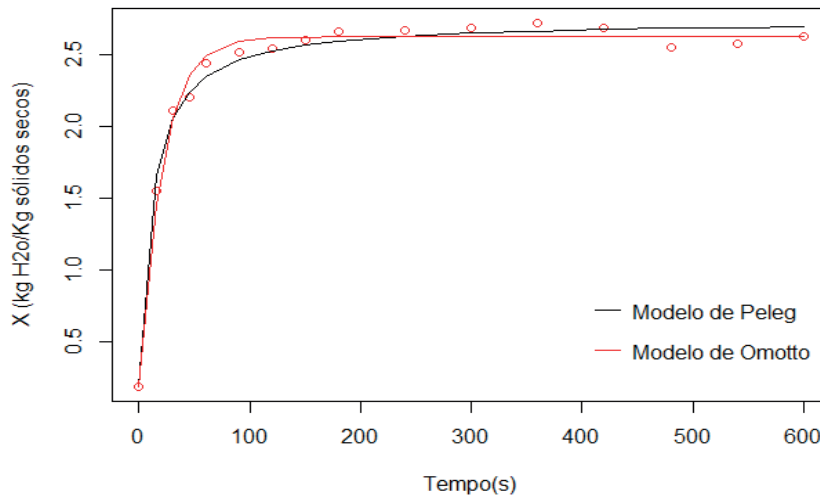
Tabela 2 – Valores ajustados dos parâmetros dos modelos

Peleg	Omoto
= 4.3089	= 0.04893
= 0.3929	

Com a finalidade de comparar o ajuste do modelo de Omoto com o modelo de Peleg foi construído o Gráfico da Figura 2,

por ele é possível observar o ajuste dos modelos aos dados.

Figura 2 - Ajuste dos modelos aos dados cinéticos de hidratação de amido natural



Por meio do gráfico observa-se que a curva apresenta um crescimento logarítmico nos primeiros momentos, porém tende a se estabilizar com o passar do tempo, também se observa que ambos os modelos comportam bem os dados. Para determinar qual modelo se ajustou melhor aos dados foram empregados os critérios de comparação de modelos AIC, BIC, EQM e \sqrt{EQM} , cujos valores para o ajuste dos modelos são apresentados na Tabela 3.

Quanto menor o valor dos 4 critérios de comparação melhor o ajuste proporcionado pelos modelos, ao que a Tabela 3 indica o modelo de Omoto foi o que melhor se ajustou aos dados, isso indica que esse modelo pode ser empregado com sucesso no ajuste de dados cinéticos da hidratação de amido natural.

Tabela 3 – Critérios de comparação de modelos

Critério	Peleg	Omoto
AIC	-34.26015	-36.40111
BIC	-31.94238	34.85593
EQM	0.004728553	0.004687076
\sqrt{EQM}	0.06876447	0.06846222

O modelo de Peleg que é um modelo já consagrada na literatura para o ajuste da cinética de hidratação de materiais agroindustriais, teve resultados inferiores ao modelo de Omoto apesar de próximos para os 4 critérios. Vale ressaltar que os modelos AIC e BIC penalizam o modelo pelo número de parâmetros, portanto quanto menor o número de parâmetros menor o valor desses critérios, isso reforça o fato de o modelo de Omoto ter se saído bem perante a comparação nesses critérios. Porém, os resultados do modelo de

Omoto também foram superiores em relação a EQM e $\sqrt{\text{EQM}}$.

Além de indicarem que o modelo de Omoto pode ser empregado com sucesso no ajuste da cinética de hidratação de amido natural os resultados desse trabalho também abrem caminho para que esse modelo possa ser empregado na simulação e otimização do processo de hidratação de amido natural, o que demandaria um ajuste para mais amostras em diferentes temperaturas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse trabalho indicam que o modelo de Omoto pode ser empregado com sucesso no ajuste de dados cinéticos de hidratação de amido representado bem a variação da umidade em relação ao tempo.

Para novas pesquisas sugere-se empregar esse modelo na simulação da cinética de hidratação para uma faixa de temperaturas com um modelo generalizado para diversas temperatura é possível realizar a otimização do custo do banho termostático empregado no processo de hidratação de amido.

REFERÊNCIAS

[1]. ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. **Amidos e Féculas**. Resolução - CNNPA nº 12, de 1978.

[2]. AKAIKE, H. **A new look at the statistical model identification**. IEEE Transactions on Automatic. IEEE Transactions on

Automatic, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974.

[3]. BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. **Multimodel inference: understanding aic and bic in model**. Sociological Methods and Research, Beverly Hills, v. 33, n. 2, p. 261-304, 2004.

[4]. DEFENDI, R. C. **Otimização da secagem periódica de soja em leito fixo**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

[5]. ESTEVES, E. **Regressão não linear usando o Solver® do Microsoft Excel®**. Instituto superior de Engenharia. Universidade Algarve, Campus Penha. Faro. 2010.

[6]. GROXKO, M. **Análise Da Conjuntura Agropecuária Mandioca - Safra 2015/16**. Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento – SEAB, 2016.

[7]. HALLAK, R.; PEREIRA FILHO, A. J. **Metodologia para análise de desempenho de simulações de sistemas convectivos na região metropolitana de São Paulo com o modelo ARPS: sensibilidade a variações com os esquemas de advecção e assimilação de dados**. Revista Brasileira de Meteorologia, 26, n. 4, 2011. 591-608.

[8]. LI, Q.; SHU, S.; ZENG, Q. **A fractional kinetic model for drying of cement-based porous materials**. Drying Technology, v. 34, p. 1231-1242, 2016.

[9]. MARQUES, B. C. **Cinética de hidratação de grãos de milho transgênico e convencional e estudo de suas propriedades físico-químicas e tecnológicas**.

p. 124. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

[10]. MATTOS, P. L. P. de; CARDOSO, E. M. R. **Cultivo de Mandioca para o Estado do Pará.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2003.

[11]. OMOTO, E. S.; ANDRADE, C. M. G.; JORGE, R. M. M.; COUTINHO, M. R.; PARAÍSO, P. R.; JORGE, L. M. M. **Modelagem matemática e análise da hidratação de grãos de ervilha.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 29, n. 1, p. 12-18, 2009.

[12]. PELEG, M. **An empirical model for the description of moisture sorption curves.** Journal of Food Science, v. 52, n. 4, p. 1216-1219, 1988.

[13]. SCHWARZ, G. **Estimating the dimensional of a model.** Annals of Statistics. Annals of Statistics, Hayward, v. 6, n. 2, p. 461-464, 1978.

[14]. VIEIRA, F. H. T.; SOUSA, L. M. C.; LING, L. L. **Esquema de controle adaptativo de tráfego de redes baseado em um algoritmo de predição fuzzy.** Sba Controle & Automação, Goiás, v. 19, n. 3, p. 281-301, 2008.

[15]. WELTY, J. R.; WICKS, C. E.; WILSON, R. E.; RORRER, G. R. **Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer.** 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.



METODOLOGIA PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE ELABORAÇÃO E ANÁLISE DE PROJETOS DE LINHAS AÉREAS RURAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Leonardo da C. Brito
Adson S. Rocha
Cássio L. Ribeiro
Denner M. de Carvalho
Pedro H. S. Palhares

RESUMO

Neste artigo é apresentada uma nova metodologia dirigida ao aumento da eficiência do processo de dimensionamento e aprovação de projetos de linhas rurais aéreas de distribuição de energia elétrica. Em substituição ao processo sequencial atualmente empregado, a abordagem proposta é baseada em Engenharia Simultânea, onde todos os atores do processo têm acesso à ferramenta computacional em plataforma web que permite implementar a metodologia, possibilitando realizar a atividade multidisciplinar em paralelo, de maneira mais ágil. As estimativas realizadas indicam que a ferramenta possibilitará a redução do tempo gasto para a elaboração e aprovação dos projetos, permitindo: reduzir o custo total em homem-hora despendido pela empresa de energia elétrica; satisfazer a necessidade do cliente de maneira mais rápida; otimizar os dimensionamentos mecânicos das linhas de distribuição; e prover ganho financeiro adicional à concessionária devido à redução do tempo médio para efetivamente iniciar o fornecimento da energia elétrica.

Palavras-chave

Otimização, Projeto, Distribuição, Energia Elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Para atendimento de uma unidade consumidora de energia elétrica, é necessário que o cliente interessado solicite o fornecimento de energia à responsável pela concessão da distribuição de energia da região, processo realizado através de conexão com a rede elétrica existente. Após ser realizada essa solicitação de demanda, a concessionária define as ações necessárias ao atendimento, podendo ser por meio de serviço executado pela própria concessionária ou pelo cliente no âmbito particular. Esses serviços são executados de acordo com as diretrizes e prazos estabelecidos pela resolução normativa vigente (ANEEL, 2010).

Em seguida, é realizado o processo de aprovação do projeto para atender à referida unidade consumidora. Em se tratando especificamente do processo de aprovação de projetos para atendimentos de áreas rurais, foco deste trabalho, é necessário primeiramente a avaliação do sistema por meio de estimativa do fluxo de potência demandado e da disponibilidade de carga da rede de distribuição de energia elétrica por parte da fonte geradora. Nesse momento, são definidas as características elétricas, tais como: tensão elétrica de operação, pré-encaminhamento da rede com posicionamento dos pontos de derivação e ponto de entrega por parte da concessionária. Com essas definições de planejamento, são realizadas as etapas de levantamento do perfil planialtimétrico do caminho que a rede irá percorrer e, em seguida, a elaboração do projeto eletromecânico para posterior

análise por parte dos Engenheiros analistas responsáveis na concessionária.

A etapa de levantamento topográfico é de grande relevância no processo de aprovação de projeto, sendo atualmente executada exclusivamente por profissionais agrimensores. No momento do levantamento dos dados topográficos *in loco*, esse profissional, que na maioria das vezes não possui acompanhamento de um técnico especialista em projeto de redes de distribuição de energia elétrica, acaba sendo forçado a realizar decisões significativas na etapa de elaboração do projeto, podendo acarretar até mesmo a inviabilidade no dimensionamento eletromecânico. Com isso, ocorrem retrabalhos e, em sua maioria, sendo necessário novos levantamentos em campo, atrasando todo o processo de elaboração e aprovação do projeto.

Outro fator preponderante no processo de aprovação de projetos se dá nas etapas de dimensionamento e análise de projetos. O processo de locação dos postes e estruturas de sustentação das redes de distribuição de energia são realizados manualmente, ponto-a-ponto, e exigindo mão-de-obra qualificada para avaliação técnica-econômica. Os erros e equívocos no dimensionamento eletromecânico do projeto é tão comum, que exigem várias correções e redimensionamentos, de tal forma a ocorrer, em muitos casos, mais de três reprovações por projeto. E, dado o tempo de análise exposto pela normativa vigente para cada análise/reprovação, o prazo para aprovação de projeto acaba gerando uma perda significativa tanto para

o consumidor que necessita da energia elétrica, quanto para a própria concessionária que perde financeiramente meses de consumo de um cliente.

Após concluída a elaboração do projeto, o mesmo é submetido à análise da concessionária. Nesta etapa, por se tratar de um atendimento em uma área rural, o analista estuda o encaminhamento proposto de forma a evitar desvios desnecessários, o qual acarretaria maiores custos para a concessionária, caso o projeto possua uma maior extensão ou até mesmo um dimensionamento não-ótimo das estruturas. Atualmente, para essa análise, é necessária a avaliação por meio de vários softwares diferentes, como por exemplo o encaminhamento e perfil planialtimétrico através do Google Earth (GOOGLE, 2017a) e comparação com o cadastrado nas ferramentas de dimensionamento, que em muitos casos, não possui avaliação de altimetria, sendo essa uma das principais características a serem observadas nesse tipo de projeto. Por se tratar de um conhecimento específico e a análise demandar diversos meios e métodos, o processo de elaboração e aprovação demanda um tempo considerável de profissionais extremamente qualificados, gerando custo para a concessionária.

A solução identificada para contribuir para a melhoria do processo de elaboração de projetos em áreas rurais foi o desenvolvimento de uma metodologia baseada em Engenharia Simultânea (PIMENTEL, 2003; FILHO, 2006; GONÇALVES, 2007; PRASAD 2011), implementada por meio de uma ferramenta computacional de

dimensionamento que emprega, adicionalmente, otimização computacional para locação das estruturas com avaliação de todas as solicitações mecânicas pertinentes, evitando equívocos de dimensionamento. Especialmente, a ferramenta oferece a funcionalidade de análise de topografia por meio do emprego de API do Google Maps (GOOGLE, 2017b) integrada à solução, sendo possível criar propostas de encaminhamentos previamente analisados, de forma orientar os profissionais de topografia através de uma plataforma *web* amigável, podendo também ser atualizada em tempo real quando conectada a uma fonte de internet. A ferramenta descrita, devido à essa integração, proporciona análises de forma imediata e comparativa, minimizando o tempo de análise, otimizando todo o processo.

2. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta neste trabalho é composta por um processo que visa a melhoria global do fluxo de projeto de rede rural aérea de distribuição de energia elétrica, com o objetivo de reduzir o tempo para aprovação, bem como de um método que objetiva melhorar a qualidade técnica das soluções de locação de montagens, concomitantemente com a minimização dos custos estimados para implantação física da rede (BRITO, 2017).

2.1 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO AUTOMÁTICO

O processo de dimensionamento mecânico geralmente é realizado a partir de cálculos aproximados de forças e momentos mecânicos impostos às estruturas, bem como de catenárias que os alimentadores (cabos) formam ao longo dos vãos entre montagens - montagem, neste trabalho, é referente ao conjunto formado pelo poste, pelos eventuais estais de sustentação dos postes e pelas estruturas de sustentação dos alimentadores, tais como cruzetas, isoladores e mãos-francesas, como ilustrado na Figura 1(a). Os cálculos mecânicos são realizados para verificar se os elementos da montagem proposta suportam os esforços aplicados e os cálculos de catenárias permitem garantir que as distâncias mínimas entre o alimentador e o solo, impostas por normas, sejam respeitadas.

Quanto ao método de avaliação mecânica, emprega-se primeiramente um algoritmo de análise mecânica matricial de estruturas, alimentada pelos esforços aplicados pelos cabos, distâncias de montagem das estruturas de isolamento, massas dos componentes elétricos de operação, cargas de ruptura e pelo vento incidente nas estruturas que compõem a rede. Os esforços aplicados pelos cabos são calculados segundo (LABE-GALINI, 2009) e as forças e momentos resultantes nas montagens são calculados matricialmente (WILLIAMS, 2009), como ilustrado na Figura 1(b). Com estes resultados e considerando-se também as resistências que estais aplicados oferecem aos esforços, as possíveis violações de forças e de momentos mecânicos máximos suportados nos elementos que compõem as montagens, bem como nos cabos, são

avaliadas e convertidas em um valor numérico de avaliação, o qual é utilizado para guiar o processo de otimização.

Cabe ressaltar que a referida avaliação numérica também é impactada por violações referentes às alturas mínimas cabo-solo que, por norma, devem ser respeitadas. Quanto mais se viola esse limite, mais se penaliza a avaliação numérica da proposta de solução.

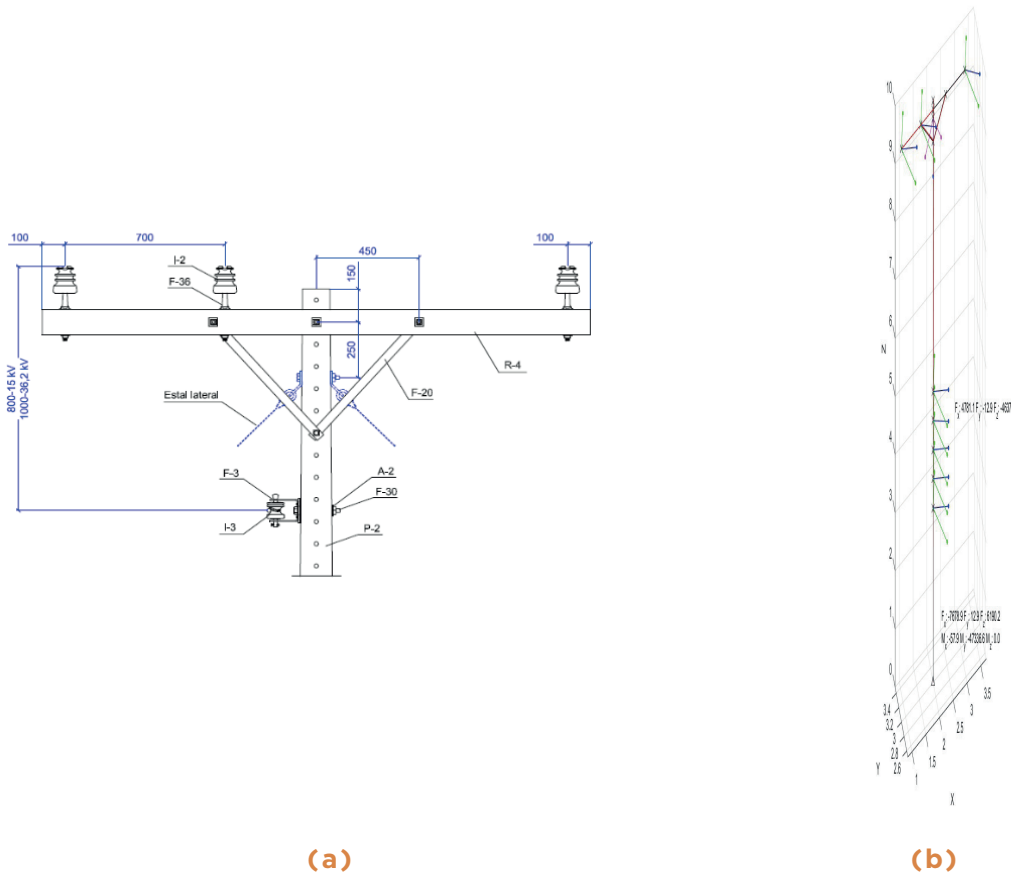
Desta forma, aplica-se a equação (1) para avaliação mecânica da linha, a qual envolve as trações nos condutores T , os momentos nas bases dos postes (engastamentos) M_b , os momentos nas bases das mãos-francesas M_f e as forças aplicadas nos isoladores F_p , os quais são comparados, respectivamente, com os valores nominais de resistência mínima à tração do condutor T_{nom} , momento máximo suportado pelo engastamento $T_{b,nom}$, o momento máximo tolerado na mão-francesa T_f,nom e esforço máximo suportado pelo isolador F_p,nom . Outro critério empregado refere-se às distâncias cabo-solo D nos vãos, que não podem ser inferiores ao limite mínimo exigido por norma D_{min} .

$$h(X) = \sum_{i=1}^n \left[\langle M_b^{(i)} - M_{b,nom}^{(i)} \rangle - \langle M_f^{(i)} - M_{f,nom}^{(i)} \rangle \right] + \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^{k(i)} \langle F_p^{(i,j)} - F_{p,nom}^{(i,j)} \rangle \right] + \sum_{i=1}^m \left[\sum_{j=1}^{j(i)} \langle T^{(i,j)} - T_{nom}^{(i,j)} \rangle + \langle D_{min}^{(i,j)} - D^{(i,j)} \rangle \right] \quad (1)$$

Na equação (1), o operador $\hat{v} = \max(0, v)$, maior valor entre 0 (zero) e v , dá o quanto a respectiva restrição foi violada numericamente. A variável X denota a configuração avaliada (montagens e cabos e suas disposições físicas), n é o número de montagens

(postes e suas estruturas), $k^{(i)}$ é a quantidade de isoladores do poste i , m é a quantidade de vãos e $l^{(i)}$ é a quantidade de cabos no vão i . Pretende-se, assim, minimizar a função $h(X)$, cujo valor mínimo é zero, significando que nenhuma restrição técnica foi violada.

Figura 1 – (a) Exemplo de montagem (poste, cruzeta, mão-francesa e isoladores). (b) Forças e momentos em uma estrutura N: em verde, as forças aplicadas pelos cabos; em azul, as forças resultantes para cada cabo; em magenta, as forças resistentes dos estais.



Fonte: (CELG D, 2016b).

Por sua vez, o custo da solução é avaliado pela equação (2), na qual: V_{mont} é o valor estimado da montagem, somando-se os preços do poste, da estrutura, dos isoladores e dos demais elementos; U_{cabo} é o valor do alimentador empregado por unidade de comprimento; e L é o comprimento utilizado do cabo no vão.

$$f(X) = \sum_{i=1}^n V_{mont}^{(i)} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{l^{(i)}} U_{cabo}^{(i,j)} \cdot L^{(i,j)}$$

(2).

Portanto, o problema de otimização pode ser expresso na forma da equação (3).

$$\begin{aligned} &\text{minimize } f(X) \\ &\text{sujeito a } h(X) = 0. \end{aligned} \quad (3).$$

Quanto ao método de otimização, a seguir, são apresentados: o procedimento principal recursivo, o qual permite varrer a rede de distribuição, iniciando nas terminações da rede e finalizando no seu ponto inicial, pertencente à linha principal; o método para a geração da solução inicial, a qual impacta fortemente na qualidade da solução final; e a forma como foi concebido o conceito de vizinhança para o problema, o qual confere uma maior capacidade de convergência para o método proposto.

O procedimento principal, o qual permite varrer a rede de distribuição de energia elétrica, é apresentado sob a denominação "*Otimiza_linha*". Este, recursivamente, acessa os ramais (linhas derivadas) da linha corrente, caso existam, até encontrar linhas que não tenham derivações para efetuar suas otimizações de forma independente. Os resultados são, então, retro-propagados para as linhas das quais essas derivaram, otimizando-as recursivamente.

O procedimento "*Gera_Solução_Inicial*" corresponde a gerar uma proposta inicial onde os postes são alocados seguindo uma distribuição aproximadamente uniforme ao longo do trajeto, sendo o número inicial de postes calculado a partir do vão médio típico correspondente ao cabo pré-selecionado para o projeto.

O procedimento "*Aloca_Estruturas*", apresentado em seguida, insere ou remove postes iterativamente, de forma que a configuração mínima em perfeita conformidade, no sentido de satisfação de todos os critérios técnicos, seja alcançada. Este

procedimento permite reduzir o número necessário de montagens, o que consequentemente reduz o custo da solução.

O procedimento "*Itera_Otimização*" é responsável por prover uma resposta ótima ou quase-ótima, ao variar e avaliar iterativamente as soluções correntes.

A variação, denotada por "*Varia_Linha*" corresponde a, primeiramente, escolher aleatoriamente se a variação se dará ou por alteração da altura do poste, ou por alteração do tipo de estrutura ou por reposicionamento de um poste, também selecionado aleatoriamente, em uma posição vizinha à corrente, dentro da trajetória pré-estabelecida inicialmente. Em seguida, a modificação na linha é realizada. Por exemplo, poder-se-iam empregar 3 tipos de estrutura, {N1; N2; N4}, bem como três configurações de postes, cada um com uma altura e resistência associadas, {10 m e 300 daN; 11 m e 300 daN; 12 m e 600 daN}. Caso a alteração seja de estrutura, uma opção entre {N1; N2; N4} é sorteada, após excluir a configuração corrente do conjunto. O mesmo se dá se a alteração se der alterando-se o poste empregado. Assim, uma entre as opções {10 m e 300 daN; 11 m e 300 daN; 12 m e 600 daN} é selecionada, desconsiderando-se o poste correntemente empregado. Ademais, se a alteração se der por posição da montagem, uma posição vizinha à posição corrente é gerada empregando-se a expressão (4).

$$x_n = x_c + \sigma \cdot N(0,1) \quad (4).$$

Em (4), x_n é a nova posição da montagem, x_c é a posição corrente da montagem, $N(0,1)$

é um número aleatório gerado a partir da função densidade de probabilidade normal (ou gaussiana) canônica, com média zero e variância unitária. O parâmetro σ é o desvio-padrão aplicado à distribuição normal, o qual é dado por uma fração do vão médio (média entre os valores do vão anterior e do vão posterior à montagem em questão). Adotou-se 1/10 para a referida fração neste trabalho. Cabe ressaltar que as montagens que delimitam o início e o fim da linha, bem como aquelas alocadas em pontos de mudança de direção (deflexão) e de ramificações de rede, não podem ter suas posições alteradas.

De forma geral, trata-se de um algoritmo do tipo *Hill Climbing* (ENGELBRECHT, 2007; MICHALEWICZ, 2009), no qual a solução corrente é substituída pela solução vizinha sempre que esta última se mostra melhor. Associado a este algoritmo, foi empregada a “regra do 1/5” (MICHALEWICZ, 2009) para controlar o passo de variação das posições dos postes, visando convergência mais rápida e robusta. Ou seja, o desvio s é adaptado ao longo do processo de busca da solução; tem seu valor aumentado (dobrado) quando a taxa de sucesso de geração de soluções vizinhas é grande (maior ou igual a 1/5), ao passo que é reduzido à metade quando tal taxa é pequena. O procedimento de atualização do seu valor é realizado a cada 30 iterações de “*Itera_Otimização*” neste trabalho.

Procedimento *Otimiza_Linha*
(entrada: **Rede**)

Linha \rightarrow *Gera_Solucao_Inicial*

(**Rede**) ;

Se **Linha** tem ramais

Para cada **Ramal** da

Linha

Ramal \rightarrow *Otimiza_*

Linha (Ramal) ;

Fim Para

Fim Se

RedeOtimizada \rightarrow *Aloca_Estru-*
turas (Linha) ;

Retorna **RedeOtimizada**

Fim Procedimento

Procedimento *Aloca_Estruturas*
(entrada: **Linha**)

Linha \rightarrow *Itera_Otimizacao (Linha)* ;

Se **Linha** está em conformi-
dade

LinhaNova \rightarrow **Linha** ;

Enquanto **LinhaNova**
está em conformidade

LinhaNova \rightarrow
Remove_Estrutura (Linha) ;

LinhaNova \rightarrow
Itera_Otimizacao (LinhaNova)

;

Se **LinhaNova** está
em conformidade

Métodos Quantitativos - Pesquisa Operacional - Volume 1

```

Linha      ↪ Fim Enquanto
LinhaNova;
Fim Se
Fim Enquanto
Senão
Enquanto Linha não está
em conformidade
Linha ↪ Inser_e_
Estrutura (Linha);
Linha ↪ Otimiza_
Estais (Linha);
Linha ↪ Itera_
Otimização (Linha);
Fim Enquanto
Fim Se
Retorna Linha
Fim Procedimento


---


Procedimento Itera_Otimização
(entrada: Linha)


---


Enquanto condição de parada
não é satisfeita
LinhaViz ↪ Varia_Linha
(Linha);
Se Avaliação (LinhaViz)
< Avaliação (Linha)
Linha ↪ LinhaViz;
Fim Se

```

```

Fim Enquanto
Retorna Linha;
Fim Procedimento


---


Procedimento Otimiza_Estais
(entrada: Linha)


---


Para cada Poste da Linha
Estais ↪ Poste.Estais;
Enquanto Poste não
estiver em conformidade
e houver configurações
possíveis de Estais
EstaisViz ↪
Varia_Estais (Poste);
Se Avaliação
(EstaisViz) <
Avaliação (Estais)
P o s t e .
Estais ↪ EstaisViz;
Fim Se
Fim Enquanto
Fim Para
Retorna Linha;
Fim Procedimento


---


O procedimento "Otimiza_Estais" gera,
segundo uma norma própria (CELG D,
2016a), uma configuração adequada para
os estais de amarração do poste.

```


Cabe ressaltar que, sempre que uma nova proposta de solução é gerada, efetua-se sua avaliação numérica de sua qualidade para que seja possível compará-la a outra. O primeiro critério de comparação é o montante de violação das propostas de solução, segundo (1). O segundo critério, caso nenhuma apresente violações técnicas, é o custo. Ou seja, caso ambas apresentem violações técnicas, a que menos viola é vencedora; caso uma apresente violação e a outra não, vence a segunda; e, caso ambas não apresentem violação técnica, vence a de menor custo.

2.2 METODOLOGIA PARA O FLUXO DO PROCESSO DE PROJETO

De forma a mitigar as reincidências de erros de projeto, as quais provocam grandes atrasos para o efetivo início do fornecimento da energia elétrica, o fluxograma apresentado na Figura 3 é proposto neste trabalho. Tal fluxo contrasta com o que hoje é empregado, o qual é ilustrado na Figura 2. A metodologia proposta se baseia fundamentalmente na aplicação da ferramenta computacional *web* desenvolvida, ilustrada seção 3.1, a qual permite acessos e interações simultâneas por parte de todos os envolvidos no processo de projeto: analistas da concessionária, topógrafos, engenheiros, clientes e outros. O processo correntemente empregado (vide Figura 2) é baseado num encadeamento sequencial de atividades, cada qual atribuída a um único ator. Percebe-se na Figura 2 que as etapas de levantamento topográfico e de

dimensionamento das linhas são realizadas consecutivamente para posterior apresentação à concessionária de energia, de tal modo que, se houver uma desconformidade em qualquer etapa, o mesmo deve ser reiniciado. Assim, qualquer atraso ou erro de elaboração implica em um atraso global significativo. Por outro lado, o fluxograma proposto (Figura 3) se baseia em fundamentos da Engenharia Simultânea, com atividades paralelas e multidisciplinares e com a possível atuação de todos os envolvidos, permitindo análises pontuais por parte da concessionária em cada uma das etapas. Isso permite mitigar os erros de levantamento topográfico e de sub ou superdimensionamentos das linhas em tempo mínimo por meio da ferramenta computacional *web* desenvolvida, aumentando a eficiência quanto ao levantamento de dados, à elaboração do projeto e à sua efetiva aprovação.

Na Figura 2, referente ao fluxograma correntemente empregado, os gargalos do processo são indicados na cor vermelha. Em caso de ocorrência de um erro de levantamento topográfico, o qual é verificado pelo analista da concessionária, todo o processo para esse fim é reiniciado, significando grandes atrasos, tipicamente. Analogamente, caso o projetista da linha de distribuição incorra em erro, o processo deve ser repetido, impactando negativamente também no tempo global para aprovação do projeto. Geralmente, erros de projeto são oriundos de um dos seguintes fatores: (i) não atendimento às restrições técnicas de projeto, o que é imperativo e que causa a reprovação dos

mesmos perante a concessionária; (ii) subdimensionamento, que impacta positivamente no orçamento da rede, mas que gera soluções com margem de segurança técnica pequenas; e (iii) superdimensionamento, que atende às restrições técnicas com grande margem de segurança, mas oneram demasiadamente o orçamento para a construção da linha.

Os atrasos e erros de dimensionamento técnico e orçamentário podem, então, ser

mitigados com o processo ilustrado na Figura 3. Pode-se perceber que o processo conta com mais interações entre os atores envolvidos, o que se dá basicamente mediante a disponibilização na web da ferramenta desenvolvida. Os pontos de integração completa entre os atores, significando que os analistas da concessionária poderão propor modificações em tempo de coleta de dados e de dimensionamento, são mostrados em vermelho na Figura 3.

Figura 2 – Fluxograma correntemente empregado. Em vermelho, os gargalos que causam atrasos.

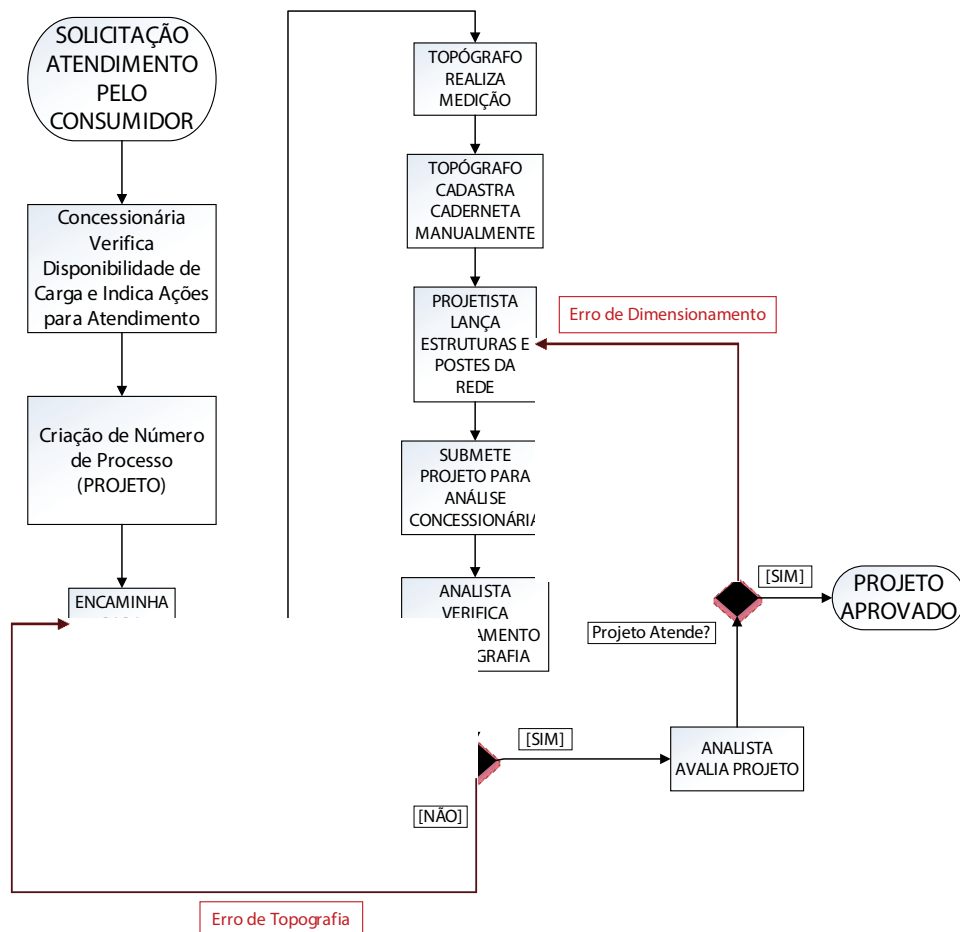
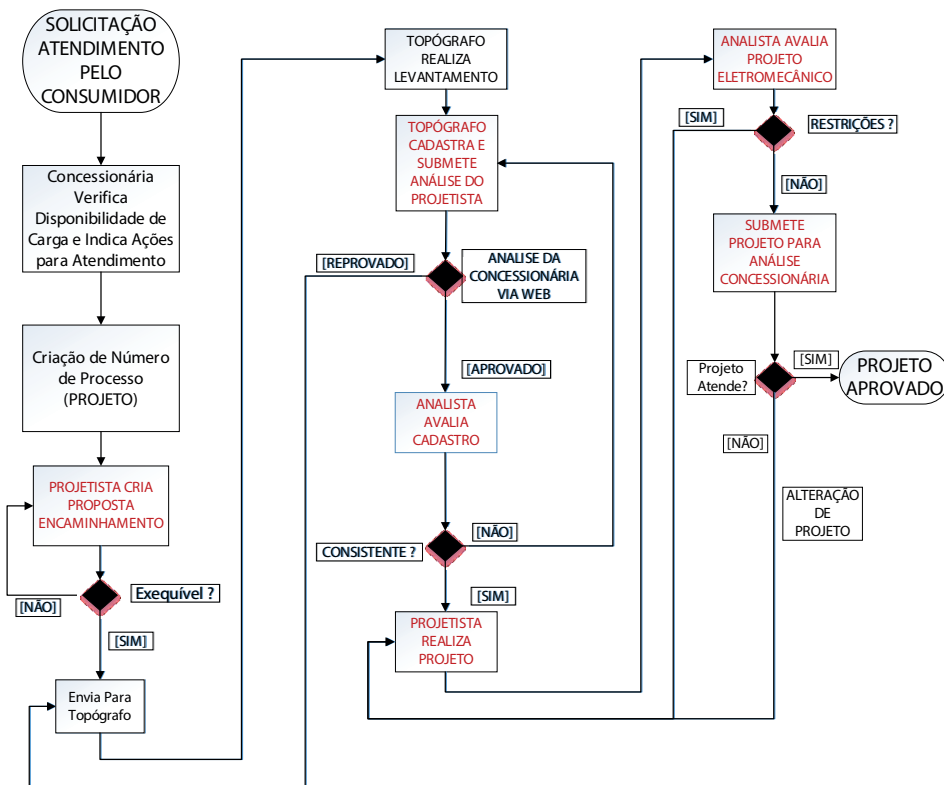


Figura 3 – Fluxograma proposto. Em vermelho, os pontos de interação entre os atores do processo.



3. RESULTADOS

Um exemplo ilustrativo do emprego da ferramenta computacional *web*, implementada no escopo da metodologia proposta, é apresentado na seção 3.1, e uma análise da expectativa de aumento da eficiência por meio do emprego desta ferramenta é abordada na seção 3.2.

3.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Neste exemplo ilustrativo, uma linha de

distribuição de aproximadamente 1600 metros deve ser implantada. Foi pré-definida a seguinte configuração após a realização de estudos de capacidade de atendimento quanto à potência demandada: tensão elétrica: 13,8 kV; linha trifásica com cabo neutro; cabos do tipo CAA 2/0; estruturas do tipo N (CELG, 2012); e velocidade do vento considerada no projeto: 100 km/h.

Primeiramente, o Engenheiro responsável da concessionária de energia elétrica cria uma sugestão de encaminhamento para o projeto utilizando a ferramenta *web*, após identificar o ponto de derivação da linha a

partir da rede existente, levando em conta as estimativas altimétricas e as imagens disponibilizadas pela API do Google Maps. Na Figura 4, este passo é ilustrado. A execução da atividade de levantamento das cotas planialtimétricas é, então, solicitada ao topógrafo. De posse do trajeto sugerido, este verifica localmente se há

reais condições de implantação da linha de distribuição, bem como coleta as cotas topográficas reais. Em caso de ocorrência de restrições, o topógrafo pode sugerir novo encaminhamento pela ferramenta *web*. Após a determinação do trajeto definitivo, as cotas reais são cadastradas no sistema, conforme mostrado na Figura 5.

Figura 4 – Definição do trajeto sugerido (pontos azuis) para a linha de distribuição de energia elétrica.

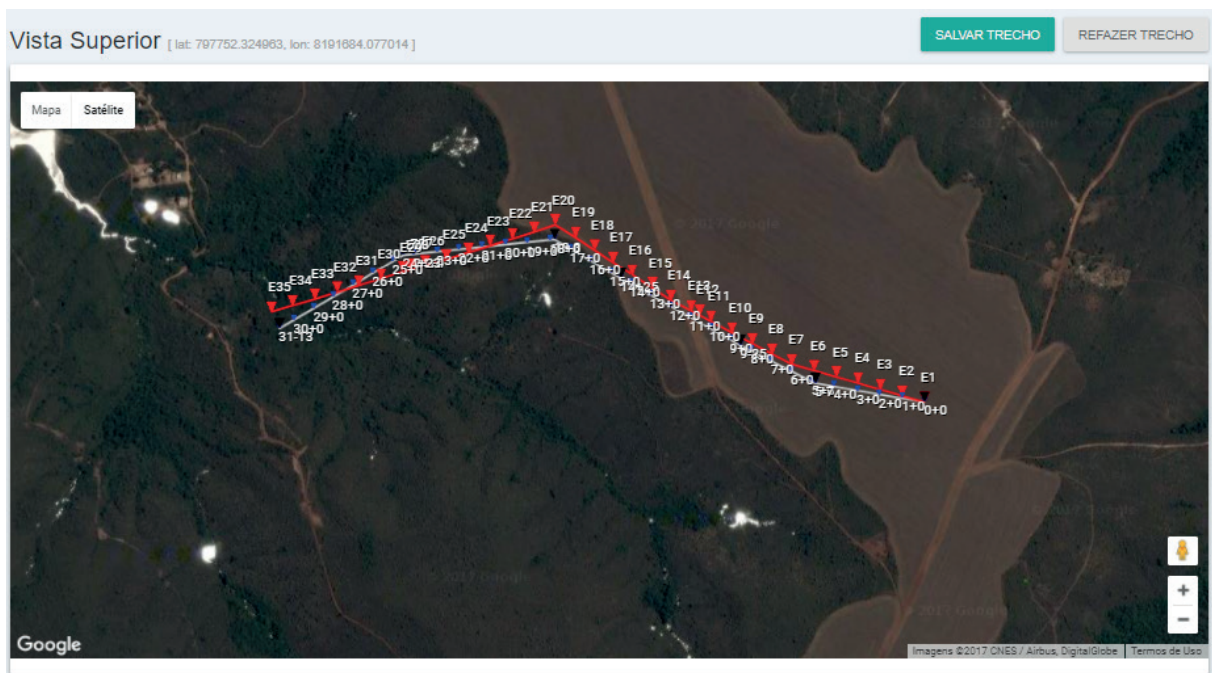
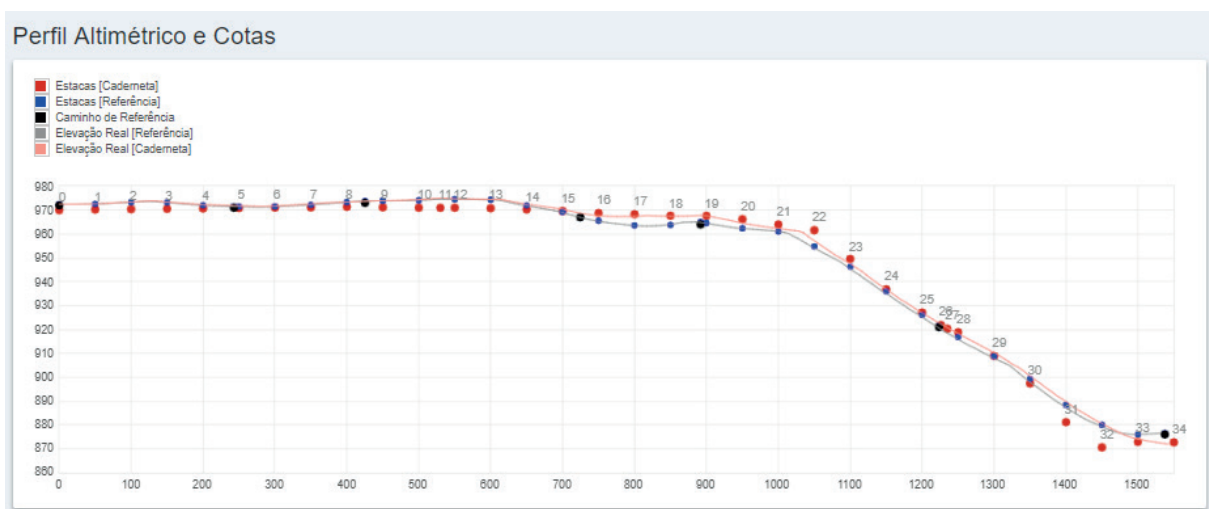


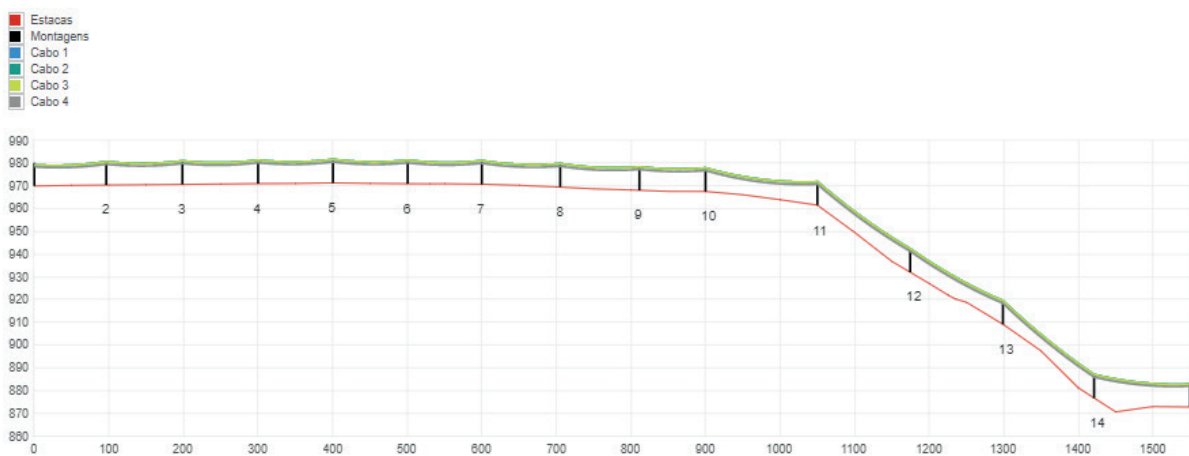
Figura 5 – Dados planialtimétricos coletados (“Estacas [Caderneta]”).



Após a definição dos parâmetros de projeto e do trajeto que a linha percorrerá, o processo de dimensionamento é aplicado. Para isso, selecionam-se os tipos de postes e estruturas que podem compor a linha de distribuição. A ferramenta computacional, então, propõe uma solução, por meio da execução do algoritmo de otimização, que fornece a quantidade de monta-

gens, suas localizações ao longo do trajeto e suas configurações. A solução para o caso em questão é mostrada na Figura 6. Nesta, não há violação técnica e tem-se um custo estimado minimizado. Observa-se que o método de otimização foi capaz de se aproveitar das características do relevo, de forma a não infringir nenhuma altura mínima cabo-solo.

Figura 6 – Configuração otimizada da linha.



3.2 ANÁLISE DA METODOLOGIA PROPOSTA

Historicamente, os projetos de rede de distribuição de energia elétrica, são elaborados passando por todo o processo de levantamento topográfico e dimensionamento eletromecânico para então serem protocolados na concessionária para análise. Motivados pela falta de verificação de cada processo após realizado, quando esses projetos chegam à concessionária, geralmente possuem reprovações técnicas de topografia, inutilizando todo o projeto realizado e sendo necessário novo levantamento de campo, o que gera custos adicionais aos contratados. As reprova-

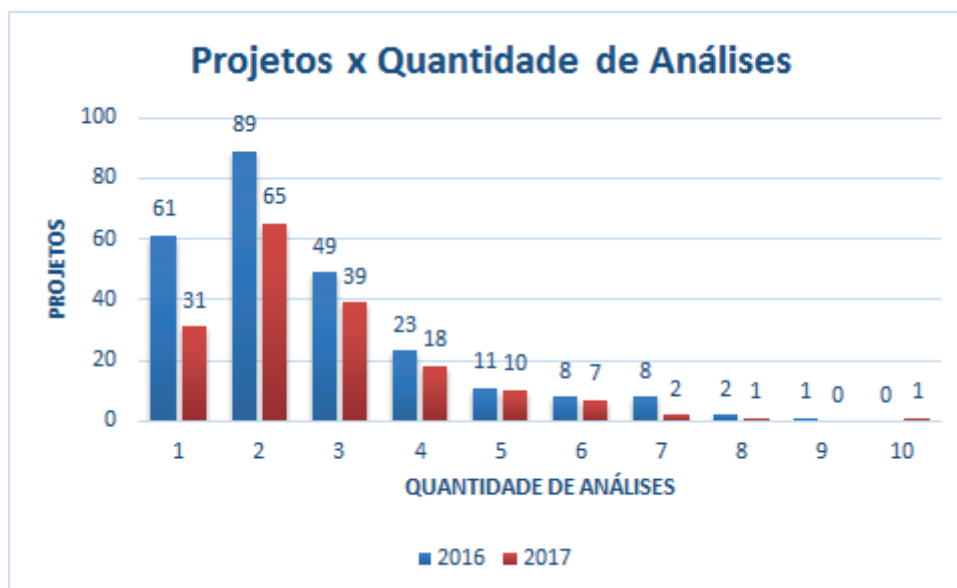
ções também ocorrem por equívocos de dimensionamento com relação às normas existentes, sendo estes fatores críticos que atrasam o processo de elaboração/aprovação dos projetos, onde o cliente deixa de ser atendido com agilidade, e a concessionária perde durante esse período com a venda da energia.

Em levantamento quantitativo de análises de projetos realizados no Setor de Engenharia de Média Tensão da Celg D, onde são apresentados os projetos de redes de distribuição rural de interesse particular da regional da capital Goiânia, é possível observar no gráfico da Figura 7 a quantidade de projetos e suas respectivas quanti-

dades de análises nos anos de 2016 e 2017 até o presente momento. Verifica-se que grande parte dos projetos são reprovados diversas vezes, chegando em alguns casos a possuírem até 10 análises. Assim, considerando o tempo máximo de análise determinado pela resolução da ANEEL (30 dias) e considerando o tempo de correção após a análise, esses projetos podem ficar na etapa de elaboração por mais de um ano devido as reincidências provocadas pelo

indevido dimensionamento técnico. Com a proposta, os problemas são identificados em cada etapa do processo, evitando assim que, no momento em que o projeto for apresentado para análise, o mesmo sofra mais reprovações devido aos equívocos na definição do encaminhamento pelo levantamento topográfico e também das verificações do dimensionamento das estruturas através da avaliação por meio da ferramenta computacional desenvolvida.

Figura 7 – Gráfico Projetos vs. Quantidade de Análises.

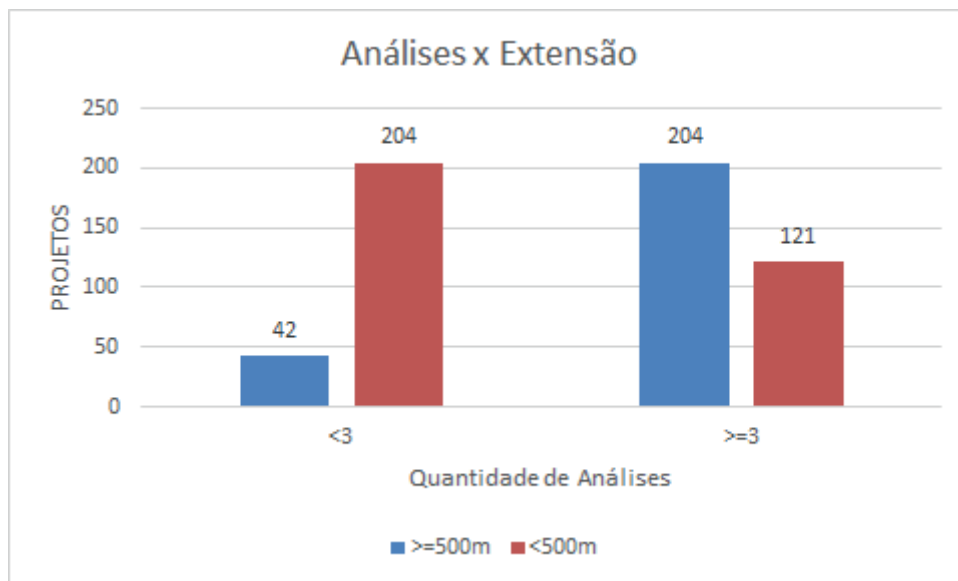


Dos projetos analisados, pode-se observar, por meio da Figura 8, que a quantidade de análises é tão mais incidente quanto maior for a extensão da rede, sendo, portanto, considerado um gargalo no processo. Com a uniformização de elaboração e de avaliação dos projetos por meio da metodologia proposta, aplicada em projetos com maior ou menor extensão, é possível minimizar a reincidência desses projetos, impactando fortemente na utilização de mão-de-obra especializada da equipe dos contratados e, também, dos analistas

técnicos da concessionária.

A concessionária de energia elétrica por sua vez, poderá obter ganhos de produtividade na análise dos projetos com o modelo de processo proposto, podendo também, utilizar a ferramenta como forma de validação de serviços de terceiros contratados para realização de projetos internos, além de proporcionar elaboração de projetos internos pelos próprios funcionários da concessionária com maior agilidade e tecnicamente validados pela

Figura 8 – Gráfico Análises vs. Extensão.



ferramenta computacional. Por exemplo, aplicando-se uma tarifa de 0,30 R\$/kWh com fator de utilização de 20% referente às potências dos transformadores instalados nos projetos, cujo histograma é mostrado na Figura 7, obtém-se um ganho de R\$ 142.960,08, no prazo de um ano e meio, dado o tempo em que os projetos ficaram em análise. Ou seja, este valor estimado seria o ganho da concessionária, caso os projetos fossem aprovados na primeira análise, conseqüentemente gerando satisfação ao cliente por este ser atendido o mais rapidamente possível.

De uma maneira geral, utilizando o horizonte e quantidade de análises de projetos referentes à Figura 7 e considerando-se que seja possível reduzir esses quantitativo ao máximo de 2 (duas) análises por projeto, dado o emprego da metodologia proposta, tendo por base um tempo médio de análise de 4 horas por Analista para cada projeto, seria contabilizada uma economia de 2.944 horas de análise. Aplicando-se o valor do homem-hora para um Engenheiro

Analista de R\$ 44,32, seria obtido uma economia total de R\$ 130.492,80 no horizonte de 1,5 anos considerados na Figura 7. Ademais, considera-se o ganho estimado de R\$ 142.960,08, no prazo de um ano e meio, referente à energia que seria suprida caso houvesse no máximo 2 (duas) avaliações por projeto (ou uma reprovação por projeto). Assim, normalizando o valor total, ter-se-ia uma economia estimada de R\$ 182.301,92, no cenário otimista. Levando-se em conta as incertezas inerentes aos processos de projeto, são apresentados, na Tabela 1, os ganhos referentes aos cenários pessimista, moderado e otimista, bem como o tempo de retorno do investimento. Foi empregada uma taxa de atualização anual líquida de 5% para o cálculo do *payback* descontado.

Cabe ressaltar que as estimativas apresentadas na Tabela 6 não contemplam os custos adicionais gerados para os clientes da concessionária devido às reincidentes reprovações de projetos.

Tabela 1 – Estimativa de tempo de retorno do investimento (payback).

Percentual referente às incertezas	Valor estimado do ganho monetário	Tempo de retorno do investimento (simples)	Tempo de retorno do investimento (descontado)
50% (pessimista)	R\$ 91.150,96	6,28 anos	7,72 anos
75% (moderado)	R\$ 136.726,44	4,19 anos	4,82 anos
100% (otimista)	R\$ 182.301,92	3,14 anos	3,52 anos

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de elaboração de um projeto de distribuição de energia elétrica no âmbito rural envolve várias especialidades, as quais devem trabalhar em conjunto para a correta e ágil consecução do projeto. Para incrementar a eficiência desse processo, este artigo apresentou uma nova metodologia, cujo emprego envolve a aplicação de uma ferramenta computacional *web*. A ferramenta é composta por elementos que permitem a interação de todos os atores envolvidos no processo, visando a correção em tempo mínimo das inconsistências que se apresentem. Estimativas realizadas evidenciam o impacto positivo da abordagem proposta, tanto para a concessionária, quanto para um nicho da sociedade em especial (clientes em área rural), que se beneficiará com a redução do tempo para o atendimento de sua demanda por energia elétrica.

REFERÊNCIAS

[1]. ANEEL, AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa 414: Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada**

e consolidada. Brasília, 2010.

[2]. BRITO, L.C. et. al. **Ferramenta Computacional para o Dimensionamento Mecânico de Linhas Aéreas Rurais de Distribuição de Energia Elétrica**. Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, CITENEL. João Pessoa/PB, 2017.

[3]. CELG D. **Norma Técnica de Distribuição NTC-07 – Critérios de Projetos de Redes de Distribuição Rural**, Goiânia, 2016.

[4]. CELG D. **Norma Técnica de Distribuição NTC-06 – Estruturas para Redes de Distribuição Aéreas Rurais – Classes 15 e 36,2 kV**. Goiânia, 2016.

[5]. ENGELBRECHT, A. **Computational Intelligence**, 2ª ed., Wiley, 2007.

[6]. FILHO, J.P.; SILVA M.J. **Análise comparativa de metodologias: abordagem orientada para a pesquisa das engenharias simultânea e convencional no âmbito de edificação residencial, com estudo de caso ilustrativo**. XIII SIMPEP, Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru, 2006.

[7]. GONÇALVES, F.R. et. al. **Fundamentos de Engenharia Simultânea na produção**

de aplicações web. XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Foz do Iguaçu, Paraná, 2007.

[8]. GOOGLE. **Google Earth**, <https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>. Último acesso em 03/07/2017.

[9]. GOOGLE. **Google Maps**, <https://www.google.com.br/maps>. Último acesso em 03/07/2017.

[10]. LABEGALINI, P.R. **Projetos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão**. 2ª ed., ed. Edgard Blücher, 2009.

[11]. MICHALEWICZ, Z.; FOGEL, D. **How to Solve It: Modern Heuristics**. 2ª ed., Springer, 2004.

[12]. PIMENTEL, C.L. **Engenharia Simultânea e sua aplicação à indústria naval. Dissertação**. (Dissertação de Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

[13]. PRASAD, H. B. **Concurrent Engineering Fundamentals: Integrated Product and Process Organization, Volume I: Integrated Product and Process Organization**. Prentice Hall, 2011.

[14]. WILLIAMS, A. **Structural Analysis: In Theory and Practice**. Elsevier, 2009.



A INFLUÊNCIA DOS RECURSOS E DAS COMPETÊNCIAS OPERACIONAIS NO DESEMPENHO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS: UMA ANÁLISE A PARTIR DA VISÃO BASEADA EM RECURSOS E DA VISÃO RELACIONAL ENTRE EMPRESA E FORNECEDOR

Rodrigo Randow de Freitas
Aliomar Lino Mattos
Wellington Gonçalves
Gabriela De Nadai Mauri
Fernando Nascimento Zatta

RESUMO

Os mercados sempre mantêm movimentos que acirram a competitividade continuamente. Esse processo introduz novos players no cenário econômico mundial, além de novas potências mercantis, intensificando a volatilidade do mercado, a contração do ciclo de vida dos produtos e as pressões externas dos concorrentes. O presente estudo tem como objetivo, por meio de análises de natureza qualitativa e quantitativa, identificar os recursos e as competências operacionais que influenciam o desempenho de um grupo de empresas-foco, nos processos de negócios em que os fornecedores estratégicos são envolvidos. Para atingir ao objetivo proposto, as principais correntes teóricas adotadas foram a visão baseada em recursos, na visão relacional da estratégia, nas competências operacionais voltadas para processos e na literatura sobre relacionamentos do campo de operações e cadeia de suprimentos. Este estudo abrange pesquisas de natureza qualitativa e caráter dedutivo por meio de estudo de múltiplos casos interpretativo conduzido em quatro setores da indústria de transformação e uma pesquisa de natureza quantitativa explanatória realizada por meio de uma survey com corte transversal. As pesquisas qualitativa e quantitativa forneceram evidências de que, nos segmentos estudados as categorias da visão relacional e das competências operacionais apresentaram influência positiva ante os desempenhos competitivos de entregas, de qualidade, flexibilidade e custo, nesta ordem. Os resultados da pesquisa quantitativa no segmento químico indicaram que as práticas de gestão da qualidade e de desenvolvimento de produtos contribuem significativamente para as competências operacionais. Uma contribuição central da pesquisa foi diferenciar construtos de competências operacionais e de recursos.

Palavras-chave

Cadeia de suprimentos, competências operacionais, gestão de operações.

1. INTRODUÇÃO

Os mercados sempre mantêm movimentos que acirram a competitividade continuamente. Esse processo introduziu novos players no cenário econômico mundial, além de novas potências mercantis, intensificando a volatilidade do mercado, a contração do ciclo de vida dos produtos e as pressões externas dos concorrentes. Sendo que, para atender a essa nova dinâmica, as tradicionais abordagens de estratégias empresariais necessitam de adequações. As táticas de sobrevivência devem ser abandonadas, de forma que a empresa prospere sob essas novas circunstâncias, em busca de vantagens competitivas sustentáveis (BROWN; EISENHARDT, 2005). Dada a limitação dos recursos, as empresas buscam agora desenvolver competências operacionais - um subconstruto das competências organizacionais internas desenvolvidas na gestão de operações - na relação entre fornecedores e clientes, para enfrentar ambientes competitivos e instáveis (WU et al., 2010).

Competências operacionais constituem um tipo particular de mecanismo, caracterizado pelo conjunto de habilidades, processos e rotinas que direcionam o uso dos recursos. São mecanismos por meio dos quais as habilidades do pessoal são alavancadas para o uso dos diversos recursos internos e relacionais, de forma integrada e harmoniosa. Isso reflete na melhoria dos processos e no desempenho (VOSS, 1995; NARASIMHAN; SWINK; KIM, 2005; WU et al., 2010).

Existem sinergias entre as competências operacionais e os recursos. As competências operacionais representam a capacidade de se promover um conjunto de habilidades pessoais e de conhecimentos tácitos para o uso eficiente dos recursos, no intuito de criar barreiras à imitação e de desenvolver a vantagem competitiva, pois os recursos por si só apenas definem o potencial da atividade, são passivos e reativos (WU et al., 2010). Existem poucas pesquisas que trazem uma perspectiva mais abrangente que associe essas duas abordagens estratégicas, sendo a cadeia de suprimentos uma importante unidade de análise, pois considera as condições dinâmicas do ambiente competitivo. Essa é uma orientação de cunho central desta pesquisa.

Em âmbito internacional, muito se tem avançado nas pesquisas sobre recursos e competências operacionais voltados para processos nas operações. No início da década de 1990, Leonard-Barton (1992) mencionou que as competências são tradicionalmente tratadas como grupos de técnicas distintas, habilidades e sistemas gerenciais. Contudo essas dimensões de competências são profundamente enraizadas em valores, que constituem uma dimensão crítica, muitas vezes esquecida pelos estudiosos.

No contexto brasileiro, a academia também já apresenta um volume de produção consistente de literatura dos recursos e de competências, no campo da estratégia de operações. Entretanto, em uma rápida consulta à literatura que versa sobre recursos e competências, é possível

identificar a existência do uso do termo “recursos” de forma mais abrangente em relação ao termo “competências”, o que permite deduzir que a literatura apresenta escassez de estudos que contribuam para o enriquecimento da literatura sobre o tema. Existe um crescente interesse acadêmico em estratégias de operações sobre recursos e competências, que carecem de conceitos claramente definidos, uma vez que eles são fontes de vantagem competitiva (GRANT, 1991; BARNEY, 1991; PETERAF, 1993; WU et al., 2010, 2012).

Nesse panorama, o objetivo central desta pesquisa é analisar os recursos relacionais e as competências operacionais que desenvolvidos e/ou compartilhados na díade fornecedores estratégicos e empresas-foco influenciam o desempenho operacional da cadeia de suprimentos no lado da empresa foco.

1.1 ESTRATÉGIA DE OPERAÇÕES

A estratégia de produção e o seu papel para competitividade ocorre a partir das interações do ambiente com esse processo de decisão. O papel estratégico que a função produção obteve a partir do trabalho de Skinner (1969) determinou uma estrutura hierárquica das estratégias, mais comumente praticadas em níveis de decisão (SWAMIDASS; NEWELL, 1987; HILL, 1997). A produção envolve decisões em diversas áreas da empresa. O desenvolvimento de uma estratégia de operações implica fazer um conjunto de decisões sobre a estrutura e a infraestrutura de operações (SKINNER,

1969; HAYES; WHEELWRIGHT, 1984).

1.2 ÁREAS DE DECISÕES ESTRUTURAIS E INFRAESTRUTURAIS

As áreas de decisões estruturais da manufatura relacionam-se com capacidade, instalações, tecnologia e equipamentos, processos e integração vertical. As áreas de decisões infraestruturais, de natureza mais tática, englobam um conjunto de políticas, procedimentos e práticas de suporte às decisões contínuas, tais como: gestão de recursos humanos, gerenciamento da qualidade, controle da produção e arranjo físico (HAYES; WHEELWRIGHT, 1984) e influenciam a força de trabalho (HAYES et al., 2008), relacionamento com fornecedores e desenvolvimento de novos produtos (FINE; HAX, 1985; PAIVA, CARVALHO Jr; FENSTERSEIFER, 2009), e gerenciamento ambiental (ANGEL; KLASSEN, 1999).

1.3 DESEMPENHOS COMPETITIVOS

A título de destaque, alguns autores definiram alguns desempenhos competitivos: Frohlich e Westbrook (2001; 2002): qualidade, custo, entrega e flexibilidade; Jiménez e Lorente (2001): custo, tempo, qualidade e pós-venda, e relatam a necessidade de incluir o desempenho ambiental como um novo desempenho competitivo; Dangayach e Deshmukh (2001): custo, qualidade, confiabilidade de entrega e flexibilidade. Os estudos de Swamidass e Newell (1987), Cleveland et al. (1989),

Ferdows e De Meyer (1990), Roth e Miller (1992), Vickery et al. (1993, 1997), Ward et al. (1994), Bozarth e Edwards (1997), Flynn et al. (1999) e Rosenzweig, Roth e Dean (2003) referenciam os desempenhos competitivos qualidade, custo, entrega e flexibilidade como as mais presentes na literatura de estratégia de operações. A escolha dos desempenhos competitivos da empresa varia de acordo com as diferentes particularidades competitivas e a estratégia determinada, não existindo um consenso universal sobre quais desempenhos, isoladamente ou em conjunto, devem ser adotados.

1.4 PROCESSOS DE NEGÓCIO DE GESTÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Na cadeia de suprimentos, um processo pode ser visto como uma estrutura de atividades projetadas para executar uma ação com foco nos clientes finais e sobre a gestão dinâmica dos fluxos envolvendo produtos, dinheiro e conhecimento (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998).

O modelo de gestão da cadeia de suprimentos de Lambert e Cooper (2000) considera três elementos inter-relacionados como antecedentes críticos para gerenciar uma cadeia de suprimentos: (i) a estrutura da cadeia de suprimentos, que consiste no conjunto de empresas-membro e as ligações entre essas empresas; (ii) os processos de negócio, que são o conjunto de atividades estruturadas, que produzem uma determinada saída de valor para os clientes; e (iii) os componentes de geren-

ciamento que são as variáveis de gestão pelos quais os processos de negócio são integrados e gerenciados em toda a cadeia (LAMBERT; COOPER, 2000).

1.5 VISÃO BASEADA EM RECURSOS (VBR)

A VBR busca compreender a maneira como os recursos e as competências heterogêneas diferenciam empresas de alto desempenho das de baixo desempenho e sustentam a vantagem competitiva, e considera o desempenho superior como um fenômeno decorrente primariamente de características internas peculiares da organização (VASCONCELOS; CYRINO, 2000). Recursos são definidos como ativos tangíveis e intangíveis controlados por uma empresa, usados para implementar estratégias, significando a aptidão de uma empresa para empregar recursos de forma dinâmica (BARNEY; CLARK, 2007; BARNEY; HESTERLY, 2011).

1.6 COMPETÊNCIAS E PRÁTICAS OPERACIONAIS

De acordo com a abordagem da VBR, competências operacionais são inseridas no campo dos ativos intangíveis. Elas formam um subconjunto das competências organizacionais, cujo objetivo é permitir que a empresa use por completo os recursos que controla. Isto é, as competências, isoladamente, não permitem que uma empresa implemente suas estratégias, mas permitem que ela utilize seus recursos para implementar suas estratégias. Wu et

al. (2010), por exemplo, definem competências operacionais como conjuntos de habilidades, processos e rotinas, específicos das empresas desenvolvidos dentro do sistema de gestão de operações, que são regularmente utilizadas na solução de problemas por meio da configuração dos recursos operacionais. Esses autores explicam que a operacionalização de competências operacionais é diferenciada da construção de práticas operacionais, sendo essas competências “o ingrediente secreto” para a explicação do desenvolvimento da vantagem competitiva.

Wu et al. (2010) apresentam uma taxonomia com seis competências operacionais: (1) melhoria operacional, (2) inovação operacional, (3) customização operacional, (4) a cooperação operacional, (5) capacidade de resposta operacional e (6) reconfiguração operacional, revelando que essas competências operacionais têm alta validade na previsão de resultados de desempenho operacionais ante aos desempenhos competitivos da manufatura (custo, qualidade, entrega e flexibilidade).

1.7 COLABORAÇÃO NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Cao e Zhang (2011) relatam que a colaboração entre empresas na cadeia melhora o desempenho e a vantagem competitiva dos participantes numa situação de ganhos positivos, o que permite a concorrência com outras cadeias. A vantagem da colaboração e os benefícios alcançados são diretamente relacionados à troca de conhecimento, compartilhamento de recursos e

competências com características peculiares relativas ao relacionamento de longo prazo. Além disso, a colaboração na cadeia é vista como um processo de negócio em que os parceiros compartilham riscos para atingirem metas comuns.

A colaboração é um fator fundamental em que os diversos elos da cadeia de suprimentos dependem da integração de processos-chave de negócio, com atividades multifuncionais, envolvendo desde o fornecimento de matérias-primas, transformação e distribuição, num processo contínuo ao longo de toda a rede (COOPER; LAMBERT; PAGH, 1997). Uma vantagem da colaboração relaciona-se com a criação de capacidades interorganizacionais que se dá mediante a integração de conhecimento e cooperação, uma vez que esse processo influencia tanto o desempenho socioambiental, bem como os desempenhos competitivos operacionais e financeiros (COUSINS et al., 2006).

1.8 VISÃO RELACIONAL E ESTRUTURA DE RELACIONAMENTO NA CADEIA

A Visão Relacional preconiza que recursos críticos de uma empresa podem ser compartilhados em relacionamentos interorganizacionais para a obtenção de retornos superiores à média da concorrência e criam uma vantagem competitiva sustentável (INGHAM; THOMPSON, 1994; DYER; SINGH, 1998; COMBS; KETCHEN, 1999; DAS; TENG, 2000; MESQUITA; ANAND; BRUSH, 2008).

Relacionamentos interorganizacionais são importantes unidades de análise, pois oferecem uma compreensão da vantagem competitiva, cujos impactos são determinados pela combinação de recursos, os quais envolvem ativos físicos, conhecimento e aprendizagem e capacidades complementares que podem contribuir para a criação de rendas relacionadas e o desempenho operacional da cadeia de suprimentos (DYER; SINGH, 1998). Rendas relacionadas são obtidas por meio de quatro fontes potenciais (DYER; SINGH, 1998; COMBS; KETCHEN, 1999; LAVIE, 2006): (i) investimentos em ativos específicos para o relacionamento; (ii) troca substancial de conhecimento que resulta em aprendizagem; (iii) combinação de recursos complementares; e (iv) menores custos de transação, introduzidos por mecanismos de governança eficazes (DYER; SINGH, 1998).

A Visão Relacional centra-se também no compartilhamento de elevados níveis de confiança e relatórios formais, e no monitoramento de ações de controle de lucros relacionados alcançados (DYER; SINGH, 1998; ZACHARIA et al., 2011).

1.9 DESEMPENHO NO ELO EMPRESA-FOCO E FORNECEDOR

A avaliação de desempenho é importante, pois permite que os gestores possam diagnosticar e compreender as causas de problemas e monitorar o desempenho de áreas e processos, para verificar se as partes executaram suas responsabilidades satisfatoriamente. Aragão et al. (2004)

mencionam que não há evidências claras de que existam medidas de desempenho significativas que abranjam toda a cadeia de suprimentos, mas medidas que abrangem parte da cadeia, como alguns de seus elos (LEE; BILLINGTON, 1992; MENTZER et al., 2001; PIRES, 2004). Sendo que medidas de desempenho são adotadas considerando-se diversas abordagens. Por exemplo, Barney e Hesterly (2011) sugerem uma abordagem centrada no desempenho econômico e financeiro. Neely (1999) argumenta que medidas financeiras possuem uma visão de curto prazo, e assim perdem relevância para sustentar uma estratégia global da cadeia de suprimentos (GREEN; MCGAUGHEY; CASEY, 2006). Já segundo Wu et al. (2010), o desempenho é medido por meio de indicadores operacionais e financeiros.

2. METODOLOGIA

Na etapa da pesquisa qualitativa, realizaram-se quatro estudos de casos dos tipos exploratório e interpretativo (GODOY, 2006; YIN, 2010; BARRATT; CHOI; LI, 2011). As empresas dos setores estudadas na fase qualitativa fazem parte da indústria de transformação. Foram coletadas variáveis validadas pela teoria sobre conceitos de relacionamentos, colaboração, recursos, competências operacionais e desempenho da cadeia de suprimentos.

A pesquisa da etapa qualitativa engloba quatro setores distintos. Os setores pesquisados são a indústria siderúrgica, fabricação de produtos de aplicações automotivas e industriais, fabricação de celulose, fabricação e aplicação de tubos flexí-

veis para a indústria de energia. E esses setores possuem relevância econômica e empregam um grande contingente de mão de obra. A escolha de setores e empresas industriais de setores distintos se deve ao interesse na identificação de questões de complexidade do fenômeno investigado em cada caso (EISENHARDT, 1989), bem como realizar comparações no sentido de identificar convergências e divergências entre os casos diante das especificidades de cada segmento (EISENHARDT, 1989, MEREDITH, 1998).

Na etapa quantitativa realizou-se uma pesquisa, do tipo dedutivo, com a utilização de uma survey no setor químico, a qual além de explorar conceitos de relacionamentos, colaboração, recursos, competências operacionais e desempenho da cadeia de suprimentos, investigou a contribuição de duas práticas operacionais, quanto a formação de competências operacionais (H3).

A utilização de métodos mistos envolveu entrevistas qualitativas e coleta de dados quantitativos mediante a adoção de um survey. A utilização de procedimentos distintos oferece possibilidade de explorar de forma mais ampla análises textuais e estatísticas para responder às questões de pesquisa mediante a análise de diferentes questões ou níveis de unidades de análises (CRESWELL, 2007).

O tratamento dos dados da pesquisa qualitativa foi feito mediante a análise de conteúdo consoante os estudos de Bardin (2007) e Collis e Hussey (2005). A análise de conteúdo consiste num procedimento

analítico geral que inclui o uso de técnicas de interpretação e codificação de dados para transformar textos em variáveis numéricas que possibilitam uma análise quantitativa de dados.

Na etapa qualitativa, optou-se por trabalhar com a estratégia de estudo de múltiplos casos, de modo a obter respostas julgadas mais adequadas em alinhamento com as questões de pesquisa e os objetivos da tese. Barratt et al. (2011) relatam que, na gestão de operações, estudos de caso qualitativos aumentam a validade externa e protegem contra possíveis vieses do pesquisador, e em particular, favorece os efeitos de construção de uma teoria, pois os múltiplos casos são suscetíveis de criar teorias mais robustas e testáveis ante a pesquisas de caso único (EISENHARDT, 1989; YIN, 2010).

A partir da análise de conteúdo, definiu-se três categorias-chave de análise, de acordo com as características estudadas. Essas categorias são: (i) Características do relacionamento com o fornecedor estratégico; (ii) Recursos relacionais e competências operacionais predominantes; e (iii) Desempenhos competitivos melhorados na empresa foco.

Na etapa quantitativa, foi adotado o questionário como instrumento de coleta de dados. O questionário teve por base os construtos discutidos no referencial teórico. Para mensuração dos construtos, foi adotada a escala Likert de sete pontos, com extremos significados, para indicar a extensão pela qual os respondentes

concordam ou discordam de cada questão. O principal veículo de administração da pesquisa foi o software e ferramenta de administração de questionário online do provedor Google Docs (disponível em: <https://docs.google.com>).

Para a análise dos dados, primeiramente foi feita uma associação entre os objetivos específicos com as seções do questionário aplicado e as hipóteses de pesquisa, apresentadas no capítulo anterior. Num segundo momento, foram realizados testes estatísticos mediante análise descritiva. Para as variáveis categóricas foi utilizada a estimação intervalar para as proporções amostrais utilizando o intervalo de confiança exato para o estimador de máxima verossimilhança de “p” pela distribuição F para detecção dos grupos que se diferiram (LEEMIS; TRIVEDI, 1996). Essa metodologia é robusta em relação ao desvio de normalidade dos dados e é aplicada para amostras de tamanhos pequenos.

O estudo das relações entre as seções de interesse do questionário foi realizado por meio do cálculo de correlação de Spearman, sendo que a hipótese nula foi testada pelas correlações ao nível de 5% de significância ($p < 0,05$). Tal teste é recomendado para variáveis que não seguem distribuição normal e para aquelas variáveis categóricas, como no caso deste estudo, em que as variáveis foram dispostas em escala Likert por representarem atributos.

3. ANÁLISE CONJUNTA DOS RESULTADOS

O presente estudo buscou compreender quais recursos e competências operacionais desenvolvidos e/ou compartilhados entre empresas-foco e fornecedores estratégicos influenciam o desempenho operacional da cadeia de suprimentos, do lado da empresa-foco, tendo como base principal de análise o relacionamento colaborativo.

Esta seção discute os resultados das pesquisas qualitativa e quantitativa de forma conjunta de modo que se tenha uma representação comum dos achados, uma vez que a análise conjunta dos resultados apresenta maior robustez à pesquisa (YIN, 2010).

Os resultados das correlações forneceram evidências de relações significativas entre investimentos em ativos específicos e o desempenho de flexibilidade. Há associações entre a realização de investimentos em equipamentos e em capacidades de produção feitos pelos fornecedores estratégicos e os itens relacionados à capacidade das empresas de ajustar volumes de produção para atender mudanças impostas pelo mercado e à capacidade das empresas de promover mudanças radicais em grande escala.

Quanto ao compartilhamento de informações e de conhecimento que geram aprendizagem, o resultado das correlações evidenciou relações significativas com os desempenhos de qualidade e de flexibilidade. Já quanto ao desenvolvimento e/ou compartilhamento de recursos, capaci-

dades ou habilidades complementares, o resultado das correlações apresentou relações significativas com os desempenhos de custo e de qualidade. Essas relações dizem respeito à influência da combinação de recursos como competências logísticas para desenvolver e distribuir produtos.

Mediante as entrevistas, verificou-se que a parceria promove às empresas benefícios, que vão além do fornecimento, por exemplo, a absorção de conhecimento, co-desenvolvimento de produtos e melhoria de processos. As entrevistas evidenciaram também que as empresas estabelecem relacionamentos, predominantemente, longos com seus fornecedores estratégicos, com características relacionais, contudo verificou-se que é comum a adoção de mecanismos transacionais governados por meio de contratos.

Na etapa qualitativa, também foi possível verificar que, nas empresas dos setores estudados, alguns fornecedores estratégicos são envolvidos em outras atividades de valor nos processos de negócio das empresas-foco, além do fornecimento. As atividades de valor mais comuns, identificadas nas entrevistas qualitativas foram a melhoria de processo na manufatura, engenharia e desenvolvimento de processos, planejamento da produção, processos de redução de custos, acompanhamento de pedidos, gerenciamento de prazos, desenvolvimento de novos produtos, gerenciamento de inventários e execução da produção.

As entrevistas também evidenciaram que

nos setores estudados, os fornecedores, estratégicos têm poder de negociação superior ao das empresas foco. Adicionalmente, verificou-se a ocorrência de investimentos em ativos feitos por alguns fornecedores, não estratégicos do ponto de vista do fornecimento de matéria-prima, em expansão de capacidades produtivas, equipamentos, instalações industriais, sistemas de fornecimento de energia.

A etapa qualitativa da pesquisa também revelou que os fatores determinantes mais comuns, identificados nas entrevistas que justificam a realização de investimentos em ativos específicos são o volume de produção e a duração do relacionamento. Também, no que diz respeito à troca de conhecimento, esta somente ocorre do lado dos fornecedores para as empresas em processos de solução problemas operacionais, treinamento para novas operações e manutenção, melhoria de processos e desenvolvimento de produtos e materiais. No que concerne à transferência de pessoal entre as empresas e seus fornecedores, as entrevistas revelaram que 75% das empresas corroboraram as prescrições do modelo proposto pela visão relacional.

Na pesquisa qualitativa, a taxonomia de competências operacionais proposta por Wu et al. (2010) envolveu cinco indicadores: melhoria contínua, inovação, customização, cooperação e integração e resposta rápida ao mercado foi confirmada. Verificou-se que essas competências desenvolvidas e/ou compartilhadas entre empresas e fornecedores estratégicos exercem um papel importante sobre os desempenhos

competitivos, na medida em que estabelecem uma ligação empírica entre os recursos e o desempenho operacional da cadeia de suprimentos. Na etapa qualitativa, ficou evidenciado que as empresas dos setores estudados se diferenciam em competências operacionais, considerando-se a sua aplicação aos problemas específicos de cada empresa.

Na etapa quantitativa, o resultado das correlações mostrou relações significativas entre a competência de melhoria operacional com os desempenhos de custo, de qualidade, de entrega e de flexibilidade. Já na análise da competência operacional de resposta rápida ao mercado, foi verificado que a agilidade de resposta é uma competência relacional que as empresas buscam compartilhar com seus fornecedores e clientes para gerir questões imprevistas consideradas cruciais para o desempenho da cadeia de suprimentos. Esses resultados corroboram os trabalhos Dyer e Singh (1998), de Wu et al. (2010) e Cao e Zhang (2011), os quais relatam que os recursos relacionais e as competências operacionais desenvolvidos e/ou compartilhados em relacionamentos colaborativos desenvolvem um papel importante para influenciar o desempenho operacional da cadeia de suprimentos.

4. CONCLUSÕES

Do ponto de vista teórico, esta pesquisa contribui para o preenchimento de uma importante lacuna, relacionada à compreensão da influência das competências operacionais voltadas para processos

nas operações, no desempenho da cadeia de suprimentos. No que diz respeito às competências operacionais, apresenta-se uma contribuição para pesquisadores de estratégia de operações, que se concentram em pontos envolvendo práticas operacionais e em recursos tangíveis. Este estudo fornece uma visão sobre quais recursos e sobre quais competências operacionais influenciam o desempenho operacional da cadeia de suprimentos, bem como oferece suporte para examinar os tipos de competências operacionais que suportam a utilização de um recurso específico.

A survey aplicada no setor químico, que teve como objetivo constatar relações causais entre recursos relacionais e competências operacionais sobre o desempenho operacional da cadeia de suprimentos, possibilitou avaliar o modelo de pesquisa proposto e testar as hipóteses de pesquisa propostas na etapa quantitativa, o que permitiu identificar a influência de construtos de recursos relacionais e de competências operacionais sobre os desempenhos operacionais da gestão de operações.

A pesquisa apresenta algumas limitações e oportunidades de futuras. As limitações da pesquisa relacionam-se aos seguintes aspectos: em relação aos estudos de caso, a pesquisa foi realizada em quatro empresas. Por se tratar de estudo de caso, mesmo com o aprofundamento do conhecimento obtido, não é possível a generalização da pesquisa para os setores investigados, bem como para outras empresas dentro desses setores. Outra limitação refere-se ao caráter transversal, em que

a pesquisa foi realizada em um único momento no tempo, não possibilitando verificar possíveis mudanças e/ou evoluções das empresas, como resultado da evolução dos seus recursos físicos e não físicos, habilidades e competências operacionais. Assim, tendo em vista que os relacionamentos na cadeia de suprimentos são dinâmicos, novas pesquisas podem ser realizadas adotando a abordagem longitudinal. Dessa forma novas pesquisas podem aplicar o instrumento de pesquisa em amostras maiores buscando maior consistência para a generalização.

5. REFERÊNCIAS

- [1]. ANGELL, L.C.; KLASSEN, R. D. **"Integrating Environmental Issues into the Mainstream: An Agenda for Research in Operations Management"**, Journal of Operations Management, v. 17, n. 5, pp. 575-598, 1999.
- [2]. ARAGÃO, A. B.; SCAVARDA, L. F.; HAMACHER, S.; PIRES, S. R. I. **Modelo de análise de cadeias de suprimentos: fundamentos e aplicação às cadeias de cilindros de GNV**. Gestão e Produção. v.11 n.3, São Carlos, Sept./Dec. 2004.
- [3]. BARDIN, LAURENCE. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Ed. 70, 2007.
- [4]. BARNEY, J. B. **Organizational Culture: Can It be a Source of Sustained Competitive Advantage?** Academy of Management Review, v. 11, n. 3, p. 656-665, 1986.
- [5]. BARNEY, J. B.; CLARK, D. N. **Resource-Based Theory: Creating and Sustaining Competitive Advantage**. Nova York: Oxford University Press, 2007.
- [6]. BARNEY, J. B.; KETCHEN JR.; D. J.; WRITHT, M. **The Future of Resource-Based Theory: Revitalization or Decline?** Journal of Management. v.37, n.5, September, p.1299-1315, 2011.
- [7]. BARRATT, MARK; CHOI, THOMAS Y.; LI, Mei. **Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications**. Journal of Operations Management, 29, p. 329-342, 2011.
- [8]. BOZARTH, C.; EDWARDS, S. **The impact of market requirements focus and manufacturing characteristics focus on plan performance**, Journal of Operations Management, v. 15, n. 3, p. 161-80, 1997.
- [9]. BROWN, S. L.; EISENHARDT, K.M. **Estratégia Competitiva no Limiar do Caos: Uma visão dinâmica para as transformações corporativas**. São Paulo. Cultrix, 2005.
- [10]. CAO, M.; ZHANG, Q., **Supply Chain Collaboration: Impact on Collaborative Advantage and Firm Performance**. Journal of Operations Management, v. 29, n. 3, p. 163-180, 2011.
- [11]. CLEVELAND, J. N.; MURPHY, K. R.; WILLIAMS, R. E. **Multiple uses of performance appraisal: Prevalence and correlates**. Journal of Applied Psychology, 74, 130-135, 1989.

- [12]. COLLIS, D. J.; HUSSEY, R., **Pesquisa em administração: um guia prático para alunos de graduação e pós-graduação.** Traduzido por Lucia Simonini, segunda edição, Porto Alegre. Bookman, 2005.
- [13]. COMBS, J. G.; KETCHEN, D. J. Jr. **Explaining interfirm cooperation and performance: toward a reconciliation of predictions from the resource-based view and organizational economics.** Strategic Management Journal, v. 20, n. 9, p. 867-888, 1999.
- [14]. COOPER, M. C.; LAMBERT, D. M.; PAGH, J. D. **Supply Chain Management: More than a new name for Logistics.** The International Journal of Logistics Management, v. 8, n. 1, 1997.
- [15]. CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto.** 2ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2007.
- [16]. COUSINS, P.; HANDFIELD, R., LAWSON, B., PETERSON, K.T., **Creating supply chain relational capital: The impact of formal and informal socialization processes, Journal of Operations Management**, v. 24, p. 851-863. 2006.
- [17]. DANGAYACH, G.; DESHMUKH, S. **Manufacturing strategy: literature review and some issues.** International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 7, p. 884-932, 2001.
- [18]. DAS, T. K.; TENG, B. S. **A Resource-Based Theory of Strategic Alliances.** Journal of Management, v. 26, n. 1, p. 31-61, 2000.
- [19]. DYER, J. H.; SINGH, H. **The relational view: Cooperative strategy and sources of inter-organizational competitive advantage.** Academy of Management Review, v. 23, n. 4, p. 660-679, 1998.
- [20]. EISENHARDT, K. M. **Building Theories from Case Study Research.** Academy of Management Review, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.
- [21]. FERDOWS, K.; DE MEYER, A. **Lasting improvements in manufacturing performance: in search of a new theory.** Journal of Operations Management, v. 9, n. 2, p. 169-84, 1990.
- [22]. FINE, C. H.; HAX, A. C. **Manufacturing strategy: a methodology and an illustration.** Interfaces, Linthicum, v. 15, n. 6, p. 28-46, 1985.
- [23]. FLYNN, B.B., SCHROEDER, R.G.; FLYNN, E.J. **World class manufacturing: an investigation of Hayes and Wheelwright's foundation.** Journal of Operations Management, v. 17, p. 249-69, 1999.
- [24]. FROHLICH, M. T.; DIXON, J. R. **A Taxonomy of Manufacturing Strategies Revisited.** Journal of Operations Management, v. 19, p. 541-558, 2001.
- [25]. FROHLICH, M. T.; WESTBROOK, R. **Demand chain management in manufacturing and services: web-based drives and performances.** Journal of Operations Management, v. 20, n. 62, p. 729-745, 2002.
- [26]. GODOY, C. K.; BALSINI, C. P. V. **A pesquisa qualitativa nos estudos organizacionais brasileiros: uma análise biblio-**

métrica. In: GODOY, C. K.; BANDEIRA-DE-MELLO, R.; SILVA, A. B. (Orgs.). Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais: paradigmas, estratégias e métodos. São Paulo: Saraiva, p. 89-112, 2006.

[27]. GREEN, J. R. KENNETH W; MCGAUGHEY, RON; CASEY, K. MICHAEL. **Does supply chain management strategy mediate the association between market orientation and organizational performance? Supply Chain Management: An International Journal**, v. 11 Iss: 5, p. 407- 414, 2006.

[28]. HILL, T. J. **Manufacturing strategy - keeping it relevant by addressing the needs of the market.** Integrated Manufacturing Systems, v. 8, n. 5, p. 257-264, 1997.

[29]. INGHAM, H.; THOMPSON, S. **Wholly-owned versus collaborative ventures for diversifying financial services.** Strategic Management Journal, v. 15, n. 4, p. 325-334, 1994.

[30]. JIMÉNEZ, J. B. de; LORENTE, J. J. C. **Environmental performance as an operations objective.** International Journal of Operations & Production Management, v. 21, n. 12, p. 1553-1572, 2001.

[31]. LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C. **Issues in supply chain management.** Industrial Marketing Management, New York, v. 29, n. 1, p. 65-83, 2000.

[32]. LAMBERT, D. M.; COOPER, M. C.; PAGH, J. D. **Supply chain management: implementation issues and research opportunities.** The International Journal

of Logistics Management, Flórida, v. 9, n. 8, p. 1-19, 1998.

[33]. LAVIE, D. **The competitive advantage of interconnected firms: an extension of the resource-based view.** Academy of Management Review, v. 31, n. 3, p. 638-658, 2006.

[34]. LEE, H. L.; BILLINGTON, C. **Managing supply chain inventory - pitfalls and opportunities.** Sloan Management Review, v. 33, n. 3, p. 65-73, 1992.

[35]. LEEMIS, L.M.; TRIVEDI, K.S. **A comparison of approximate interval estimators for the Bernoulli parameter.** The American Statistician. Alexandria, v. 50, n. 1, p. 63-68, Feb.1996.

[36]. LEONARD-BARTON, D. **Core Capabilities and Core Rigidities: A Paradox in Managing New Product Development.** Strategic Management Journal, 13 (S1), 111-125, 1992.

[37]. MENTZER, J. T.; DeWITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C. D.; ZACHARIA, Z. G. **Defining supply chain management.** Journal of Business Logistics, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

[38]. MEREDITH, J. **Building Operations Management Theory Through Case and Field Research.** Journal of Operations Management, v. 16, n. 4, p. 441-54, 1998.

[39]. MESQUITA, L. F.; ANAND, J.; BRUSH, T. H. **Comparing the resource-based and relational views: knowledge transfer and spillover in vertical alliances.** Strategic Management Journal, v. 29, p.

913-941, 2008.

[40]. NEELY, A. D. **The performance measurement revolution: why now and where next**, International Journal of Operations and Production Management, v. 19, n. 2, p. 205-28, 1999.

[41]. NEWBERT, S. L. **Empirical research on the resource-based view of the firm: an assessment and suggestions for future research**, Strategic Management Journal, v. 28, p. 121-46, 2007.

[42]. PAIVA, E. L.; CARVALHO JR. J. M.; FENSTERSEIFER, J. E. **Estratégia de produção e operações: conceitos, melhores práticas, visão de futuro**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

[43]. PETERAF, M. A. **The Cornerstones of Competitive Advantage: A Resource-based View**. Strategic Management Journal, New Jersey, v. 14, n. 3, p. 179-191, mar. 1993.

[44]. PIRES, S. R. I. **Gestão da cadeia de suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 310 p., 2004.

[45]. ROSENZWEIG, E. D.; ROTH, A. V.; DEAN, J. W. J. **The influence of an integration strategy on competitive capabilities and business performance: an exploratory study of consumer products manufacturers**, Journal of Operations Management, v. 21, n. 4, p. 437-56, 2003.

[46]. ROTH, A. V.; MILLER, J. G. **Success Factors in Manufacturing**. Business Horizons, 35, 4, 73-81, 1992.

[47]. SKINNER, W. **Manufacturing - Missing link in corporate strategy**. Harvard Business Review, v. 47, n. 3, p. 136-145, 1969.

[48]. SWAMIDASS, P. M.; NEWELL, W. T. **Manufacturing strategy, environmental uncertainty and performance: a path analytic model**. Management Science, v. 33, n. 4, p. 509-524, apr. 1987.

[49]. VASCONCELOS, F. C. A.; CYRINO, A. B. **Vantagem Competitiva: os modelos teóricos atuais e a convergência entre estratégia e teoria organizacional**. Revista de Administração de Empresas, v. 40, n. 4, p. 20-37, out./dez. 2000.

[50]. VICKERY, S. K.; DROGE, C.; MARKLAND, R. R. **Production competence and business strategy: Do they affect business performance?** Decision Sciences, v. 24, n. 2, p. 435-456, 1993.

[51]. VICKERY, S.; DROGE, C.; MARKLAND, R. E. **Dimensions of manufacturing: strength in the furniture industry**. Journal of Operations Management, 15 (4), 317-330, 1997.

[52]. VOSS, A. C. **Alternative paradigms for manufacturing strategy**. International Journal of Operations & Production Management, v. 15, n. 4, p. 5-16, 1995.

[53]. VOSS, C.; N. TSIKRIKTISIS; FROHLICH, M. **Case Research in Operations Management**. International Journal of Operations & Production Management, v. 20, n. 2, p. 195-219, 2002.

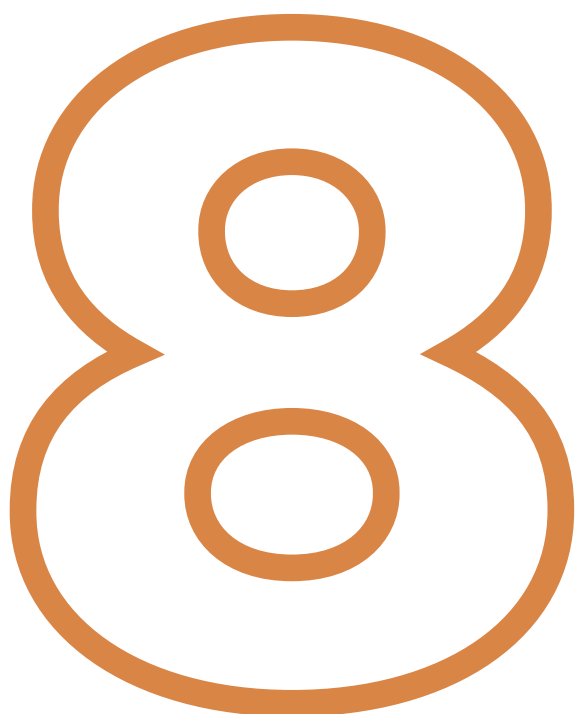
[54]. WARD, P. T.; LEONG, G. K.; BOYER,

K. K., **Manufacturing proactiveness and performance.** Decision Sciences, v. 25, n. 3, p. 337-58, 1994.

[55]. WHEELWRIGHT, S. C. **Manufacturing strategy: defining the missing link.** Strategic Management Journal, v. 5, n. 1, p. 77-91, 1984.

[56]. YIN, R. K. **Estudo de Caso: planejamento e métodos.** 4. ed. Tradução Ana Thorell. Revisão técnica Cláudio Damascena. Porto Alegre: Bookman, 2010.

[57]. ZACHARIA, Z. G., NIX, N. W.; LUSCH, R. F. **Capabilities that enhance outcomes of an episodic supply chain collaboration.** Journal of Operations Management, v. 29, n. 6, p. 591-603, 2011.



APLICAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO PROCESSO DE PINTURAS DE CADEIRAS EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA.

**Alencar Servat
Camila Cielo
José Airton Azevedo dos Santos
Lucas Duarte
Fabiana Costa de Araujo Schutz**

RESUMO

Em tempos de variação econômica, crises políticas e insatisfações mercadológicas, é de grande importância que as empresas busquem por melhorias constantes em seus processos de produção. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar, através princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação discreta (DES), o processo de pintura de uma indústria moveleira. Um modelo do tipo dinâmico, discreto e estocástico foi implementado no software de simulação Cloudes. De um modo geral, os resultados evidenciaram que com a aplicação, dos princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação computacional, pode-se aumentar a produção de cadeiras em 48,27%.

Palavras-chave

Simulação, Cloudes, Teoria das restrições, Indústria moveleira.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria moveleira é fragmentada, intensiva em mão-de-obra, com pouca participação no valor agregado e verticalizada. Está localizada com mais intensidade nas regiões Sul e Sudeste do país e teve um avanço expressivo durante a década de 1990, após um grande investimento na aquisição de máquinas e equipamentos importados, que proporcionaram um aumento expressivo na produção e uma padronização do produto em nível internacional (LOUREIRO, 2011).

Atualmente, o Brasil se enquadra como um dos maiores produtores de móveis e possui destaque pela sua competitividade na fabricação dos mesmos. Tendo, devido à enorme oferta de madeiras certificadas ou reflorestadas, uma excelente base para a produção nas indústrias de móveis (SILVA, 2017).

De acordo com Gorini (1998) as indústrias moveleiras ganham destaque devido a pequena estrutura de suas empresas, sendo que as pequenas e microempresas representam 88% do total de indústrias, 33% do total de empregos e 16% do valor bruto da produção industrial.

A sobrevivência das empresas num mercado altamente competitivo exige um comprometimento com o atendimento às especificações, satisfação das necessidades dos clientes e melhoria contínua dos processos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2002). Na área moveleira, trabalha-se cada vez mais com entregas

mais frequentes e tempos de produção mais reduzidos. Assim, o processo de pintura de cadeiras tem que ser organizado de modo que as perdas sejam mínimas, tanto de tempo como de produto. Para obter este resultado, diversas técnicas são disponibilizadas aos gestores deste processo, dentre elas tem-se: a Teoria das Restrições e a Simulação Computacional (PRADO, 2010).

A Teoria das Restrições é composta por um conjunto de princípios e conceitos idealizados pelo físico israelense Eliyahu Goldratt, nos anos 1980, conhecido como Teoria das Restrições (TOC - *Theory of Constraints*), um método novo de administração da produção. O sucesso de sua teoria em algumas empresas fez com que outras se interessassem em aprender a técnica. Assim Goldratt decidiu repassar o seu conhecimento e escreveu um livro contando sobre sua teoria, chamado de "*The Goal*" ou em português A Meta (GOLDRATT; JEFF, 1997).

A TOC se concentra na utilização e aumento da capacidade do gargalo da produção, responsável pelos resultados de todo o sistema produtivo (ALVES; SANTOS; SCHMIDT, 2014). Nesse aspecto, a sua utilização serve de apoio para a determinação de cenários a serem criados no ambiente de simulação computacional, orientando à obtenção do resultado esperado.

Para Harrell (2000), a simulação computacional tem grande importância no processo de manufatura, pois se destaca como uma boa ferramenta de planejamento geren-

cial, podendo contribuir para a empresa de diversas formas, tais como: na análise de métodos, no controle da produção, na previsão de gastos, no planejamento do *supply chain*, no controle sobre estoques em processo, entre outras tantas atividades.

A simulação computacional é uma ferramenta que auxilia a tomada de decisões, devido ao alto grau de eficácia que esta técnica de gestão proporciona. Segundo Prado (2009), é um modo de imitar como seria o funcionamento de um sistema real. Com o auxílio de programas de computador é possível construir modelos onde se pode visualizar na tela, tal como um filme, o funcionamento do sistema estudado.

Considerando os fatores evidenciados nesta seção, percebe-se a importância desta pesquisa para uma futura proposta de melhoria no processo a ser estudado. O interesse por este trabalho está totalmente ligado a conquista de conhecimento e colaboração para que a empresa tenha uma melhor utilização e gerencia dos recursos disponíveis.

Neste trabalho foi utilizado como plataforma de simulação o software de simulação Cloudes. Softwares comerciais, para simulação discreta, como o Arena e o Anylogic possuem requisitos de hardware para funcionar, além de licenças muito caras. Cloudes é um software livre que fornece aos usuários a possibilidade de construir um modelo, de simulação discreta, usando um navegador (CLOUDES, 2014).

Neste contexto, este estudo teve como

objetivo propor uma análise da aplicação dos princípios da teoria das restrições e da simulação computacional na gestão do processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira.

2. METODOLOGIA

Essa trabalho utilizou dois métodos de pesquisa: o estudo de caso, para conhecer o fenômeno no contexto real de forma ampla e detalhada (YIN, 2001), e a modelagem/simulação, que aborda quantitativamente o problema e busca controlar as variáveis gerenciais em estudo.

A empresa:

A empresa em estudo atua no ramo moveleiro e está localizada na região oeste do Paraná, na cidade de Medianeira. Produz móveis para atender tanto o mercado nacional quanto o mercado internacional. Comercializa móveis com altíssimo padrão de qualidade e design exclusivo.

A empresa teve grande importância para a colonização, desenvolvimento e geração de renda para a região em que se localiza. Sendo na época uma das primeiras indústrias a se fixar na cidade onde se instalou.

A partir da década de 90 a empresa começou a produzir e comercializar móveis, com uma sofisticada linha de salas de jantar voltada para atender tanto o mercado brasileiro quanto o exigente mercado internacional. Deste modo a empresa se adequou a realidade do mercado, conquistando seu lugar em meio a grande competitividade do setor.

Processo de fabricação:

O processo, em estudo, inicia com a chegada das cadeiras (Figura 1) no processo de tingimento. Neste processo as cadeiras são tingidas através de uma pistola manual. Observa-se que a empresa possui duas cabines de pintura, sendo, no momento, utilizada apenas uma.

Depois de tingidas as cadeiras passam pelo processo de selagem. Neste processo recebem um selador, também através de pistola manual. Na sequência as cadeiras passam pelos processos de secagem e lixação. Na lixação são realizadas ações corretivas. Finalmente, as cadeiras passam pelos processos de aplicação de verniz e secagem. O verniz é aplicado para dar proteção e resistência ao produto.

Figura 1 – Cadeira produzida pela empresa

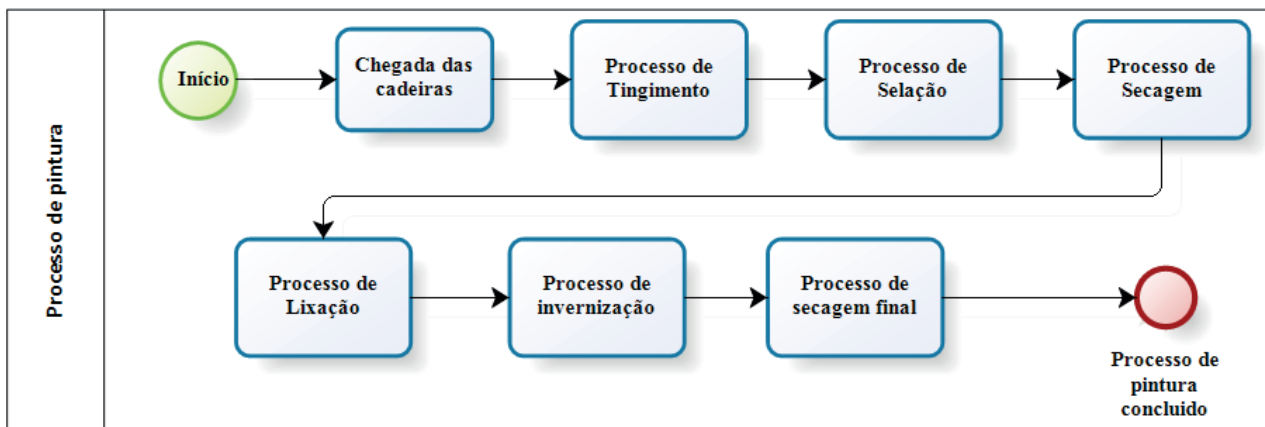


Fonte: O Autor

Atualmente, o setor de pintura conta com 7 funcionários: 4 no processo de lixa, 1 no processo de tingimento, 1 no processo de

selagem e 1 no processo de aplicação de verniz. Na Figura 2 apresenta-se o fluxograma do sistema em estudo.

Figura 2 – Fluxograma do processo de pintura



Fonte: O Autor

Número de Replicações:

Neste trabalho, o número de replicações (n^*) foi obtido através da Equação (1) (MONTGOMERY, 2005):

$$n^* = n \times \left(\frac{h}{h^*} \right)^2$$

(1)

onde:

n : número de replicações já realizadas;

h : semi-intervalo de confiança já obtido e;

h^* : semi-intervalo de confiança desejado.

Tamanho da Amostra:

O tamanho de cada uma das amostras, cronometradas neste trabalho, foi obtida, para um nível de confiança de 95%, através da Equação (2) (MARRÔCO, 2007):

$$n_A = \left(\frac{Z_{\frac{\alpha}{2}} \times S}{E} \right)^2$$

(2)

onde:

n_A : número de indivíduos da amostra;

$Z_{\alpha/2}$: valor crítico que corresponde ao grau de confiança desejado;

S : desvio padrão e;

E : erro máximo estimado.

Etapas. Na Tabela 1 apresentam-se as etapas realizadas neste trabalho de simulação.

A metodologia proposta pôde ser aplicada através da visita a indústria. Inicialmente fez-se a observação do ambiente de trabalho, onde foi possível avaliar a dinâmica de como as atividades são desenvolvidas e a ordem dos procedimentos fabris. Diante desta observação, então foi possível iniciar a coleta de informações e dados necessários à pesquisa.

O procedimento de coletas de dados se deu por meio de entrevistas, arquivos fotográficos e também por medições que foram essenciais para análise de simulação.

Tabela 1 – Etapas realizadas

ETAPAS	AÇÃO
Primeira etapa	Definição da empresa
Segunda etapa	Realização da visita à empresa e coleta de dados
Terceira etapa	Construção do modelo computacional
Quarta etapa	Realização das simulações computacionais
Quinta etapa	Análise dos resultados de simulação

Fonte: O Autor

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, identificaram-se as distribuições probabilísticas referentes a cada etapa do processo, por meio da ferramenta *input analyzer* do software ARENA. Elas são de extrema importância para a simulação gerar resultados bem próximos da realidade, pois conseguem absorver a essência de suas operações, diferentemente de realizar uma média simples com os dados, que podem apresentar um desvio padrão muito elevado o que comprometeria a acurácia dos resultados da simulação. Os tempos coletados no processo de pintura foram: Tempos de Tingimento da Cadeira (TTC); Tempo de Secagem (30 minutos); Tempos de Selagem (TSL); Tempos de Lixa (TL) e Tempos de Verniz (TV). Na Tabela 2

encontram-se as distribuições de probabilidade utilizadas neste trabalho.

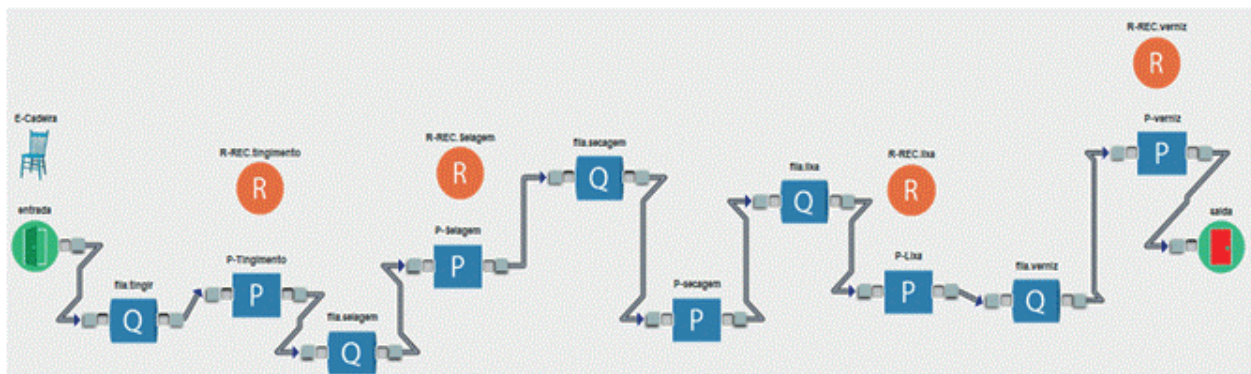
Tabela 2 – Distribuições de probabilidade

Itens	Distribuição
TTC	UNIF(122,152) s
TSL	TRIA(101,118,132) s
TL	UNIF(243,491) s
TV	UNIF(55,124) s

Fonte: O Autor

Com as distribuições de probabilidade definidas, foi possível simular o processo de pintura. Como resultado obteve-se um total de 87 cadeiras processadas num período de 4 horas, ou seja, meio turno de trabalho. A Figura 3 apresenta o modelo de simulação utilizado (Modelo 1).

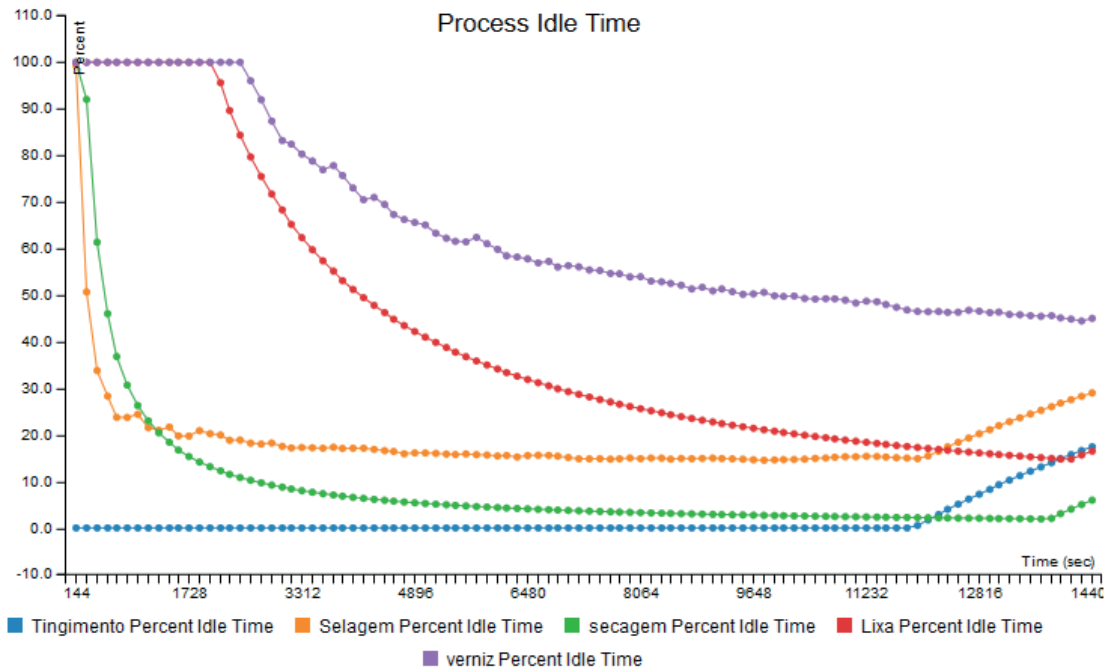
Figura 3 – Modelo de Simulação 1 – Cloudes



Fonte: O Autor

Visando aumentar a produtividade do processo realizou-se uma análise minuciosa dos gráficos gerados pela simulação. No gráfico de tempo de ociosidade do processo, apresentado na Figura 4, constatou-se que os funcionários do processo de lixa e verniz ficavam muito tempo ociosos.

Figura 4 – Gráfico do tempo inativo, em porcentagem, do processo de pintura - Cloudes



Fonte: O Autor

Depois de identificada a restrição, todos os esforços foram direcionados para diminuir o tempo de ociosidade do processo de lixa e verniz. Para avaliar as alternativas de redução deste tempo a simulação computacional foi refeita inúmeras vezes, realocando os funcionários de diferentes formas possíveis, inclusive em processos distintos do qual estavam inicialmente.

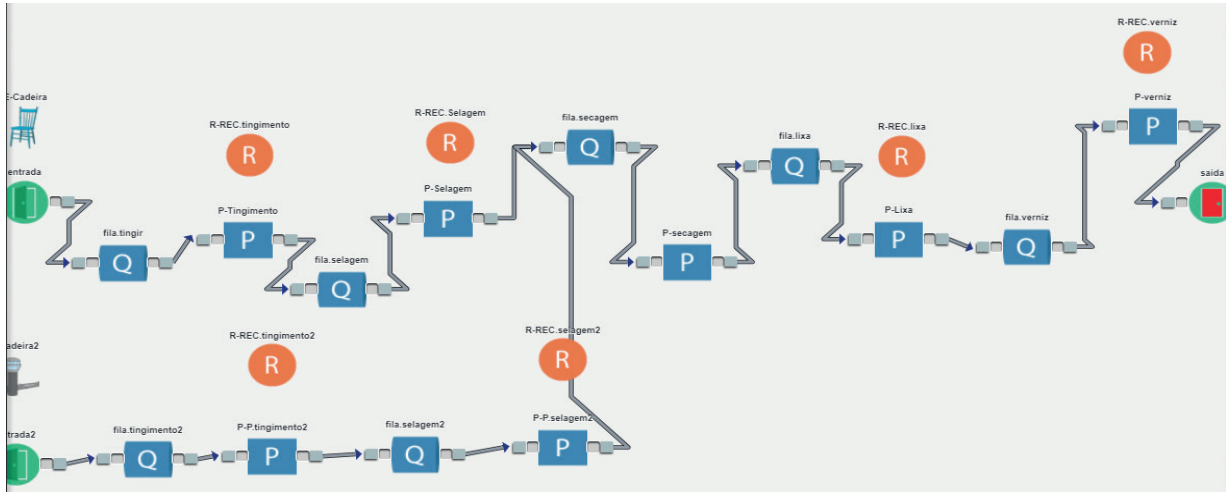
A distribuição de funcionários que obteve o maior número de cadeiras processadas e, conseqüentemente, o menor tempo de ociosidade entre os funcionários foi realizada da seguinte maneira: Antes da primeira cadeira secar completamente, 3 funcionários do setor de lixa deverão assumir o processo de tingimento, enquanto 1 funcionário do mesmo setor e 1 do setor de verniz deverão assumir a selagem. Quando a primeira cadeira secar por completo, um funcionário alocado no

processo de tingimento volta ao seu posto de origem para lixar a cadeira.

O mesmo esquema é feito para as duas próximas cadeiras. Quando a quarta cadeira estiver seca o funcionário que foi dirigido para a selagem volta para o processo de lixa. O último funcionário alocado na selagem volta para o processo de aplicação de verniz, quando a primeira cadeira for lixada completamente. Esta distribuição foi implementada no modelo apresentado na Figura 5 (Modelo 2).

Após efetuar a simulação, nessas condições, diminuiu-se o tempo ocioso dos funcionários do setor de lixa e verniz chegando a um total de 129 cadeiras pintadas, durante o mesmo período de tempo de 4 horas.

Figura 5 – Modelo de Simulação 2 – Cloudes



Fonte: O Autor

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se a metodologia utilizada na implementação de um modelo computacional usado para simular o processo de pintura de cadeiras em uma indústria moveleira.

Constatou-se que o sistema de pintura de cadeiras possui uma restrição, pois enquanto o processo de secagem é realizado, os funcionários dos processos de lixa e verniz ficavam ociosos, acarretando a não utilização da capacidade produtiva total do sistema.

Diante disso, uma possível solução seria a retribuições de tarefas para os funcionários do setor de lixa e verniz, atribuindo-os obrigações enquanto estiverem ociosos. Assim foi obtido como resultado um acréscimo de 48,27% da produção, não sendo necessária a contratação de novos funcionários e aquisição de material e máquinas.

Entretanto, para fins gerenciais torna-se

importante analisar os sistemas produtivos e seus gargalos através da simulação computacional resultando na determinação de parâmetros de produção, como número de funcionários, eficiência, e produtividade, parâmetros estes que quando definidos inadequadamente podem acarretar em resultados indesejados.

O assunto não se esgota, com a realização deste trabalho, devendo avançar, a partir do desenvolvimento de um estudo relativo ao comportamento da restrição no sistema. Segundo a teoria das restrições, uma vez que ocorre uma melhoria no gargalo, as restrições podem mudar de lugar no sistema.

Conclui-se que este trabalho foi de grande valia na aprendizagem e desenvolvimento profissional dos alunos envolvidos, podendo ser reaplicado em diferentes sistemas produtivos, pois o software utilizado juntamente com a teoria das restrições são ferramentas de fácil acesso até mesmo para empresas de pequeno e médio porte.

REFERÊNCIAS

- [1]. ALVES, R.; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. **Aplicação dos princípios da teoria das restrições e de técnicas de simulação na gestão da dinâmica operacional de um pequeno restaurante: um estudo de caso.** Revista Espacios, v. 35, p. 21, 2014.
- [2]. CLOUDES **Cloudes User Manual v. 3.14.** Viginia: Modeling, Analysis and Simulation Center, 2014.
- [3]. GOLDRATT, E. M.; JEFF, C. **A Meta.** São Paulo: Educator Editora, 1997.
- [4]. GORINI, A.P.F. **Panorama do Setor Moveleiro no Brasil, com Ênfase na Competitividade Externa a Partir do Desenvolvimento da Cadeia Industrial de Produtos Sólidos de Madeira.** Rio de Janeiro: BNDES, set. 1998.
- [5]. HARREL, C. R. **Simulation Using ProModel®.** McGraw-Hill, 2000.
- [6]. LOUREIRO A. B. **Planejamento do arranjo físico em uma indústria moveleira.** UFES, 2011.
- [7]. MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments.** New York: Wiley, 2005.
- [8]. MORROCO, J. **Análise estatística de dados – com utilização do SPSS.** Lisboa. Sílabo, 2003
- [9]. PRADO, Darci Santos do. **Teoria da Filas e da Simulação.** 4. ed. Nova Lima: Indgtecs, 2009. 127 p.
- [10]. PRADO, D. **Usando o ARENA em simulação.** v.3, 4ed. Nova Lima: INDG - Tecnologia e Serviços LTDA, 2010.
- [11]. SATOR, F. .; SANTOS, J. A. A.; SCHMIDT, C. A. P. **Teoria das restrições e simulação aplicadas no gerenciamento de demanda de uma unidade de pronto atendimento.** Revista Espacios, v. 35, p.19, 2014.
- [12]. SILVA, T. R. P. **Relatório Brasil Móveis 2016 aponta dados do setor moveleiro.** Emobi, 2017. Acessado em 14/07/2017.
- [13]. SLACK, N; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 2 ed. São Paulo: Atlas, 2002
- [14]. YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** Porto Alegre: Bookman, 2001.



APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE BOX-JENKINS PARA MODELAGEM DO ÍNDICE DE CONFIANÇA DO EMPRESÁRIO INDUSTRIAL (ICEI)

Ícaro Romolo Sousa Agostino
Saymon Ricardo de Oliveira
Sousa
Cristiane Melchior
Adriano Mendonça Souza
Roselaine Ruviaro Zanini

RESUMO

O Índice de Confiança do Empresário Industrial (ICEI) é um indicador que identifica as mudanças na tendência da produção industrial brasileira, auxiliando na previsão do produto industrial interno. Dessa forma, o objetivo desse artigo é investigar o comportamento temporal do ICEI por meio dos modelos da classe geral ARIMA. A série temporal utilizada refere-se aos dados mensais do indicador no período compreendido entre janeiro de 2012 e agosto de 2017, totalizando 68 observações. O procedimento metodológico adotado foi o de Box-Jenkins, a partir da modelagem ARIMA. Como resultado o estudo apresenta um modelo ajustado com características de ruído branco, possibilitando a realização da previsão in-sample, de acordo com os pressupostos da metodologia utilizada. O processo gerador da série temporal é de média móveis de ordem 1, sendo aplicado uma diferença ($d = 1$) para torná-la estacionária, sendo que o modelo selecionado para representar a série foi o ARIMA (0,1,1). Como conclusão, a modelagem possibilitou avaliar o comportamento temporal do indicador em relação aos impactos econômicos recentes ocorridos, verificando a influência de curto prazo no comportamento seriado do índice.

Palavras-chave

Indústria Brasileira, ARIMA, Indicadores Industriais.

1. INTRODUÇÃO

O processo de industrialização brasileira é cercado de episódios que buscam esclarecer os primórdios ou marco principal desse processo. De uma maneira direta ou indireta, o limite no avanço da indústria brasileira foi a revolução de 1930, que originou uma acentuada conversão em sua estrutura socioeconômica, condições essas, suficientes, para a instauração das relações capitalistas de produção e desenvolvimento de um eixo econômico no país, que já estavam sendo desenvolvidos desde o século XX (WOOD; CALDAS, 2007).

O Brasil atualmente vem passando por um momento de incertezas nos cenários político e econômico, devido ao baixo crescimento do Produto Interno Bruto (PIB), a inflação alcançando patamares alarmantes, gestão pública deficiente, balança comercial com baixo desempenho, pela falta de incentivos à indústria, dentre outros fatores. Para direcionar a alocação de elementos de produção, perante a escassez de recursos, a sociedade deve fazer escolhas. Nesse sentido, toda escolha implicará em custos em termos da oportunidade não selecionada (BARBOSA FILHO, 2017).

Neste ambiente de acesso a novos mercados, atrelados a recursos produtivos escassos e a redução de custos operacionais constantes, que um investidor típico constitui suas decisões. Desta forma, as sondagens de tendência apresentam informações relevantes para o monitoramento da situação em curso e antecipação de eventos futuros, além de mensurar o rela-

cionamento de uma atividade econômica e a confiança, para isso, são utilizados os indicadores de confiança.

O Índice de Confiança do Empresário Industrial (ICEI) é um indicador oficial publicado pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), que mede as tendências da produção industrial brasileira, auxiliando a previsão do comportamento do produto industrial, visto que empresários desse setor quando confiantes tendem a aumentar os investimentos na produção (CNI, 2017).

Considerando a relevância do tema abordado por esta pesquisa, este artigo tem como objetivo investigar o comportamento do Índice de Confiança do Empresário Industrial, assim como ajustar um modelo predictor por meio da metodologia de Box-Jenkins, utilizando modelos da classe geral ARIMA para a série estudada.

Além desta introdução, o presente artigo está organizado em mais cinco seções. Na próxima seção é apresentado o referencial teórico, abordando a conceituação do ICEI e a metodologia de Box-Jenkins; na seção seguinte é apresentado a metodologia utilizada na pesquisa, com apresentação dos dados e os procedimentos metodológicos; na quarta seção é apresentado os resultados e discussões, e por fim na quinta seção a conclusão da investigação realizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir apresenta-se a contextualização teórica a respeito do tema do estudo.

2.1. O ÍNDICE DE CONFIANÇA DO EMPRESÁRIO INDUSTRIAL

O Índice de Confiança do Empresário Industrial é um indicador mensal que mede o desempenho da indústria e aponta as principais mudanças ocorridas no ambiente produtivo, influenciando diretamente na previsão do indicador de Produto Interno Bruto (PIB) (CNI, 2015).

Este indicador depende de um parque industrial moderno, capaz de consolidar um cenário econômico produtivo, porém, atualmente encontra dificuldades para crescer frente a um mercado pouco favorável ao crescimento da indústria brasileira. O aumento da inflação, a volatilidade nas taxas de câmbio e a recessão no crescimento econômico mundial são alguns dos principais fatores que demonstram a necessidade de um ajuste fiscal, além de indicar um baixo crescimento econômico que tende a perdurar por um longo período de tempo (CONTRI, 2015).

Para analisar o contexto industrial de forma precisa, o ICEI abrange todo o território nacional, investigando as empresas, que são definidas como “a união de todas as suas unidades locais que exerçam a mesma atividade econômica, na mesma unidade da federação (estado ou Distrito Federal)”. As empresas são classificadas de acordo com seu porte. Considera-se pequenas empresas aquelas que apresentam de 10 a 49 trabalhadores, médias as que possuem de 50 a 250 trabalhadores e grandes aquelas com 250 trabalhadores ou mais (CNI, 2015).

Independente do porte, todas as organizações são prejudicadas pelas oscilações econômicas do país, algumas em maior intensidade que outras, com taxas inflacionárias incontroláveis que afetam a produção e a comercialização de bens de consumo, impactando na desvalorização de ativos financeiros, aumento das taxas de desemprego e pobreza, além de abalar a credibilidade e a confiança do investidor (PIGNATA; CARVALHO, 2015).

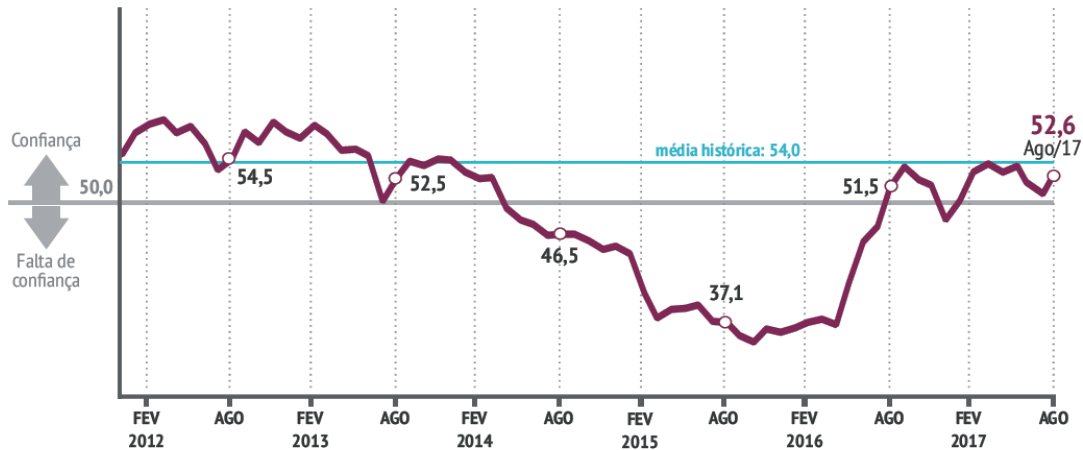
Para conhecer os pontos fortes e as limitações de forma individual, o ICEI realiza uma análise organizacional abrangendo questões levantadas em duas etapas: a primeira, corresponde a sondagem industrial, que analisa as organizações que compõe o grupo de indústrias de transformação e extrativa, e a segunda etapa acontece por meio da sondagem industrial da construção, que analisa empresas do ramo da construção. A Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0) serviu como base para o desenvolvimento das práticas econômicas utilizadas pela sondagem industrial e pela indústria da construção (CNI, 2015).

No entendimento de Contri (2015), além de medir o desempenho industrial, deve-se atentar para fatores que permeiam no ambiente externo e influenciam diretamente no desempenho financeiro da instituição. A crise econômica, consolidada por meio do baixo desempenho produtivo das organizações, retarda o crescimento e aumenta as dificuldades no setor industrial, fazendo com que a indústria da transformação cresça com taxas inferiores ao PIB brasileiro.

Como forma de avaliar o desempenho industrial utiliza-se o cálculo do ICEI. A Confederação Nacional da Indústria (2015), explica que o ICEI é um indicador de divulgação, medido de 0 a 100. Valores superiores a 50 pontos indicam confiança por parte dos empresários e abaixo de 50

falta de confiança, a Figura 1 ilustra graficamente o indicador. Para a construção deste índice avalia-se quatro questões: condições da economia brasileira (P α), condições atuais da indústria (P β), expectativas acerca da indústria (P γ) e expectativas da empresa (P δ) (CNI, 2015).

Figura 1 – Índice de Confiança do Empresário Industrial



Fonte: Adaptado de CNI (2017)

A Confederação Nacional da Indústria (2015) utiliza a frequência relativa das respostas para calcular os indicadores que medem as condições atuais e as expectativas. Cada questão possui cinco alternativas de resposta, sendo “1” muito pessimista (peso $\varpi_j = 0,00$), “2” pessimista (peso $\varpi_j = 0,25$), “3” a situação não deve ser alterada (peso $\varpi_j = 0,50$), “4” otimista (peso $\varpi_j = 0,75$) e “5” muito otimista (peso $\varpi_j = 1,00$). Para calcular este índice utiliza-se a equação 1.

$$IP_i = \sum_{j=1}^5 (F_{ij} \times \varpi_j) \times 100$$

(1)

Onde: IP_i é um indicador da questão i , em que $i = P \alpha, P \beta, P \gamma$ e $P \delta$; F_{ij} Frequência rela-

tiva das respostas do tipo j , para a questão i .

A confiança da classe empresarial somente será estabelecida quando houver um crescimento econômico capaz de sustentar o aumento da produção e atrair novos investimentos. Para que o desenvolvimento industrial aconteça, ajustes fiscais e intervenções governamentais na economia, devem ser contestadas. Tomadas estas ações, a redução do risco e incerteza que permeia no contexto econômico brasileiro será significativo (BARBOSA FILHO, 2017).

2.2. METODOLOGIA DE BOX-JENKINS

A metodologia de Box-Jenkins (1970) se refere aos modelos Autorregressivos Integrados de Médias Móveis, comumente

denominados de modelos da classe geral ARIMA. Tal método é utilizado em séries temporais com o intuito de análise e realização de previsões para séries de médio comprimento, sendo caracterizado por capturar a correlação entre os valores da série ao longo do tempo (SOUZA, 2016).

Um pressuposto básico para utilização da metodologia de Box-Jenkins é da estacionariedade da série temporal utilizada, garantindo a significância dos parâmetros estimados ao longo dos períodos. Dessa forma, caso a série possua tendência, não sendo estacionária, se faz necessário a aplicação de diferenças entre os valores a fim de torná-la estacionária (MARTIN *et al.*, 2016). A verificação da estacionariedade se dá a priori por análise gráfica, sendo confirmada pela aplicação de testes de raízes unitárias. Os testes Augmented Dick-Fuller – ADF (DICKEY, 1984) e Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin – KPSS (KWIATKOWSKI *et al.*, 1992) comumente são utilizados a fim de verificar a estacionariedade em séries temporais, sendo sugerido a utilização conjunta de ambos para obter resultados mais acurados sobre o grau de estacionariedade dos dados (SOUZA, 2016).

Os modelos ARIMA resultam da combinação dos filtros: componente autorregressivo (AR), filtro de integração (I) e o componente de médias móveis (MA). A modelagem de Box-Jenkins se constitui de um ciclo, permitindo ao fim determinar o melhor modelo predictor com base nas características de autocorrelação da série estudada. Os procedimentos abordados são: (i) identificação: nesta etapa é determi-

nado o modelo para representar a série por meio da análise da função de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP); (ii) estimação: são estimados os parâmetros autorregressivos e de médias móveis; (iii) validação: verificação da adequação do modelo ajustado ao comportamento real da série; (iv) previsão: tal etapa é realizada quando as demais anteriores são satisfatoriamente atendidas (KIRCHNER *et al.*, 2011; NORONHA *et al.*, 2016; Marasca *et al.*, 2017).

Os modelos ARIMA (p, d, q), genericamente, são representados pela equação 2, em que B representa o operador retroativo, d o número de diferenciações, ϕ o parâmetro autorregressivo de ordem p , θ o termo de médias móveis de ordem q (SOUZA *et al.*, 2011).

$$\phi(B) \Delta^d X_t = \theta(B) a_t \quad (2)$$

Os resíduos oriundos do modelo ajustado são definidos pela diferença entre os valores reais da série temporal modelada e os valores previstos. Para um modelo adequado, a sequência de ruídos gerados deve ser não autocorrelacionada, possuir média zero e variância constante, sendo que, os ruídos quando atendem esses requisitos são denominados de ruído branco (SOUZA, 2016).

Para medir o ajuste do modelo escolhido, os critérios *Akaike Information Criteria* – AIC (AKAIKE, 1973) e *Bayesian Information Criteria* – BIC (SCHWARZ, 1978) são utilizados como parâmetros na seleção do modelo final entre os modelos ARIMA possíveis ajustados. Tais critérios são considerados penalizadores, pois levam em consideração o número de parâmetros dos modelos e a

variância dos erros gerados, dessa forma o modelo que apresentar menores valores para os critérios e AIC e BIC terá o melhor ajuste (MORETIN, 2008).

Os critérios de AIC e BIC são definidos pelas seguintes equações:

$$AIC(p, q) = \ln \sigma_{p,q}^2 + \frac{2(p+q)}{n} \tag{3}$$

$$BIC(p, q) = \ln \sigma_{p,q}^2 + (p+q) \frac{\ln N}{N} \tag{4}$$

Onde: p e q são os parâmetros conhecidos, n é o tamanho da amostra, \ln o logaritmo neperiano e σ^2 a variância estimada dos erros.

Para avaliar a acurácia de um modelo de previsão, alguns mecanismos são utilizados para confirmar a validade de um modelo, comparando os resultados estimados com os dados reais da série. As medidas de acurácia utilizadas nesse estudo foram: *Mean Absolute Error* (MAE); *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE); e o coeficiente de U-Theil, que mede a acurácia de um modelo de previsão em relação a uma previsão ingênua, com base nos seguintes critérios (TUBINO, 2009):

$$IP_i = \sum_{j=1}^5 (F_{ij} \times \varpi_j) \times 100$$

- $U > 1$; o erro médio do modelo ajustado é maior ou igual de uma previsão ingênua;

- $U < 1$; o erro médio do modelo ajustado é menor que de uma previsão ingênua.

As equações das medidas de acurácia estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Medidas de Acurácia

Sigla	Equação
MAE	$\frac{\sum_{t=1}^n E_t }{n}$ (5)
MAPE	$\frac{\sum_{t=1}^n E_t/Y_t * 100}{n}$ (6)
U-Theil	$\frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (E_t)^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Z_t - Z_{t-1})^2}}$ (7)

Fonte: Adaptado de Tubino (2009)

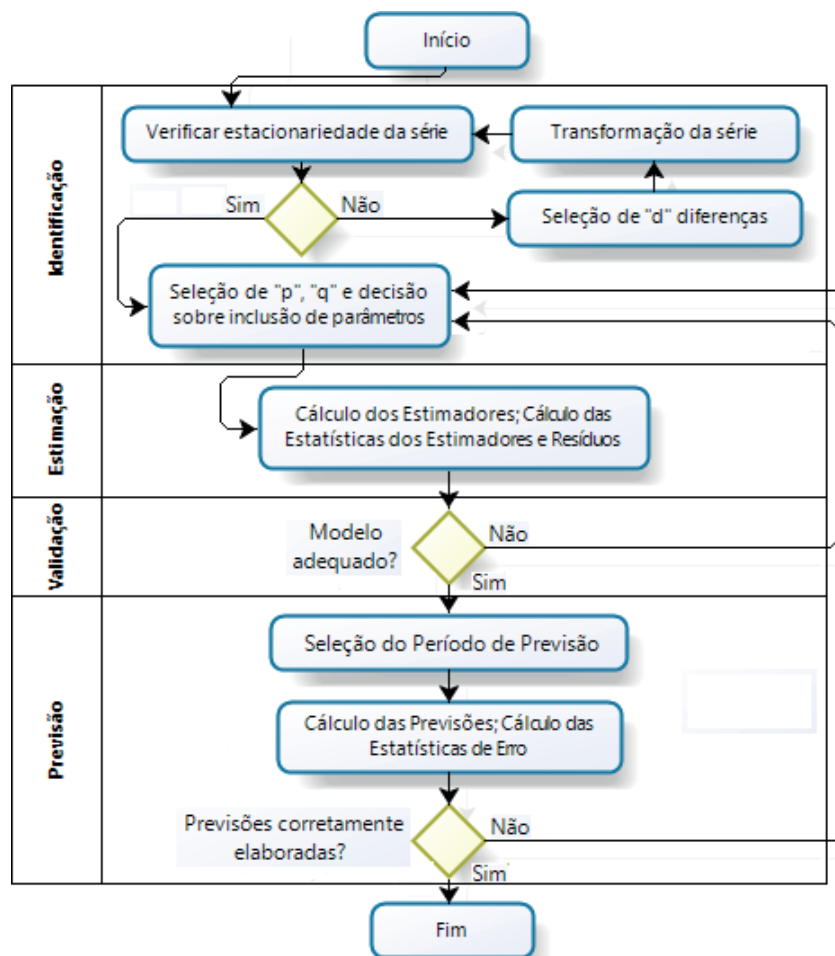
Em que: E_t = Erro de previsão no instante t ; n = Número de observações; Z_t = Valor real no tempo t e $t = 1, 2, \dots, n$.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A série temporal utilizada para o estudo se trata do índice de confiança do empresário industrial, cujos dados foram obtidos do site da CNI – Confederação Nacional da Indústria (<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>). Foi avaliado o período compreendido entre janeiro de 2012 e agosto de 2017, a fim de capturar o comportamento recente do indicador, com dados coletados mensalmente, totalizando 68 observações.

A modelagem ARIMA seguiu os passos metodológicos propostos por Box-Jenkins (1970), conforme abordado na revisão de literatura. Na Figura 2 apresentam-se as etapas do processo de modelagem.

Figura 2 – Etapas Metodológicas



Fonte: Adaptado de Pereira e Requeijo (2008)

Etapa 1 - Identificação: nesta fase será verificada a estacionariedade da série por meio da inspeção visual e dos testes de raízes unitárias ADF e KPSS. Caso a série não seja estacionária em nível será aplicada diferença e novamente verificado a estacionariedade, esse procedimento é repetido até que a série se torne estacionária em “d” diferenças.

Etapa 2 - Estimação: serão estimados os parâmetros dos modelos concorrentes e identificado o número de defasagens dos parâmetros através da análise gráfica da autocorrelação e autocorrelação parcial da série. Ainda nessa etapa é realizada a inves-

tigação dos resíduos dos modelos ajustados.

Etapa 3 - Validação: o modelo validado será selecionado entre os modelos concorrentes pelos critérios de *AIC* e *BIC*, assim como pela análise dos resíduos.

Etapa 4 - Previsão: para o presente estudo as previsões serão realizadas *in-sample*, dessa forma será calculado as estatísticas de erro MAE, MAPE e U-Theil, avaliando a capacidade do modelo como predictor do comportamento futuro da série temporal analisada.

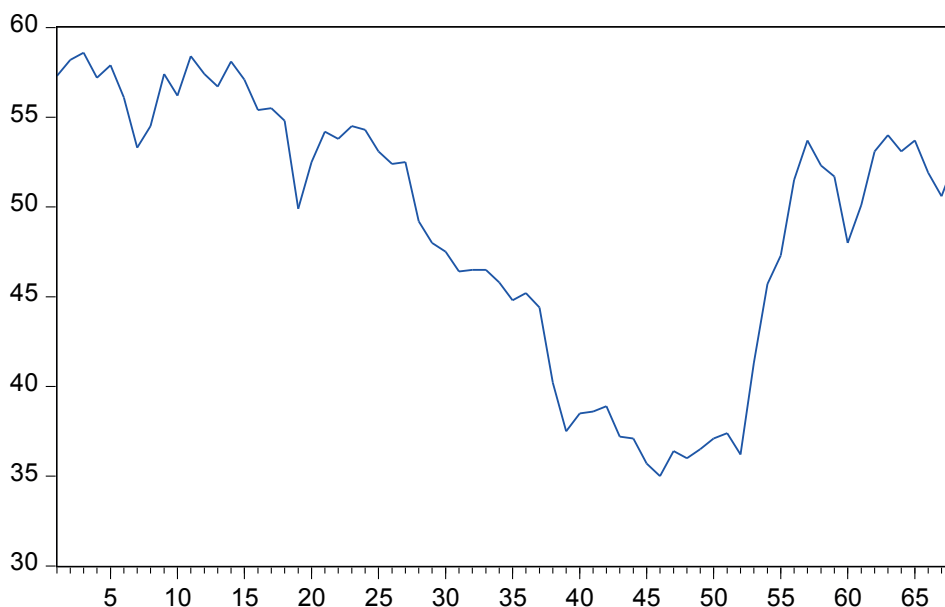
O *software* utilizado para o tratamento e modelagem da série temporal foi o *Eviews 9 S.V.*

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3 representam-se a série original, sendo que a partir da inspeção visual é

possível observar que a série não é estacionária, pois a mesma não oscila em torno de uma média constante. Para confirmar tal hipótese foram realizados os testes de raízes unitária ADF e KPSS.

Figura 3 – Índice de Confiança do Empresário Industrial



Na Tabela 2 apresentam-se o resultados dos testes de raízes unitárias ADF e KPSS realizados, sendo que a hipótese de não estacionariedade da série original foi

confirmado, pois os dois testes convergem seus resultados, indicando a necessidade da realização de uma diferença.

Tabela 2 – Resultado dos Testes de Raízes Unitárias

	ADF ^a	KPSS ^b
Série em nível	-0,6657 ($p = 0,97$) ^c	0,4750 ^d
Série em 1ª diferença	-6,6642 ($p > 0,00$)^c	0,2635^d

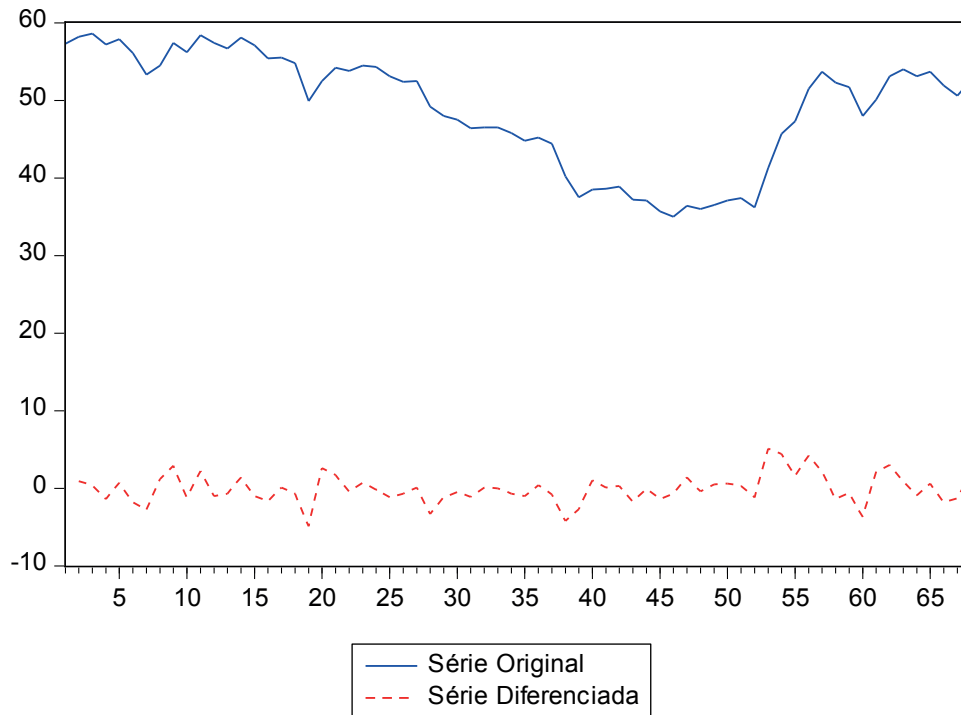
Fonte: Elaborado pelos autores; ^aH₀: a série possui uma raiz unitária; $\alpha = 0,05$; /

^b H₀: a série é estacionária; $\alpha = 0,05$; / ^c Valor crítico para o teste ADF: -3,4783; /

^d Valor crítico para o teste KPSS: 0,4630

Na Figura 4 observa-se a série original e a série transformada com aplicação de uma diferença ($d = 1$), sendo possível confirmar visualmente os resultados dos testes de raízes unitárias realizados.

Figura 4 – Série em nível e diferenciada



Por meio da análise das funções de autocorrelação (FAC) e da função de autocorrelação parcial (FACP) buscou-se identificar

os possíveis modelos que melhor representassem a série em estudo, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – FAC e FACP da Série do ICEI

	Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC
	██████████	██████████	1	0.957	0.957
	██████████	██	2	0.901	-0.160
	██████████	██	3	0.846	-0.011
	██████████	██	4	0.781	-0.158
	██████████	██	5	0.720	0.060
	██████████	██	6	0.670	0.070
	██████████	██	7	0.614	-0.127
	██████████	██	8	0.552	-0.091
	██████████	██	9	0.488	-0.085
	██████████	██	10	0.408	-0.190
	██████████	██	11	0.328	-0.006
	██████████	██	12	0.253	-0.021
	██████████	██	13	0.172	-0.136
	██████████	██	14	0.092	-0.060
	██████████	██	15	0.019	-0.037
	██	██	16	-0.047	0.053
	██	██	17	-0.100	0.098
	██	██	18	-0.143	0.017

É possível observar que a série possui autocorrelação significativa positiva até o lag 12. Em seguida, foram realizadas as estimações dos parâmetros dos modelos concorrentes com objetivo de encontrar o melhor modelo para representar a série.

Na Tabela 3 então contidos a descrição dos modelos ajustados, assim como os valores de seus parâmetros, o nível de significância, os critérios de AIC (*Akaike Information Criteria*) e BIC (*Bayesian Information Criteria*) e a informação de ruído branco.

Tabela 3 – Modelos Concorrentes para o ICEI

ARIMA (0,1,1)				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\theta = 0,24573$	0,0172	4,1194	4,1252	Sim

ARIMA (1,1,1)				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\phi = -0,55239$	0,0525	4,1192	4,2179	Sim
$\theta = 0,78126$	0,0013			

ARIMA (1,1,0)				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\phi = 0,18215$	0,0772	4,1283	4,1543	Não

ARIMA (0,1,2)				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\theta = 0,25714$	0,0119	4,1317	4,2304	Não

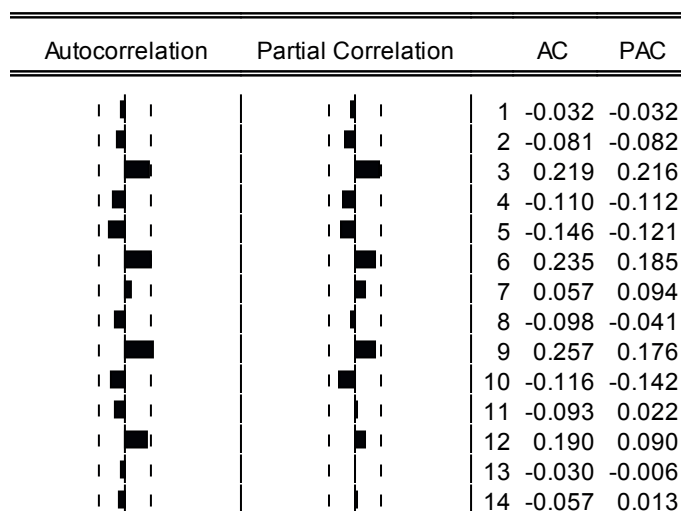
Fonte: Elaborado pelos autores

Com base nos critérios de AIC e BIC e na análise dos resíduos gerados, entre os 4 modelos concorrente ajustados foi selecionado o modelo ARIMA (0,1,1), pois o mesmo apresentou o menor valor para o critério de BIC, o segundo menor valor para o critério de AIC, sendo o único modelo dentre os concorrentes a ter todos os parâmetros estimados significativos ($p < 0,05$),

além de ter apresentado ruído branco.

A análise dos resíduos foi realizada por meio da FAC e FACP dos resíduos oriundos do modelo selecionado, conforme pode ser observado na Figura 6, sendo que gerados não são autocorrelacionados, não apresentando *lags* significativos tanto na FAC quanto na FACP.

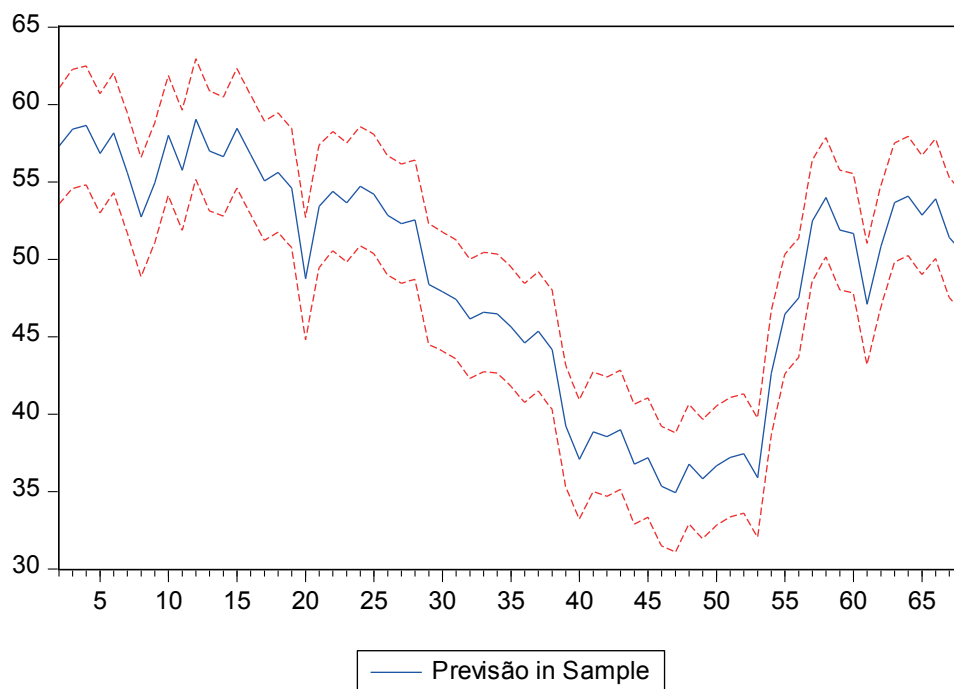
Figura 6 – FAC e FACP dos resíduos do modelo ajustado



Ao observar que o modelo ajustado selecionado atendeu aos requisitos da metodologia de Box-Jenkins, apresentando ruído branco, foi então realizado a

previsão *in-sample*, com finalidade de verificar a eficácia de modelo como predictor do comportamento futuro da série do ICIE, conforme Figura 7.

Figura 7 – Previsão *in-sample* do Índice de Confiança do Empresário Industrial



As medidas de acurácia MAPE, MAE e U-Theil foram calculadas a partir da previsão *in-sample* realizada, conforme a Tabela 4. O modelo apresentou um valor menor que 1 para a estatística de U-Theil, indicando que o modelo ajustado é melhor predictor em relação a uma previsão ingênua. Para as estatísticas de MAPE e MAE os valores calculados demonstram baixo erro, qualificando o modelo como um bom predictor do comportamento futuro do ICEI.

Observa-se então que o modelo ajustado é adequado para realização de previsões futuras. Uma vez que confiança do empresário industrial é uma importante informação para a economia brasileira, refletindo o estímulo para investimentos no setor, o modelo proposto permite a realização de previsões acuradas com embasamento científico, dentro dos critérios metodológicos proposto na literatura de séries temporais.

Tabela 4 – Medidas de Acurácia do Modelo Ajustado

ARIMA (0,1,1)	
MAE	1,4097
MAPE	2,9272
U-Theil	0,0186

Fonte: Elaborado pelos autores

Outra importante discussão resultante do processo de modelagem é que o modelo final apresentou uma memória de curto prazo, em que o processo gerador da série é de medias móveis de ordem 1, apesar da sua autocorrelação ser significativa até o 12º lag,

isso permite evidenciar que o ICIE é influenciado por acontecimentos externos com rápida influência sobre os períodos futuros.

Tal afirmação pode ser corroborada, a partir da verificação do comportamento da série entre o período de abril de 2014 e agosto de 2016, em que o índice apresentou valores inferiores a 50, indicando baixa confiança e baixa capacidade da indústria em estimular investimentos. Tal período coincide com a crise ocorrida em 2014, em que a balança comercial brasileira apresentou forte déficit, conforme é discutido em trabalhos científicos recentes, como o de Barbosa Filho (2017), Pgnata e Carvalho (2015) e Contri (2015).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Índice de Confiança do Empresário Industrial é um importante indicador na avaliação do cenário da indústria nacional, por sua abrangência tanto territorial, quanto setorial, alcançando todos os níveis da indústria brasileira.

Como contribuição, esta pesquisa apresenta uma investigação do ICEI a partir da metodologia de Box-Jenkins, modelando a série temporal gerada pelo indicador no período compreendido entre janeiro de 2012 e agosto de 2017, obtendo previsões *in-sample* com o modelo selecionado ARIMA (0,1,1), apresentado os resultados da investigação com outros estudos publicados.

O modelo selecionado se mostrou adequado, se ajustando aos dados histó-

ricos modelados e apresentando características de ruído branco. Foi evidenciado um comportamento seriado com autocorrelação entre as observações, com influência de curto prazo entre os períodos da série, reafirmando a discussão da literatura sobre o tema, em que os eventos econômicos têm impactos no curto prazo para a indústria brasileira.

Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a utilização de outras técnicas de modelagem, como os métodos de decomposição de séries temporais, para capturar características de sazonalidade e tendência com maior acurácia. Outra sugestão é a avaliação de outros indicadores da indústria brasileira em conjunto com ICEI, como a Utilização da Capacidade Instalada da Indústria (UCI), o Índice Nacional de Expectativa do Consumidor (INEC) e a Participação da Indústria no PIB.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao LAME – Laboratório de Análise e Modelagem Estatística da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, pelo espaço utilizado, assim como softwares e equipamentos. Agradecemos à CAPES pelo apoio financeiro na forma de concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

[1]. AKAIKE, H. **Information theory and an extension of the maximum likelihood principle.** 2nd International Symposium on Information Theory, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, BudapesT, 1973.

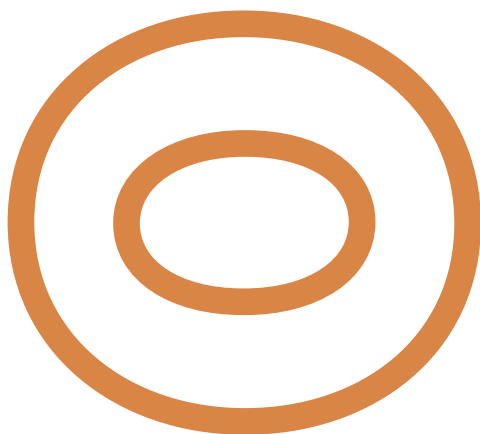
- [2]. BARBOSA FILHO, F. D. H. **A crise econômica de 2014/2017**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 31, n. 89, jan. 2017.
- [3]. BOX, G. E. P.; JENKINS G. M. **Time Series Analysis, forecasting and control**. San Francisco: Holden Day, 1970.
- [4]. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **ICEI - Índice de Confiança do Empresário Industrial**. Confederação Nacional da Indústria, ano 19, n. 8, agosto 2017.
- [5]. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI. **Metodologia do Índice de Confiança do Empresário Industrial (ICEI)**. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, p. 24. 2015.
- [6]. CONTRI, A. L. **O desempenho industrial brasileiro e as conjunturas nacional e internacional**. Indicadores Econômicos FEE, Porto Alegre, v. 43, n. 1, p. 29-40, 2015.
- [7]. DICKEY, D. A. **Power of Unit Root Tests. Proceedings of business and economic statistics Sections**. American Statistical Assn. v. 74, 489-493, 1984.
- [8]. KIRCHNER, R.; SOUZA, A. M.; STUMM, E. M. F. **A Modelagem Como Ferramenta De Gestão**. Latin American Journal of Business Management. V. 2, N. 1, P. 223. Taubaté, 2011.
- [9]. KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. **Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root**. Journal of Econometrics, v. 54, 159-178. North-Holland, 1992.
- [10]. MARASCA, L.; SANTOS, E. P.; UEDA, R. M.; DAPPER, S. N. SOUZA, A. M. **Desemprego no Brasil: Uma Análise Política, Econômica e Social**. Revista FSA, Teresina, v. 14, n. 3, p. 86-107, maio 2017.
- [11]. MARTIN, A. C.; HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; KONRATH, A. C. **Análise de séries temporais para previsão da evolução do número de automóveis no Município de Joinville**. Revista Espacios, v. 37, n. 06, 2016.
- [12]. MORETTIN, P. A. **Econometria Financeira: um curso em séries temporais financeiras**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- [13]. NORONHA, M. O.; SOUZA, A. M.; ZANINI, R. R. **Aplicação Da Metodologia Box & Jenkins Para Modelagem Da Emissão De Certificados Iso 14001 No Brasil**. Revista Espacios. V. 37, N. 12 P. 28. Caracas, 2016.
- [14]. PEREIRA, L. P.; REQUEIJO G. J. **Qualidade: Planejamento e Controle Estatístico de Processos**. Lisboa: FCT/UNL, 2008.
- [15]. PIGNATA, F. A.; CARVALHO, D. O. D. **Efeitos da crise econômica no Brasil em 2015**. Revista Eletrônica "Diálogos Acadêmicos", v. 09, n. 2, p. 04-18, julho 2015.
- [16]. SCHWARZ, GIDEON E. **Estimating the dimension of a model**. Annals of Statistics, 6 (2): 461-464, 1978.
- [17]. SOUZA, A. M.; SOUZA, F. M.; FERREIRA, N.; MENEZES, R. **Electrical Energy Supply for Rio Grande Do Sul, Brazil, Using Forecast Combination of**

Weighted Eigenvalues. Gepros - Gestão Da Produção, Operações E Sistemas – Ano 6, Nº 3, P. 23-39, 2011.

[18]. SOUZA, F. M. **Modelos De Previsão: aplicações à energia elétrica - ARIMA-ARCH-AI e ACP.** Curitiba: Appris, 2016. ISBN 9788547302481.

[19]. TUBINO, D.F. **Planejamento E Controle Da Produção: Teoria E Prática.** 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

[20]. WOOD, T. JR.; CALDAS, M. P. **Empresas brasileiras e o desafio da competitividade.** Revista de Administração de Empresas, FGV, vol. 47, n. 3, 2007.



MODELAGEM E ANÁLISE DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL ALIMENTÍCIA BRASILEIRA (2002- 2017) A PARTIR DE UM MODELO SARIMA

Ícaro Romolo Sousa Agostino
Cristiano Ziegler
Renan Mitsuo Ueda
Letícia Marasca
Adriano Mendonça Souza

RESUMO

A indústria alimentícia brasileira representa uma importante parcela da produção industrial como um todo, tendo forte característica de sazonalidade em seu comportamento. Dessa forma, o objetivo desse artigo é investigar o comportamento temporal da produção industrial alimentícia nacional por meio dos modelos da classe SARIMA. A série temporal utilizada refere-se aos dados mensais da produção da indústria de alimentos brasileira, disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), sendo utilizado o período compreendido entre janeiro de 2002 e junho de 2017, totalizando 186 observações. O procedimento metodológico adotado foi o de Box-Jenkins, a partir da modelagem SARIMA. Como resultado o estudo apresenta um modelo ajustado com características de ruído branco, possibilitando a realização da previsão in-sample, de acordo com os pressupostos da metodologia utilizada. O processo gerador da série temporal foi um autorregressivo de ordem 2, com filtro de médias móveis de ordem 1, além de um componente autorregressivo sazonal de ordem 12, sendo aplicada uma diferença ($d = 1$) para tornar a série estacionária, portanto o modelo selecionado para representar a série foi o SARIMA (2,1,1) (1,0,0)₁₂. Como discussão, a modelagem possibilitou avaliar o comportamento temporal da indústria de alimentos em relação as características, verificando a influência de curto prazo autorregressivo e sazonal no comportamento seriado do índice.

Palavras-chave

Indústria de Alimentos, Box-Jenkins, Produção Industrial.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Almeida e Suhr (2012), o desenvolvimento da indústria no Brasil começa aos poucos, no final do século XIX, cerca de um século depois de países da Europa, que já haviam trocado os produtos artesanais por produtos industrializados. Foi somente no século XX que a industrialização brasileira ganha força, modificando a economia, política e sociedade. Até então o país era basicamente rural, e começa a se transformar em urbano e industrial, alterando os sistemas produtivos, governamentais e financeiros.

Contribuindo com essa perspectiva, Peinado e Graeml (2007), mencionam que a base necessária para a industrialização no Brasil surgiu com o café, sendo esse o responsável pelo desenvolvimento do capital, transporte e mão de obra. No início do século XX, grande parte dos funcionários das indústrias era composta por mulheres e crianças, o que resultou na criação de leis para melhorar a condição do trabalhador industrial ainda nas três primeiras décadas do século. Na década de cinquenta o governo incentivou a vinda de indústrias multinacionais para o Brasil, com financiamentos subsidiados e isenção de impostos. A partir desse momento o país passou a integrar a economia internacional, com empresas que detinham elevado grau de tecnologia.

Nesse contexto, a indústria alimentícia se desenvolveu no Brasil, sobretudo devido a efeitos de exportação do final do século XIX, e da Primeira Guerra Mundial, o setor industrial brasileiro passou a atender uma

maior demanda interna de matéria-prima industrial e produtos alimentícios, como carnes. No Século XX, o crescimento da urbanização e a migração da população para as cidades contribuiu para o aumento da demanda por produtos industrializados, auxiliando o crescimento de indústrias desse setor (RATTNER, 1978; CUNHA; DIAS; GOMES, 2006).

Considerando a relevância do tema abordado por esta pesquisa, este artigo tem como objetivo investigar o comportamento da série temporal da produção industrial alimentícia brasileira, assim como ajustar um modelo previsor por meio da metodologia de Box-Jenkins, utilizando modelos da classe geral ARIMA para a série estudada.

Além desta introdução, o presente artigo está organizado em mais cinco seções. Na próxima seção é apresentado o referencial teórico, abordando a indústria alimentícia brasileira e a metodologia de Box-Jenkins; na seção seguinte é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa, com apresentação dos dados e os procedimentos metodológicos; na quarta seção são apresentados os resultados e discussões, e por fim, na quinta seção a conclusão da investigação realizada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir apresenta-se a contextualização teórica a respeito do tema do estudo.

2.1. INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA BRASILEIRA: SURGIMENTO, IMPORTÂNCIA E CARACTERÍSTICAS

A indústria brasileira possui uma grande diversificação, possibilitando um dinamismo para a economia, devido a diferentes setores industriais instalados no país. Em um momento de crise, alguns setores podem ter perdas grandes na produção, já outros, no mesmo período, podem apresentar crescimento. Porém a maioria das indústrias ainda apresenta baixa especialização, tornando-a pouco competitiva no mercado internacional (SARTI; HIRATUKA, 2011).

Flandrin e Montarini (1998), apontam que após a Revolução Industrial, houve grande êxodo rural e expansão para as cidades, modificando os moldes da economia e alavancando o comércio mundial. As mulheres passaram a trabalhar nas fábricas e indústrias, esse também pode ser considerado um fator que contribuiu para a expansão da indústria alimentícia.

Na década de 90, devido a estabilização econômica e inserção do Brasil na economia internacional, indústria de alimentos teve modificações expressivas. Nesse período foi necessária uma maior modernização das empresas, eficiência na produção e melhoria dos produtos, a fim de se manterem competitivas no mercado (CUNHA; DIAS; GOMES, 2006).

Segundo Nespolo *et al.* (2015), a indústria de alimentos tem como principal objetivo transformar a matéria-prima alimentar em

um produto apropriado ao consumo, por meio de processos biológicos, químicos e físicos. Através desses processos o alimento tem a possibilidade de apresentar condições antes inexistentes, que possibilita várias vantagens ao produto. As principais vantagens da industrialização alimentícia são: maior tempo de vida útil e armazenamento; melhoramento no sabor, aroma e consistência; produção de produtos especializados (dietética, infantil, etc); baixo custo de beneficiamento; facilidade na logística; entre outras.

O setor industrial de alimentos no Brasil no ano de 2016 teve um faturamento total de US\$ 175,9 bilhões, distribuídos entre exportações com US\$ 36,4 bilhões e mercado interno com US\$ 139,5 bilhões, além de US\$ 4,1 bilhões em importações. As empresas desse setor apresentam grande diversificação nos segmentos, tanto oligopolizados (leite em pó; iogurtes; indústria de café solúvel; entre outros) como concorrenciais (cereais e produtos afins; massas alimentícias e biscoitos; farinhas diversas, entre outros) (DEPEC, 2017).

Silvério *et al.* (2015), destacam que o setor de produção alimentícia possui uma acirrada concorrência entre as empresas, e cabe a cada uma buscar o seu diferencial. Devido a esta grande concorrência, cada vez mais são desenvolvidas novas tecnologias nas indústrias alimentícias, tanto em relação a métodos de produção quanto em relação a produtos diferenciados.

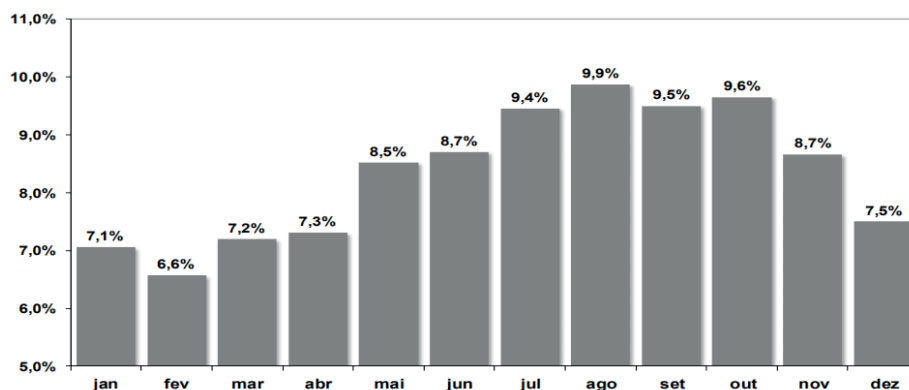
A sazonalidade na indústria alimentícia é uma característica muito comum, devido a

variação da frequência da demanda pelos alimentos. Essa variação é causada pelas datas comemorativas, alterações climáticas, além de outros fatores. Contudo é importante utilizar mecanismos para avaliar e prever essas flutuações de demanda durante o ano, para as empresas manterem-

-se em um mercado competitivo, como é o caso da indústria de alimentos (QUEIROZ; CAVALHEIRO, 2003).

Os meses que apresentam maior sazonalidade na indústria alimentícia são possíveis de serem observados na Figura 1.

Figura 1 – Sazonalidade da Produção Industrial de Alimentos de 2002 a 2016



Fonte: IBGE in: DEPEC, 2017

Na Figura 1 é possível visualizar a sazonalidade mensal da produção industrial de alimentos no período de 2002 a 2016. O mês que apresenta maior produção é o mês de setembro, uma das causas que podem contribuir para essa sazonalidade é o fato desse setor estar ligado ao setor agropecuário. O setor agropecuário abastece a indústria alimentícia com matérias-primas, como: soja, cana-de-açúcar, milho, leite, carnes, café, trigo, entre outros. Além disso, cada segmento dentro da indústria de alimentos possui uma sazonalidade específica (DEPEC, 2017).

2.2. METODOLOGIA DE BOX-JENKINS

De acordo com Souza (2016), um método utilizado para o estudo de séries tempo-

rais, a fim de se realizar previsões para séries de médio comprimento, são os modelos de classe geral denominado *Autoregressive integrated moving average* (ARIMA), o mesmo se caracteriza por capturar a correlação seriada entre os valores da série ao longo do tempo. Tal metodologia foi desenvolvida por Box-Jenkins (1970).

A utilização da metodologia de Box-Jenkins parte do pressuposto de que a série temporal analisada deve ser estacionária, este pressuposto garante a significância dos parâmetros estimados ao longo das observações. Para tornar uma série com tendência em estacionária, Martin *et al.* (2016) dizem que faz-se necessário a aplicação de diferenças na série original. A princípio, para a verificação da estacionariedade da série é realizada uma análise

gráfica. No entanto, a estacionariedade da série é confirmada por meio da aplicação dos testes de raízes unitárias, sendo os testes mais usuais: Augmented Dick-Fuller – ADF (DICKEY, 1984) e Kwiatkowski, Phillips, Schmidt e Shin – KPSS (KWIATKOWSKI *et al.*, 1992). Para a obtenção mais acurada do grau de estacionariedade dos dados, Souza (2016) sugere a utilização conjunta dos testes de raízes unitárias.

Os filtros que fazem parte dos modelos ARIMA são: componente autorregressivo (AR), filtro de integração (I) e o componente de médias móveis (AR). Com base nas características de autocorrelação da série temporal, ao final do ciclo da modelagem de Box-Jenkins é possível determinar qual o melhor modelo predictor. As etapas do ciclo de modelagem Box-Jenkins são: identificação, através da análise da função de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP), determina-se o modelo que representará a série; estimação, estima-se os parâmetros autorregressivos e de médias móveis; validação, se verifica a adequação do modelo ajustado ao comportamento real da série; e previsão, realizada somente se as etapas que o antecedem forem executadas (KIRCHNER *et al.*, 2011; NORONHA *et al.*, 2016; Marasca *et al.*, 2017).

De acordo com Souza *et al.* (2011), a representação genérica dos modelos ARIMA (p,d,q) é dada pela equação 2, onde B corresponde ao operador retroativo, ϕ o parâmetro autorregressivo de ordem p , d representa o número de diferenciações, e θ o termo de médias móveis de ordem q .

$$\phi(B) \Delta^{dxt} = \theta(B)at \quad (1)$$

Além dos filtros autorregressivos e de médias móveis, a investigação da autocorrelação pode indicar correlação entre os períodos da série analisada, apontando presença de sazonalidade, nesse caso os modelos com componentes sazonais são chamados de SARIMA. Os modelos denominados SARIMA são compostos da parte não sazonal, com parâmetros iguais aos modelos ARIMA (p, d, q) e de uma parte com os parâmetros sazonais (P, D, Q)s, em que o “s” indica a ordem da sazonalidade. Dessa forma, a descrição genérica do modelo é escrita SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)s (WERNER; RIBEIRO, 2003).

Conforme Souza (2016), a diferença entre os valores da série original com os valores previstos, corresponde aos resíduos provenientes do modelo ajustado. O ruído oriundo desta diferenciação deve ser um ruído branco, isto é, ser não autocorrelacionados, ter média zero e variância constante.

Segundo Moretin (2008), para a seleção do melhor modelo ajustado entre os modelos concorrentes, são utilizados dois critérios penalizadores, o *Akaike Information Criteria* – AIC (AKAIKE, 1973) e *Bayesian Information Criteria* – BIC (SCHWARZ, 1978). Os mesmos são ditos critérios penalizadores, uma vez que, leva em consideração a variância dos erros gerados, bem como os parâmetros dos modelos, portanto, o melhor modelo ajustado será aquele que obtiver o menor valor para os critérios AIC e BIC. Os critérios de AIC e BIC são definidos pelas seguintes equações:

$$AIC(p, q) = \ln \sigma_{p,q}^2 + \frac{2(p+q)}{n} \quad (2)$$

$$BIC(p, q) = \ln \sigma_{p,q}^2 + (p+q) \frac{\ln N}{N} \quad (3)$$

Onde: p e q são os parâmetros conhecidos, n é o tamanho da amostra, \ln o logaritmo neperiano e σ^2 a variância estimada dos erros.

De acordo com Tubino (2009), alguns mecanismos de medida podem ser utilizados para avaliar a acurácia da previsão de um modelo, ou seja, os valores são apurados por meio da comparação entre os dados reais (série original) e os estimados. Para o estudo, foram utilizados as seguintes medidas de acurácia: *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) e o coeficiente U-Theil. O coeficiente U-Theil, realiza a medida de acurácia pela comparação entre os dados do modelo previsto e a previsão ingênua, sendo os critérios:

- $U \geq 1$; o erro médio do modelo ajustado é maior ou igual de uma previsão ingênua;
- $U < 1$; o erro médio do modelo ajustado é menor que de uma previsão ingênua.

As equações das medidas de acurácia estão descritas na Tabela 1.

Em que: E_t = Erro de previsão no instante t ; n = Número de observações; Z_t = Valor real no tempo t e $t = 1, 2, \dots, n$.

Tabela 1 – Medidas de Acurácia

Sigla	Equação
MAE	$\frac{\sum_{t=1}^n E_t }{n} \quad (4)$
MAPE	$\frac{\sum_{t=1}^n E_t/Z_t * 100}{n} \quad (5)$
U-Theil	$\frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (E_t)^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Z_t - Z_{t-1})^2}} \quad (6)$

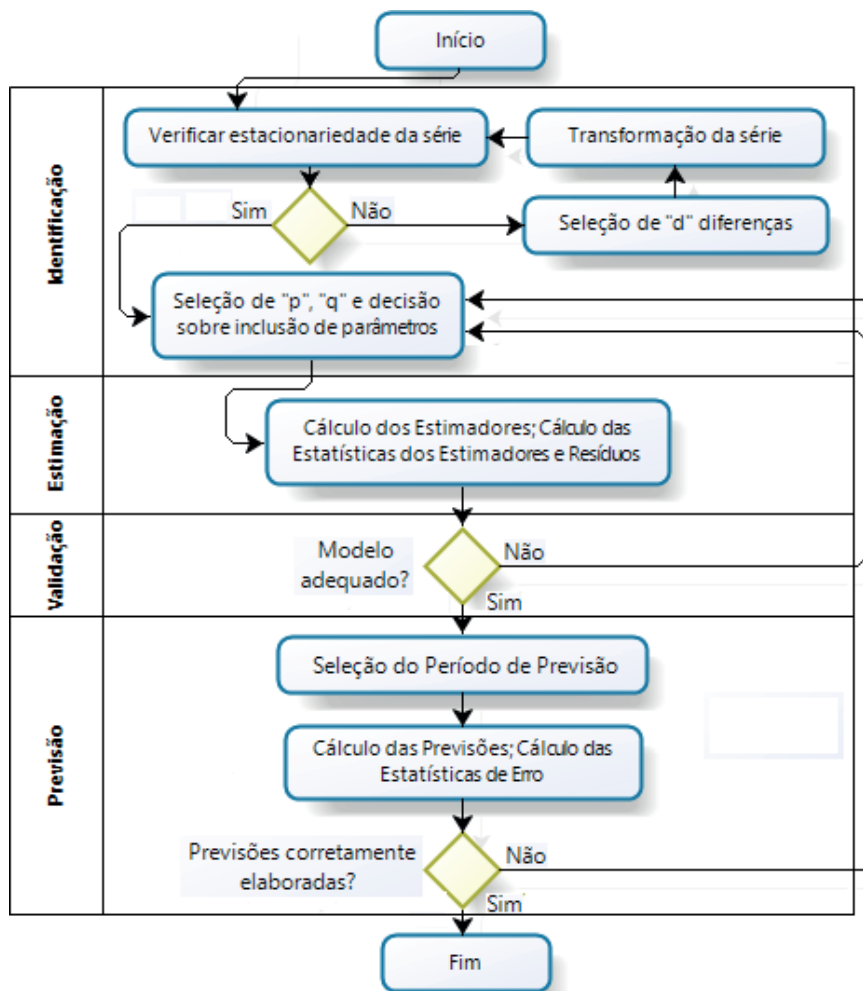
Fonte: Adaptado de Tubino (2009)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A série temporal utilizada refere-se ao índice de produção industrial alimentício brasileiro, oriundos da pesquisa industrial mensal de produção física (PIM – PF). Os dados foram obtidos do site do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (<http://www.ipeadata.gov.br/>) correspondente ao período compreendido entre janeiro de 2002 e junho de 2017, totalizando 186 observações mensais.

Para a modelagem ARIMA, seguiram-se as etapas da metodologia de Box-Jenkins (1970). Os passos para o processo de modelagem são apresentados na Figura 2, conforme o fluxo sugerido por Pereira e Requeijo (2008).

Figura 2 – Etapas Metodológicas



Fonte: Adaptado de Pereira e Requeijo (2008)

Passo 1 – Identificação: por meio da inspeção visual e testes de raízes unitárias (ADF e KPSS), verifica-se a estacionariedade da série. É aplicada uma diferença na série original caso a mesma não seja estacionária em nível. Este procedimento é realizado repetidamente até que a série torne-se estacionária em “d” diferenças.

Passo 2 – Estimação: Por meio da análise gráfica da função de autocorrelação e autocorrelação parcial da série, é determinado o número de defasagens dos parâmetros, bem como a estimativa dos parâmetros dos modelos concorrentes. Ainda, é nesta etapa que os resíduos oriundos dos mode-

los ajustados são analisados.

Passo 3 – Validação: A validação é realizada por meio dos critérios penalizadores AIC e BIC, e pela análise dos resíduos. O modelo concorrente que apresentar o melhor desempenho, será o validado.

Passo 4 – Previsão: Pode ser *in-sample* ou *out-sample*, é nesta etapa que calcula-se as estatísticas de erro MAE, MAPE e U-Theil, a fim de verificar a acurácia do modelo validado.

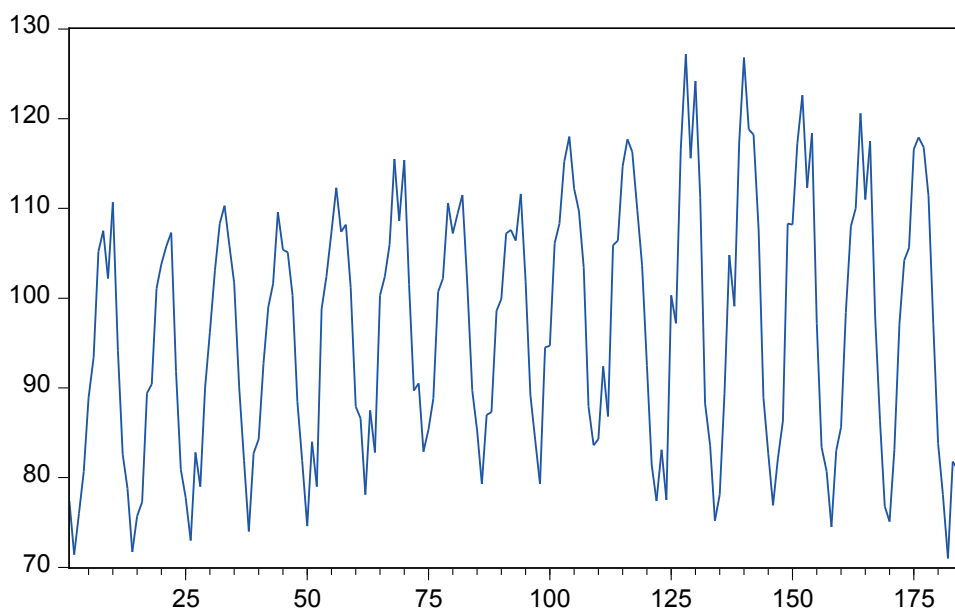
O *software* utilizado para o tratamento e modelagem da série temporal foi o *Eviews* 9 S.V.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da inspeção visual da série original, Figura 3, pode-se perceber que a série possui sazonalidade, com oscilações anuais, o

que será confirmado através da FAC e FACP da série. Pode-se observar ainda que a série é não estacionária. Para comprovação da não estacionariedade foram realizados os testes de raízes unitárias ADF e KPSS.

Figura 3 – Índice de Produção Industrial Alimentícia



A Tabela 2 contém os resultados dos testes ADF e KPSS, sendo possível verificar que a série se torna estacionária em primeira diferença, pois os dois testes convergiram

em seus resultados, indicando a necessidade da aplicação de uma diferença na série temporal original.

Tabela 2 – Resultado dos Testes de Raízes Unitárias

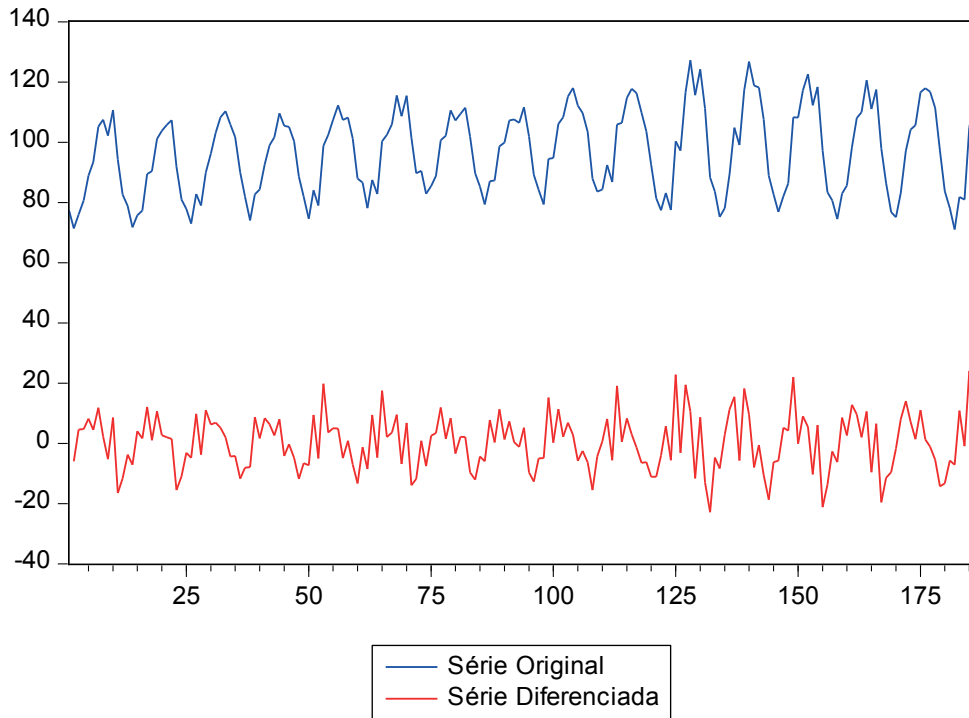
	ADF ^a	KPSS ^b
Série em nível	-1,8260 ($p = 0,36$) ^c	0,3708 ^d
Série em 1 ^a diferença	-15,0706 ($p > 0,00$)^c	0,2635^d

Fonte: Elaborado pelos autores; ^a H_0 : a série possui uma raiz unitária; $\alpha = 0,05$; ^b H_0 : a série é estacionária; $\alpha = 0,05$; ^c Valor crítico para o teste ADF: -2,8780; ^d Valor crítico para o teste KPSS: 0,3470

A Figura 4 ilustra a série original (em azul) e a série transformada (em vermelho) com aplicação de uma diferença ($d = 1$), sendo possível observar por meio da inspeção visual que a série se tornou estacionária, conforme indicado pelos testes de raízes

unitárias, possibilitando assim a estabilidade dos parâmetros estimados.

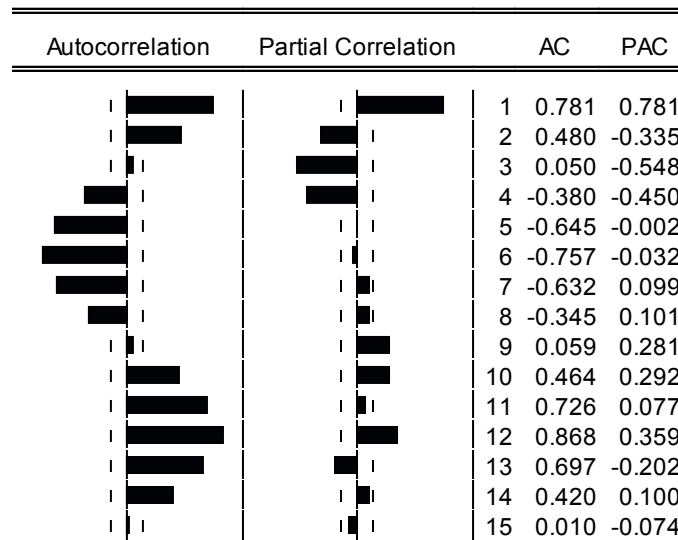
Figura 4 – Série em nível e diferenciada



Por meio da análise da função de autocorrelação (FAC) e da autocorrelação parcial (FACP), buscou-se identificar os possíveis

modelos que melhor representem a série temporal em estudo, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – FAC e FACP da Série



Na Figura 5 é possível verificar componentes autorregressivos, o decaimento da função de autocorrelação ocorre de forma ondular, indicando sazonalidade, como já observado no gráfico da série original (Fi-

gura 1). Em seguida foram estimados os parâmetros dos modelos concorrentes a fim de encontrar o melhor modelo predictor. Na Tabela 3 estão descritos os modelos concorrentes ajustados, assim como os

valores dos parâmetros de cada modelo, o nível de significância dos parâmetros, os critérios penalizadores AIC e BIC e a infor-

mação da característica dos ruídos gerados por cada modelo.

Tabela 3 – Modelos Concorrentes

SARIMA (2,1,0) (1,0,0) ₁₂				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\phi_1 = -0,5477$	$p < 0,0000$			
$\phi_2 = -0,2376$	0,0012	6,0706	6,1403	Sim
$\Phi_{12} = 0,9314$	$p < 0,0000$			

SARIMA (2,1,1) (1,0,0) ₁₂				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\phi_1 = \mathbf{0,3106}$	$p < 0,0000$			
$\phi_2 = \mathbf{0,1785}$	0,0011	5,9340	6,0211	Sim
$\Phi_{12} = 0,9229$	$p < 0,0000$			
$\theta_1 = -0,9969$	$p < 0,0000$			

SARIMA (1,1,1) (1,0,0) ₁₂				
Parâmetro	p-value	AIC	BIC	Ruído Branco
$\phi_1 = 0,3756$	$p < 0,0000$			
$\Phi_{12} = 0,9183$	$p < 0,0000$	5,9545	6,0241	Sim
$\theta_1 = -0,9929$	$p < 0,0000$			

Fonte: Elaborado pelos autores

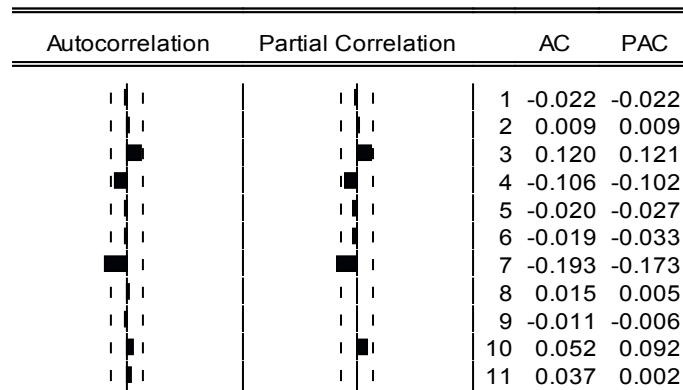
A partir dos valores de AIC e BIC e da análise dos resíduos gerados pelos modelos ajustados, foi selecionado o modelo SARI-MA , pois o mesmo apresentou os menores valores para os critérios penalizadores AIC e BIC, além de todos os parâmetros apresentarem valores significativos ($p < 0,05$), assim como ter gerado ruído branco.

Portanto, o modelo que melhor se ajustou à série de dados do Índice de Produção Industrial Alimentício Brasileiro evidencia que a série apresenta um comportamento autorregressivo de ordem 2 (2 meses anteriores influenciando o mês atual), com

fator de influência positivo (0,1785), representando um aumento nesta atividade, e também um filtro de médias móveis com parâmetro negativo (-0,9969). O modelo captou ainda um efeito sazonal de 12 meses, com parâmetro sazonal positivo (0,9229), voltando a indicar um crescimento neste índice, com valor superior à dependência autoregressiva.

Como pode ser observado na Figura 6, os resíduos gerados não são autocorrelacionados, não apresentando *lags* significativos tanto na FAC quanto na FACP.

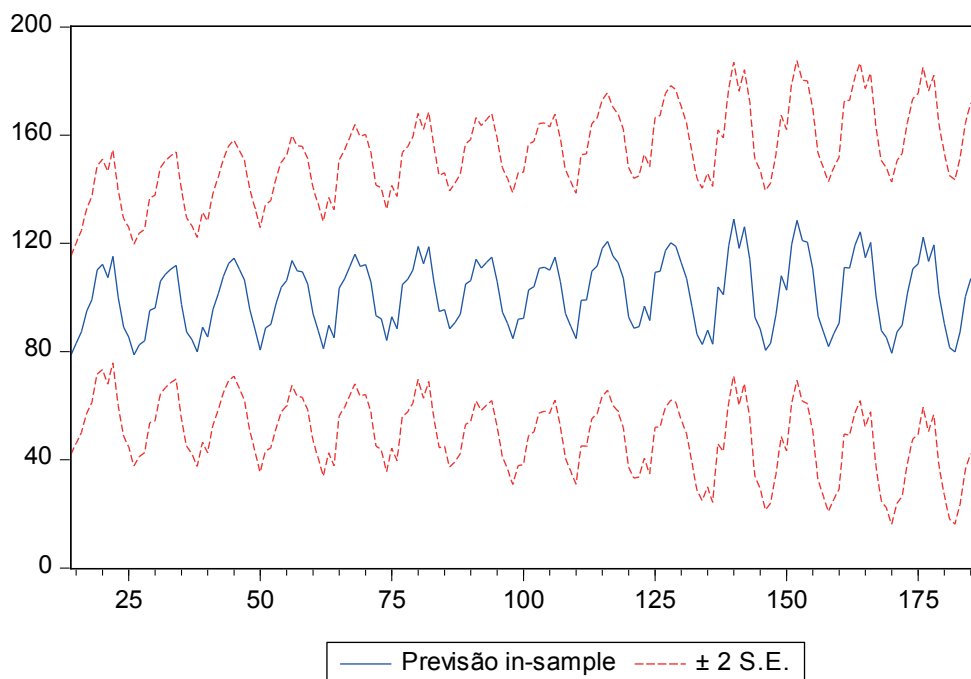
Figura 6 – FAC e FACP dos resíduos do modelo ajustado



Ao observar que o modelo selecionado atendeu os requisitos da metodologia de Box-Jenkins, gerando ruídos brancos, foi então realizado a previsão *in-sample*, com

intuito de verificar a eficácia do modelo proposto como predictor do comportamento futuro da série temporal modelada, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Previsão *in-sample*



O resultado das medidas de acurácia MAE, MAPE e U-Theil foram calculados a partir da previsão *in-sample* realizada, conforme a Tabela 4. Para a estatística de U-Theil o modelo apresentou um valor menor que 1, evidenciando o mesmo como sendo um bom predictor em relação a um predictor

ingênuo. Para as estatísticas de MAPE e MAE os resultados calculados foram baixos, qualificando o modelo como um bom predictor do comportamento futuro da série estudada.

Tabela 4 – Medidas de Acurácia do Modelo Ajustado

SARIMA (2,1,1) (1,0,0) ₁₂	
MAE	5,0534
MAPE	5,4614
U-Theil	0,0301

Fonte: Elaborado pelos autores

Desta forma, o modelo ajustado é adequado para a realização de previsões, pois atendeu aos pressupostos estabelecidos na literatura, apresentando as condições necessárias para um modelo adequado, permitindo a realização de previsões acuradas. Seus valores previstos estão dentro do intervalo de confiança de 2 desvios-padrões, permitindo assim que as decisões tomadas sejam com bases científicas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo gerador da série do Índice de Produção Industrial Alimentício Brasileiro é um autorregressivo de ordem 2, com uma diferença necessária para tornar a série estacionária, filtro médias móveis de ordem 1, e efeito sazonal no lag 12. Com base no modelo ajustado à série de dados, foi possível a realização de previsões *in-sample*. A previsão do Índice de Produção Industrial Alimentício Brasileiro encontra-se de acordo com a realidade, uma vez que continua apresentando os efeitos de sazonalidade, captando os movimentos e características da série em questão, indicando que a série sofre influência dos 2 meses passados, mas com modificações pelo efeito sazonal, dessa forma representa um crescimento ainda maior para este índice.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao LAME – Laboratório de Análise e Modelagem Estatística da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, pelo espaço utilizado, assim como *softwares* e equipamentos. Agradecemos à CAPES pelo apoio financeiro na forma de concessão de bolsas de estudo.

REFERÊNCIAS

- [1]. AKAIKE, H. **Information theory and an extension of the maximum likelihood principle**. 2nd International Symposium on Information Theory, Tsahkadsor, Armenia, USSR, September 2-8, Budapest, 1973.
- [2]. ALMEIDA, A. C.; SUHR, I. R. F. **Educação profissional no Brasil: a construção de uma proposta educativa dual**. Revista Intersaberes, [s.l.], v. 7, n. 8, p.81-110, jan. 2012.
- [3]. BOX, G. E. P.; JENKINS G. M. **Time Series Analysis, forecasting and control**. San Francisco: Holden Day, 1970.
- [4]. CUNHA, D. A.; DIAS, R. S.; GOMES, A. P. **Uma análise sistêmica da indústria alimentícia brasileira**. XLIV Congresso da SOBER, Fortaleza, jul. 2006.
- [5]. DEPEC. **Indústria de Alimentos**. Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. Bradesco. 2017. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_industria_de_alimentos.pdf> Acesso em: 28 ago. 2017.

- [6]. DICKEY, D. A. **Power of Unit Root Tests. Proceedings of business and economic statistics Sections.** American Statistical Assn. v. 74, 489-493, 1984.
- [7]. FLANDRIN, J.; MONTARINI, M. **História da Alimentação.** Tradução MACHADO, L.; TEIXEIRA, G. São Paulo: Estação Liberdade, 1998.
- [8]. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipea Data.** Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>> Acesso em: 28 ago. 2017.
- [9]. KIRCHNER, R. SOUZA, A. M. STUMM, E. M. F. **A Modelagem Como Ferramenta de Gestão.** Latin American Journal of Business Management. V. 2, N. 1, P. 223. Taubaté, 2011.
- [10]. KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. **Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root.** Journal of Econometrics, v. 54, 159-178. North-Holland, 1992.
- [11]. MARASCA, L.; SANTOS, E. P.; UEDA, R. M.; DAPPER, S. N. SOUZA, A. M. **Desemprego no Brasil: Uma Análise Política, Econômica e Social.** Revista FSA, Teresina, v. 14, n. 3, p. 86-107, maio 2017.
- [12]. MARTIN, A. C.; HENNING, E.; WALTER, O. M. F. C.; KONRATH, A. C. **Análise de séries temporais para previsão da evolução do número de automóveis no Município de Joinville.** Revista Espacios, v. 37, n. 06, 2016.
- [13]. MORETTIN, P. A. **Econometria Financeira: um curso em séries temporais financeiras.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2008.
- [14]. NESPOLO, C. R. et al. **Práticas em Tecnologia de Alimentos.** Porto Alegre: Artmed, 2015. (Série Tekne).
- [15]. NORONHA, M. O.; SOUZA, A. M.; ZANINI, R. R. **Aplicação Da Metodologia Box & Jenkins Para Modelagem Da Emissão De Certificados Iso 14001 No Brasil.** Revista Espacios. V. 37, N. 12 P. 28. Caracas, 2016.
- [16]. PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção: operações industriais e de serviços.** Curitiba: UnicenP, 2007. 750 p.
- [17]. PEREIRA, L. P.; REQUEIJO G. J. **Qualidade: Planejamento e Controle Estatístico de Processos.** Lisboa: FCT/UNL, 2008.
- [18]. QUEIROZ, A. A.; CAVALHEIRO, D. **Método de Previsão de Demanda e Detecção de Sazonalidade para o Planejamento da Produção de Indústrias de Alimentos.** XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Ouro Preto, out. 2003.
- [19]. RATTNER, H. **Aspectos econômicos e tecnológicos da indústria de alimentos brasileira.** Revista de Administração de Empresas, [s.l.], v. 18, n. 3, p.17-36, set. 1978.
- [20]. SARTI, F.; HIRATUKA, C. **Desenvolvimento industrial no Brasil: oportunidades e desafios futuros.** Texto para Discussão. IE/UNICAMP, Campinas, n. 187,

jan. 2011.

[21]. SCHWARZ, GIDEON E. **Estimating the dimension of a model.** Annals of Statistics, 6 (2): 461–464, 1978.

[22]. SILVÉRIO, G. B. et al. **A importância das inovações para a indústria alimentícia: um estudo de caso da empresa apetitoso alimentos.** Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, Medianeira, v. 2, n. 12, p.86-95, jul. 2015.

[23]. SOUZA, A. M.; SOUZA, F. M.; FERREIRA, N.; MENEZES, R. **Electrical Energy Supply for Rio Grande Do Sul, Brazil, Using Forecast Combination of Weighted Eigenvalues.** Gepros - Gestão Da Produção, Operações E Sistemas – Ano 6, Nº 3, P. 23-39, 2011.

[24]. SOUZA, F. M. **Modelos De Previsão: aplicações à energia elétrica - ARIMA- ARCH-AI e ACP.** Curitiba: Appris, 2016. ISBN 9788547302481.

[25]. TUBINO, D.F. **Planejamento E Controle Da Produção: Teoria E Prática.** 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2009.

[26]. WERNER, L.; RIBEIRO, J. L. D. **Previsão de demanda: uma aplicação dos modelos Box- Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais.** G&P – Gestão & Produção, v. 10, n. 1, p. 47 – 67, abr. 2003.

[27]. WOOD, T. JR.; CALDAS, M. P. **Empresas brasileiras e o desafio da competitividade.** Revista de Administração de Empresas, FGV, vol. 47, n. 3, 2007.



PREVISÃO DA VARIAÇÃO DO PREÇO DA SOJA, UTILIZANDO CADEIA DE MARKOV

Rafaela Boeira Cechin
Leandro Luís Corso



RESUMO

Considerando a importância da exportação para o mercado brasileiro, e principalmente neste caso específico, a exportação de soja, que colocou o país em uma posição de destaque por ser um dos maiores exportadores deste grão do mundo, informações como variação do preço podem ser úteis para gestores de agronegócio. Este artigo estuda a variação do preço da commodity soja, obtida com o uso das Cadeias de Markov. Para isso, os dados foram coletados no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, departamento que faz parte da Universidade de São Paulo, e são referentes aos dias úteis de janeiro a agosto de 2017. Foi observado que a maior probabilidade é de variação diária de 0 a 0,99% do preço, e que seu tempo de recorrência esperado é de 2,5 dias.

Palavras-chave

Cadeia de Markov, Variação de preço, Commodity soja.

1. INTRODUÇÃO

No atual momento econômico internacional, o Brasil é um dos maiores importadores de soja do mundo, assim como outras *commodities*. Isso deve-se ao fato da disponibilidade de recursos híbridos e terras cultiváveis, propiciando o país a ter uma posição de destaque. De acordo com o endereço eletrônico do Ministério da Agricultura, foi vendido o equivalente a mais de dois bilhões de dólares de soja em grão no mês de agosto de 2017, representando uma quantidade de quase seis milhões de toneladas. Ainda, há um aumento na quantidade de soja em grão exportada, quando comparado com os respectivos meses do ano de 2016.

A soja é um grão presente na alimentação humana e de animais, sendo fonte de vitaminas e proteínas. Além desta importância para o mercado brasileiro, ela ainda traz diversas vantagens, como a prevenção diversos cânceres, ainda auxiliando no tratamento de diabetes e obesidade, e na diminuição do colesterol.

Para analisar a variação do preço da *commodity* soja, foi explorado o conceito de Cadeias de Markov, que é estudado na Pesquisa Operacional, matéria presente nos cursos de Engenharia de Produção, e é uma análise estatística de um processo, que o estado futuro depende unicamente do seu estado atual. O objetivo deste trabalho é calcular a probabilidade de variação do preço da soja, com as Cadeias de Markov, além do tempo de recorrência esperado, a fim de ser uma informação útil para gestores de agronegócio.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

A metodologia de Cadeias de Markov (MC, do inglês *Markov Chains*) pode ser aplicada em diversos cenários, como por exemplo Andersen, Nilsen e Reinhardt (2017), que utilizaram este conceito em um problema de superlotação de enfermarias de hospitais. No trabalho dos autores, chegou-se à conclusão que o número de pacientes rejeitados na primeira chegada ao hospital pôde ser diminuído em 11,8%, com uma redistribuição de leitos já disponíveis no hospital. Já Staudt, Coelho e Gonçalves (2011) estudaram MC como ferramenta para obtenção do fator de capacidade de uma empresa, concluindo que alguns setores necessitam análise sobre investimentos em capacitação, já que ultrapassaram 90% da produção.

Outro exemplo é de Jantsch (2017), que utilizou Cadeias de Markov para simulação das condições dos clientes, a partir de uma análise de previsão da inadimplência e mensuração do risco de crédito no uso de cartão de crédito; tendo como resultado uma caracterização satisfatória do perfil dos indivíduos com maior risco de crédito. Ainda, Siltala e Granvik (2017) estudam a aplicação de Cadeias de Markov para estimar a massa de um asteroide, e concluíram que o algoritmo de MC que utilizaram, forneceu estimativas de incertezas mais realistas, comparando com os outros cálculos realizados.

De acordo com Taha (2007), a família de variáveis aleatórias, que descreve o

estado do sistema em pontos discretos no tempo, forma um processo estatístico. Siltala e Granvik (2017) ainda comentam que tal processo é uma Cadeia de Markov se a probabilidade de ocorrência de um estado futuro depende apenas do estado presente, ou seja, se é independente dos eventos passados. Sendo assim, Taha (2007) e Andersen, Nilsen e Reinhardt (2017) apresentam a probabilidade condicional na Equações 1 e 2.

$$p_{ij} = P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} \quad (1)$$

$$p_{ij}^n = P\{X_{t+n} = j | X_t = i\} \quad (2)$$

Onde, i representa o estado do processo no tempo t , e j como sendo a probabilidade de que um processo passe do estado i ao estado j em n passos no tempo, conforme apresentado por Jantsch (2017). Por ser probabilidade condicional, Hillier e Lierberman (2005) afirmam que estes valores não podem ser negativos, e seu somatório deve ser igual a 1. Staudt, Coelho e Gonçalves (2011) e Andersen, Nilsen e Reinhardt (2017) comentam que uma maneira conveniente de apresentar estas transições é com o uso da Matriz de Transição, exibida na Equação 3.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \cdots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \cdots & p_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & p_{n3} & \cdots & p_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Os autores demonstram que a transição dos estados ocorre do índice da linha para o da coluna, ou seja, a probabilidade corresponde a transição do estado para o estado. Taha (2007) comenta também que o somatório de cada linha da matriz deve ser igual a 1, além de que uma matriz é classificada como ergódica quando é possível ir de qualquer estado a outro qualquer em passos de tempo.

Hillier e Lierberman (2005) então apresentam a probabilidade de estado estável para uma cadeia ergódica de Markov na Equação 4 e sua propriedade na Equação 5.

$$\pi_j = \sum_{i=0}^M \pi_i p_{ij}, \text{ para } j = 0, 1, \dots, M \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^M \pi_j = 1 \quad (5)$$

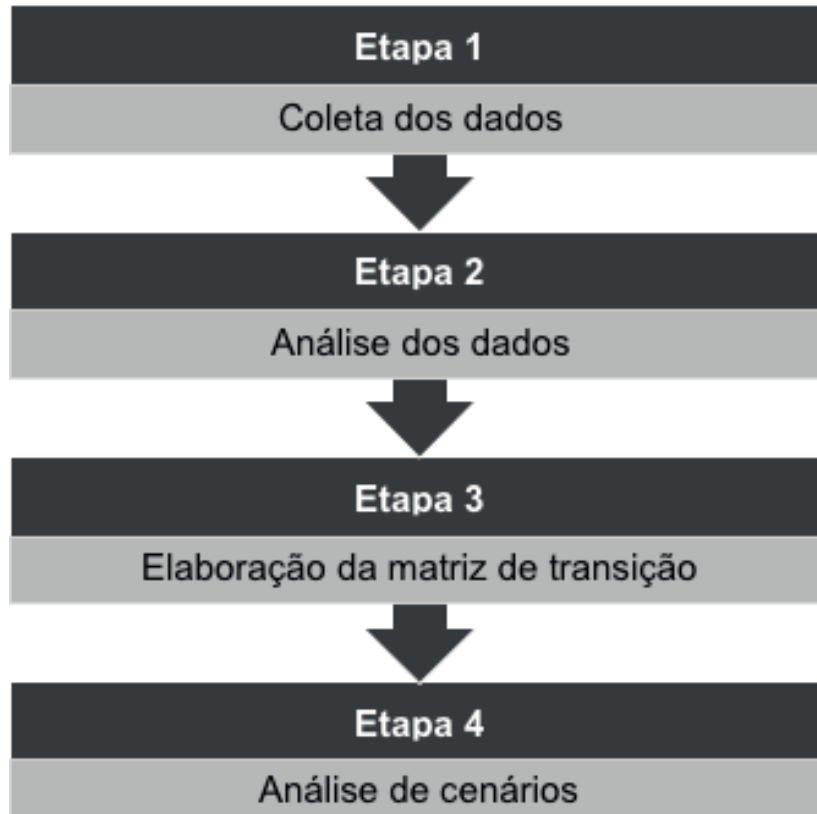
Os autores explicam que, depois de um grande número de transições, a probabilidade de encontrar o processo em um determinado estado, por exemplo, tende ao valor π_j , independente da distribuição de probabilidade do estado inicial. Ainda é possível analisar o tempo de recorrência esperado, representado por μ_{ii} , que é o número esperado de transições até que o processo retorne ao estado inicial, apresentado na Equação 6.

$$\mu_{ii} = \frac{1}{\pi_i}, \text{ para } i = 0, 1, \dots, M \quad (6)$$

3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA E RESULTADOS

Com o intuito de atingir o objetivo proposto para este estudo, a metodologia elaborada foi dividida em quatro etapas, conforme ilustradas na Figura 1.

Figura 1 – Metodologia



Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

3.1 COLETA DOS DADOS

Para este estudo, foram coletados os valores de preço da soja brasileira em grão a granel tipo exportação, de acordo com o endereço eletrônico do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea), que faz parte do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da Universidade de São Paulo (USP). O intervalo de tempo dos dados é dia-a-dia comercial em que há negociação de derivativos na Bolsa de Valores de São Paulo

(BM&FBovespa), e são referentes a 2 de janeiro de 2017 a 31 de agosto de 2017. A unidade de medida é real por saca de 60kg e os valores são da soja comercializada no porto de Paranaguá, em Paraná, e referentes a cotação do contrato futuro de soja na BM&FBovespa. A Figura 2 apresenta estes dados.

Figura 2 – Preço diário da soja



Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

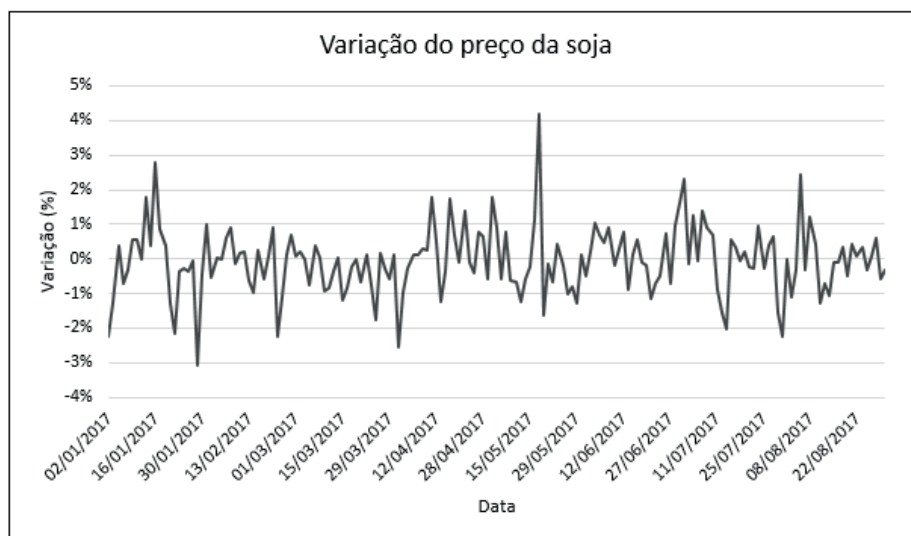
3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Com estes dados disponíveis, foi então calculado a sua variação percentual entre os dias, com a fórmula apresentada na Equação 7.

$$\text{variação \%} = \frac{P_{t+1} - P_t}{P_t} 100 \quad (7)$$

Onde, P_t é o preço no tempo t e P_{t+1} é o preço no tempo $t+1$. Exemplificando, conforme a Figura 2, o preço da soja no dia 2 de janeiro de 2017 foi de R\$77,22 e no dia 3 do mesmo mês, foi R\$75,48, então a variação é de -2,25%, com o sinal de negativo representando uma queda no preço. Os demais valores são apresentados no gráfico da Figura 3.

Figura 3 – Variação do preço



Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

3.3 ELABORAÇÃO DA MATRIZ DE TRANSIÇÃO

Para poder calcular a matriz de transição, foi necessário definir intervalos para a variação percentual, conforme exibido na Tabela 1.

Tabela 1 – Intervalo das variações

Intervalo das variações
< -2,01%
de -2 a -1,01%
de -1 a -0,01%
de 0 a 0,99%
de 1 a 1,99%
> 2%

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Então, foi possível analisar a frequência e o percentual acumulativo que ocorriam as variações em cada um destes intervalos, apresentados na Figura 4.

Observando o gráfico, percebe-se que a maior frequência de variação ocorreu no intervalo de 0 a 0,99%. Assim, utilizando estas informações, foi possível calcular a matriz com as probabilidades de transição de Markov, analisando quantas vezes a variação do preço saiu do estado para o estado. A matriz é apresentada na Figura 5.

Figura 4 – Histograma dos intervalos da variação do preço da soja

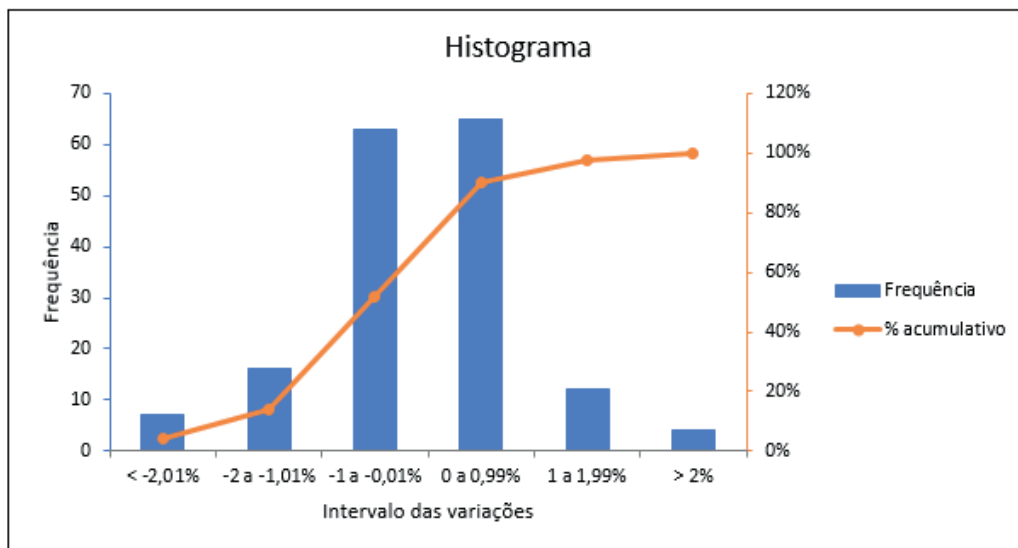


Figura 5 –Matriz de transição

de \ para	< -2,01%	-2 a -1,01%	-1 a -0,01%	0 a 0,99%	1 a 1,99%	> 2%
< -2,01%	0,000	0,286	0,429	0,286	0,000	0,000
-2 a -1,01%	0,188	0,000	0,563	0,250	0,000	0,000
-1 a -0,01%	0,016	0,113	0,306	0,419	0,129	0,016
0 a 0,99%	0,031	0,092	0,415	0,385	0,062	0,015
1 a 1,99%	0,000	0,000	0,250	0,583	0,000	0,167
> 2%	0,000	0,250	0,500	0,250	0,000	0,000

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

3.4 ANÁLISE DE CENÁRIOS

A análise de cenários necessita do cálculo do estado estável, conforme explicado na

Equação 4. Então, as Equações 8 e 9 apresentam o estado estável para a variação do preço da soja.

$$(\pi_0 \pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4 \pi_5) = (\pi_0 \pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4 \pi_5) \begin{bmatrix} 0 & 0,286 & 0,429 & 0,286 & 0 & 0 \\ 0,188 & 0 & 0,563 & 0,25 & 0 & 0 \\ 0,016 & 0,113 & 0,306 & 0,419 & 0,129 & 0,016 \\ 0,031 & 0,092 & 0,415 & 0,385 & 0,062 & 0,015 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0,583 & 0 & 0,167 \\ 0 & 0,25 & 0,5 & 0,25 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$(\pi_0 \pi_1 \pi_2 \pi_3 \pi_4 \pi_5 \pi_6) = 1 \quad (9)$$

Resultando no seguinte sistema de equações, exibido pelas Equações 10 a 16.

$$\pi_0 = 0\pi_0 + 0,188\pi_1 + 0,016\pi_2 + 0,031\pi_3 + 0\pi_4 + 0\pi_5 \quad (10)$$

$$\pi_1 = 0,286\pi_0 + 0\pi_1 + 0,113\pi_2 + 0,092\pi_3 + 0\pi_4 + 0,25\pi_5 \quad (11)$$

$$\pi_2 = 0,429\pi_0 + 0,563\pi_1 + 0,306\pi_2 + 0,415\pi_3 + 0,25\pi_4 + 0,5\pi_5 \quad (12)$$

$$\pi_3 = 0,286\pi_0 + 0,25\pi_1 + 0,419\pi_2 + 0,385\pi_3 + 0,583\pi_4 + 0,25\pi_5 \quad (13)$$

$$\pi_4 = 0\pi_0 + 0\pi_1 + 0,129\pi_2 + 0,062\pi_3 + 0\pi_4 + 0\pi_5 \quad (14)$$

$$\pi_5 = 0\pi_0 + 0\pi_1 + 0,016\pi_2 + 0,015\pi_3 + 0,167\pi_4 + 0\pi_5 \quad (15)$$

$$1 = \pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \pi_4 + \pi_5 \quad (16)$$

Por haver sete equações e seis incógnitas, é necessário desconsiderar uma das equações. Assim, resolvendo este sistema de equações, obtêm-se os seguintes resultados:

Estes valores representam a possibilidade de se encontrar nos determinados estados, conforme Tabela 2.

$$\begin{array}{r} \pi_0=0,036 \\ \pi_2=0,378 \\ \pi_4=0,073 \end{array} \quad \begin{array}{r} \pi_1=0,095 \\ \pi_3=0,393 \\ \pi_5=0,024 \end{array}$$

Tabela 2 – Probabilidade dos estados

Intervalo	Probabilidade
< -2,01%	3,6%
de -2 a -1,01%	9,5%
de -1 a -0,01%	37,8%
de 0 a 0,99%	39,3%
de 1 a 1,99%	7,3%
> 2%	2,4%

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Com a Tabela 2, observa-se que a maior probabilidade é que o preço da soja varie de 0 a 0,99%, com uma probabilidade de 39,3%. Ainda, calculando com a Equação

6 previamente apresentada, é possível analisar o tempo de recorrência esperado para cada probabilidade de estado estável, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 – Tempo de recorrência esperado

Probabilidade de estado estável π_j	Tempo de recorrência esperado
π_0	27,8 dias
π_1	10,5 dias
π_2	2,6 dias
π_3	2,5 dias
π_4	13,7 dias
π_5	41,7 dias

Fonte: Elaborado pelos autores (2017)

Com a Tabela 3, observa-se que, quando se está analisando uma variação de 0 a 0,99%, por exemplo, o tempo de recorrência esperado para esta variação é de 2,5 dias, ou seja, é aguardado que em 2,5 dias ocorra novamente um valor que varie entre 0 a 0,99%.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo estudou Cadeias de Markov com uma aplicação para analisar a variação do preço da soja, um grão tão importante para a economia do país e para a alimentação das pessoas. As MC, sendo um modelo

estatístico de processos que pode ser utilizado em aplicações reais, fazem parte dos estudos de Pesquisa Operacional, que por sua vez, compõe a grade curricular da Engenharia de Produção.

Os cálculos deste trabalho foram realizados no *software* Excel, devido aos ganhos quanto rapidez e precisão nos resultados. Então, utilizando-se dados referentes a 2 de janeiro de 2017 a 31 de agosto de 2017, observou-se que a maior probabilidade de variação diária do preço da soja é de 0 a 0,99%, e que esta variação provavelmente ocorrerá novamente em 2,5 dias.

Informações como esta podem ser vantajosas no agronegócio da soja, pois a previsão da variação dos preços permite ajudar na tomada de decisão quanto a compra e/ou venda do *commodity*. Ainda, este conceito estudado pode ser utilizado como ferramenta de auxílio no processo de planejamento das organizações, sejam do setor público ou iniciativa privada. Assim, este trabalho almejou instruir Cadeias de Markov e suas possíveis aplicações práticas, podendo fornecer informações para as organizações e, conseqüentemente, podem ter um melhor direcionamento de seus esforços e investimentos quanto a comercialização da soja, pelo monitoramento de seus preços.

Este artigo atingiu seus objetivos satisfatoriamente, por proporcionar resultados que podem ser estudados de forma analítica. Como trabalhos futuros, sugere-se o uso de Cadeias de Markov para se analisar outras *commodities*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. ANDERSEN, Anders Reenberg; NIELSEN, Bo Friis; REINHARDT, Line Blander. **Optimization of hospital ward resources with patient relocation using Markov chain modeling**. European Journal of Operational Research, v. 260, n. 3, p. 1152-1163, 2017.
- [2]. BRASIL, Ministério da Agricultura. **Site institucional**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>.
- [3]. Cepea - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Site institucional**. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/br>>.
- [4]. HILLIER, Frederick; LIEBERMAN, Gerald. **Introduction to Operations Research**. 8. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 2005.
- [5]. JANTSCH, Leonardo. **Análise do risco de crédito no uso do cartão de crédito**. 2017, 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2017.
- [6]. SILTALA, Lauri; GRANVIK, Mikael. **Asteroid mass estimation using Markov-chain Monte Carlo**. Icarus, v. 297, p. 149-159, 2017.
- [7]. STAUDT, Francielly Hedler; COELHO, Antonio Sérgio; GONÇALVES, Mirian Buss. **Determinação da capacidade real necessária de um processo produtivo utilizando cadeia de Markov**. Production, v. 21, n. 4, p. 634-644, 2011.
- [8]. TAHA, Hamdy A. **Operations research: an introduction**. 8. ed. Nova Iorque: Pearson, 2007.



ANÁLISE DE UM RESTAURANTE SELF-SERVICE VIA SIMULAÇÃO

**Sara Aparecida da Silva Vaz
Wagner de Barros Neto
Diene Maria Oliveira
Nelson Dias da Costa Junior
Stella Jacyszyn Bachega**

RESUMO

O restaurante self-service é um dos negócios mais característicos do mundo moderno, oferecendo uma solução prática para clientes que têm um dia-a-dia dinâmico e corrido. A presente pesquisa tem o objetivo de analisar um restaurante self-service por meio do uso de simulação de eventos discretos. Assim, pôde-se verificar se a quantidade de funcionários é ideal em relação ao volume de clientes que o restaurante atende, se os tempos de filas e de permanência dos clientes (rotatividade) podem ser melhorados, bem como analisar a taxa de utilização dos recursos do restaurante, verificando se há sobrecarga ou subutilização de algum funcionário. Para tanto, utilizou-se a abordagem de pesquisa quantitativa e o procedimento de pesquisa experimental, devido ao uso de simulação. A simulação foi realizada no software ProModel® 2010 versão Student. Após a simulação do cenário atual, verificou-se que a área restritiva do restaurante é a de churrasco. Então, foi proposto que se alocasse mais um funcionário neste local, no período de maior demanda. A simulação do cenário futuro resultou em um menor tempo dos clientes no sistema, uma melhor utilização tanto de recursos como de seus locais. Tal proposta traz uma maior eficiência ao sistema, propiciando melhor utilização de seu espaço físico e dos recursos humanos, podendo oferecer um melhor serviço e atendimento aos clientes que almoçam no restaurante, além de configurá-lo para aumentos de demanda.

Palavras-chave

Simulação, Restaurante, ProModel.

1. INTRODUÇÃO

O ritmo da vida moderna causou mudanças na rotina e nos hábitos alimentares das pessoas, provocadas por diferentes fatores como o aumento da jornada de trabalho e da população em centros urbanos, além das dificuldades em locomoção. Isso torna cada vez maior o número de refeições feitas fora do domicílio, gerando um aumento de restaurantes, principalmente o do tipo *self-service* (ALVES; UENO, 2010). O restaurante *self-service* é um dos negócios mais característicos do mundo moderno, oferecendo uma solução prática para clientes que tem um dia-a-dia dinâmico e corrido. Este tipo de restaurante dispensa grande parte do atendimento prestado por garçons e o seu sistema de pesagem por quilo permite ao cliente escolher os alimentos para sua refeição na quantidade desejada.

Apesar de suas vantagens, na maioria das vezes esses restaurantes tendem a apresentar filas, uma vez que a chegada dos clientes ocorre em grupos em um curto espaço de tempo e as técnicas tradicionais da teoria das filas são difíceis de serem aplicadas neste contexto; para isso requer-se o uso de simulação para se obter medidas de desempenho apropriadas (SANTOS; ALVES, 2014). As filas se formam em decorrência do aumento dos consumidores e da incapacidade do sistema em atender a essa demanda.

Com isso, diante da complexidade em relação as mudanças rápidas, bem como a necessidade de melhorias na produção e na prestação de serviços capazes de atender

demandas crescentes, as ferramentas de simulação têm ajudado as empresas a enfrentar os vários desafios enfrentados em seus processos (HARREL; GLOSH; BOWDEN, 2012). Assim, através de técnicas de simulação, busca-se encontrar um ponto de equilíbrio que satisfaça os clientes e seja viável economicamente para o provedor do serviço (ARENALES et al., 2006).

As aplicações de simulação têm crescido em todas as áreas, auxiliando os gestores na tomada de decisão em problemas complexos, além de possibilitar um maior conhecimento dos processos nas organizações (SAKURADA; MIYAKE, 2009), com aplicações em áreas industriais, comunicação, bancos, supermercados e hospitais (PRADO, 2010), integrando conhecimentos de diversas áreas da Engenharia de Produção. Apesar do grande crescimento e aplicação de simulação em operações de serviços, ainda são poucos os estudos na área, quando comparado a trabalhos publicados em manufatura e logística (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

Diante do cenário de mudanças de hábitos das pessoas, aumento da exigência do cliente e da complexidade operacional no setor de serviços, além de uma relativa carência por pesquisas envolvendo simulação na área, este estudo tem por objetivo analisar um restaurante *self-service* por meio do uso de simulação de eventos discretos. Para tanto, são analisados sua formação de filas, tempo médio de espera dos clientes, a relação com os funcionários alocados a cada posto e seu efeito sobre o tempo total dos clientes no sistema.

Como forma de exemplificar e enriquecer a literatura, também são apresentadas neste trabalho algumas aplicações de diversos autores que mostram a importância da interdisciplinaridade da Simulação de Sistemas com outras áreas da Engenharia de Produção, visto que as organizações devem trabalhar com seus departamentos de maneira integrada, aliando conhecimento e técnicas de diversas áreas para alcançar seus objetivos estratégicos.

Para cumprir o objetivo proposto, este trabalho está organizado da seguinte forma: a seção 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre a simulação de sistemas, além de estudos e aplicações interdisciplinares de Simulação com outras áreas de Engenharia de Produção. A seção 3 aborda o método de pesquisa, apresentando a metodologia utilizada para a obtenção dos dados e as dez etapas necessárias para um estudo de simulação. A seção 4 traz uma descrição do modelo simulado, além da análise da simulação, mostrando o desenvolvimento do cenário e a obtenção de resultados por meio do *software* ProModel®, avaliando seus relatórios de locais, entidades e recursos. E por fim, a seção 5 traz a conclusão da pesquisa aplicada em um restaurante *self-service*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

São aqui tratados aspectos teóricos sobre simulação de sistemas e suas aplicações.

2.1 SIMULAÇÃO DE SISTEMAS

A simulação de sistemas faz parte da grande área do conhecimento da Engenharia de Produção, a Pesquisa Operacional, e é frequentemente utilizada no desenvolvimento de modelos de processos ou de sistemas reais, de forma que, de acordo com Bateman et al. (2013), oferece a possibilidade de criar e simular fenômenos desejados, permitindo conferir quão representativas seriam as mudanças. Assim, um modelo de simulação construído facilita a compreensão de uma organização e de seus processos, ajudando em estratégias e tomadas de decisão mais assertivas.

Segundo Prado (2010), simulação é uma técnica para a resolução de problemas através da análise de um modelo computacional que representa um sistema real. Harrel, Gosh e Bowden (2012) definem simulação como a imitação da dinâmica de um sistema utilizando um modelo computacional a fim de avaliar e melhorar o desempenho de um sistema. Freitas Filho (2008) complementa e afirma que a simulação é um método que, através de um modelo computacional de um sistema real, podem ser realizados testes com objetivo de compreender o comportamento de determinado sistema, analisando assim variadas estratégias operacionais.

Segundo Freitas Filho (2008), para o desenvolvimento de um modelo de simulação é preciso que sejam seguidas as seguintes etapas: formulação e análise do problema, planejamento do projeto, formulação do

modelo conceitual, coleta de macro informações e dados, tradução do modelo, verificação e validação, projeto experimental final, experimentação, comparação de sistemas e identificação das melhores soluções, documentação e apresentação dos resultados e implementação.

De acordo com Chwif e Medina (2015), o modelo conceitual é de fundamental importância, uma vez que um modelo conceitual abrangente certamente levará a um modelo computacional completo que, conseqüentemente, levará a um modelo operacional válido.

2.2 APLICAÇÕES DE SIMULAÇÃO

A pesquisa de Curin et al. (2005) foi feita no restaurante Tim Hortons dentro do *campus* da Universidade de Michigan, utilizando a técnica de simulação com o objetivo de melhorar a eficiência da empresa. Empregando os passos padrões para um estudo de simulação, vários cenários foram modelados e avaliados baseando-se no tempo que o cliente ficava no sistema. Uma análise detalhada da simulação revelou que na configuração atual, a taxa de utilização das funcionárias do caixa era alta (88%) e, assim, vários cenários para reduzir a carga dessas funcionárias foram explorados. O estudo utilizou cenários envolvendo quatro e cinco funcionários. Verificou-se que nenhum dos cenários com quatro funcionários resultou em uma melhoria significativa em relação ao cenário atual. Para reduzir o tempo de espera dos clientes e, então, servir mais clientes por hora, os

autores recomendaram que a empresa tivesse cinco atendentes, com uma configuração de três caixas, uma pessoa para as sopas e uma para os sanduíches reduziria o tempo do cliente no sistema em mais de dois minutos. Outra alternativa proposta por Curin et al. (2005) seria de transferir toda a preparação de comida para um local secundário, adicionando um funcionário multitarefa, o que poderia reduzir o tempo total do cliente no sistema pela metade.

Oliveira e Favaretto (2013) voltaram-se a análise e ao diagnóstico das filas do restaurante acadêmico da Universidade Federal de Itajubá, que, devido ao constante aumento da demanda conseqüente da expansão da universidade, apresenta um problema real de capacidade. O objetivo almejado se dá pela elaboração de um modelo de simulação para eventos discretos do sistema de serviço, a fim analisar a capacidade real de atendimento, e então, encontrar as filas de espera mais relevantes ao sistema. Os autores utilizaram a técnica IDEF-SIM para a elaboração do modelo conceitual e o software de simulação *ProModel*[®] para o desenvolvimento da modelagem computacional. Em 77% do tempo que se encontra no sistema, o cliente da lanchonete aguarda em fila, sendo que, os clientes com cartão e com comanda, esperam cerca de 16% e 33% do tempo total, respectivamente. A modalidade de cartão pré-pago mostrou-se mais eficiente em relação à modalidade de comanda ao diminuir o tempo de espera do cliente. Os autores enfatizam a possibilidade da criação de cenários e realização de modificações no modelo simulado sem a

necessidade de realizar “experiências” no sistema real.

O estudo de Carrijo Neto et al. (2014) teve como objetivo propor melhorias no sistema de atendimento na Central de Atendimento (CA) em uma prefeitura no interior do estado de São Paulo. Ao observar que a CA apresentava excesso no tempo de atendimento aos clientes, iniciou-se a proposta de simular as etapas do processo de atendimento e a partir da simulação identificar um cenário melhorado para reduzir o tempo de atendimento. O software utilizado para simular o processo de atendimento foi o ProModel®, sendo que o StatFit® gerou a distribuição de probabilidade que mais se aproximou dos tempos de atendimento. Sabendo que o período de atendimento é de 9 horas por dia e que os clientes chegam com uma frequência de 2 minutos, obtém-se então 170 ocorrências de chegadas por dia. Ainda, de acordo com os autores supracitados, executou-se a simulação e como resultado obteve-se 164 clientes atendidos em 9 horas simuladas, apresentando, assim, um resultado inferior a quantidade de atendimentos médios requeridos de 170 pessoas que entraram no sistema durante todo o dia. Com isso, foi possível notar que o horário de atendimento da CA não é suficiente para atender a demanda média do dia de 170 pessoas. Para tanto, analisou-se também que o tempo médio de atendimento é de 25 minutos e o tempo médio de espera por atendimento de 1 hora e 27 minutos, sendo assim, identificaram que os oito

guichês para atendimento apresentaram 99% do tempo ocupado. Desta forma, como proposta de melhoria, sugeriu-se que fosse acrescentado um novo guichê para atender toda a demanda prevista. Ao simular novamente, agora com nove guichês, obteve-se então um tempo médio total de atendimento das 170 pessoas de 8 horas e 22 minutos. Sendo assim, concluiu-se, que com a inclusão do novo guichê e um novo atendente pode-se atender a demanda recorrente, além de diminuir o longo tempo de espera por atendimento.

Leal (2003) apresentou uma proposta de diagnóstico de atendimento a clientes em uma agência bancária na cidade de Itajubá, de forma a integrar as ferramentas mapeamento de processo e simulação computacional. Seu objetivo envolveu desde o mapeamento do processo de atendimento, passando por determinar parâmetros de fila, proposição de melhorias, até a execução da simulação em si, utilizando o software *ProModel*®.

2.3.METODOLOGIA DE PESQUISA

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se a abordagem de pesquisa quantitativa e o procedimento de pesquisa experimental. Segundo Dalfovo, Lana e Silveira (2008), a pesquisa quantitativa caracteriza-se pelo emprego da quantificação, tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas por meio de técnicas estatísticas, desde as mais simples até as mais complexas. A abordagem de

pesquisa quantitativa foi escolhida devido a característica dos dados utilizados e dos resultados gerados nesta pesquisa.

De acordo com Gil (2002), o procedimento experimental consiste na determinação de um objeto de estudo, na seleção das variáveis capazes de influenciá-lo e na definição das normas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. A análise dos resultados e de observações propicia a descoberta das possíveis relações de causa e efeito, levando a conclusões relevantes sobre o problema inicial. O procedimento de pesquisa experimental foi utilizado, por meio do uso de simulação computacional, e por permitir a manipulação das variáveis dependentes (dados de saída) do sistema simulado em função das variáveis independentes (dados de entrada) do sistema real. Os dados foram obtidos por meio de observações e cronometragens dos tempos em cada processo do sistema.

Para a modelagem conceitual do sistema analisado, foi utilizada a técnica IDEF-SIM, como apresentada no estudo de Leal, Almeida e Montevechi (2008). Já para a modelagem e simulação do modelo computacional foi utilizado o software *ProModel*® 2010 (versão *Student*).

Para a condução deste estudo de simulação, foram seguidas as etapas propostas por Law e Kelton (2000): i) Formulação do problema e planejamento do estudo; ii) Coleta de dados e definição do modelo; iii) Validação do modelo; iv) Construção do programa computacional e verificação;

v) Realização de execuções piloto; vi) Validação do modelo programado; vii) Projeto dos experimentos; viii) Realização das execuções de simulação; ix) Análise de resultados; e x) Documentação, apresentação e implementação dos resultados.

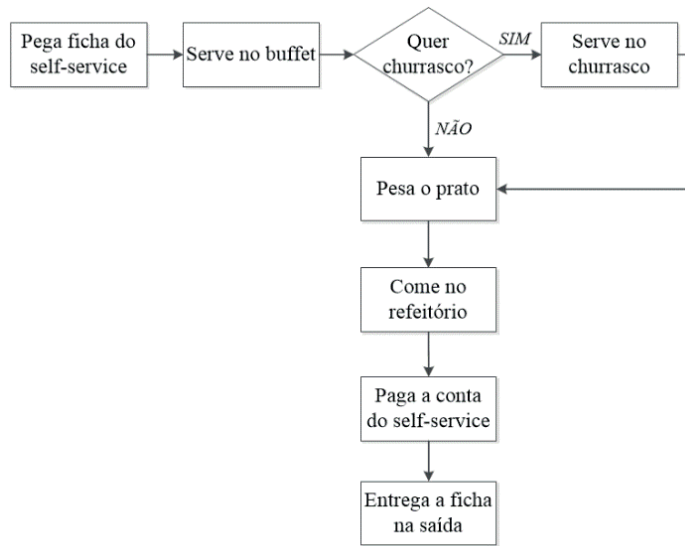
A modelagem e a simulação foram conduzidas considerando a classificação do sistema como terminal (FREITAS FILHO, 2008). O nível de confiança adotado foi de 95%. A interpretação do valor do semi-intervalo de confiança (*half-width*) foi dada como a confiança de que em 95% das replicações tem-se uma média que estará no intervalo da média obtida \pm o semi-intervalo.

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 DESCRIÇÃO DO SISTEMA SIMULADO

Para o desenvolvimento desse trabalho teve-se como base o fluxo de clientes em um restaurante do tipo *self-service* atuante no sudeste goiano. O restaurante funciona todos os dias da semana, entre 11:00h e 14:00h. O fluxo dos clientes dentro do restaurante pode ser visto na Figura 1.

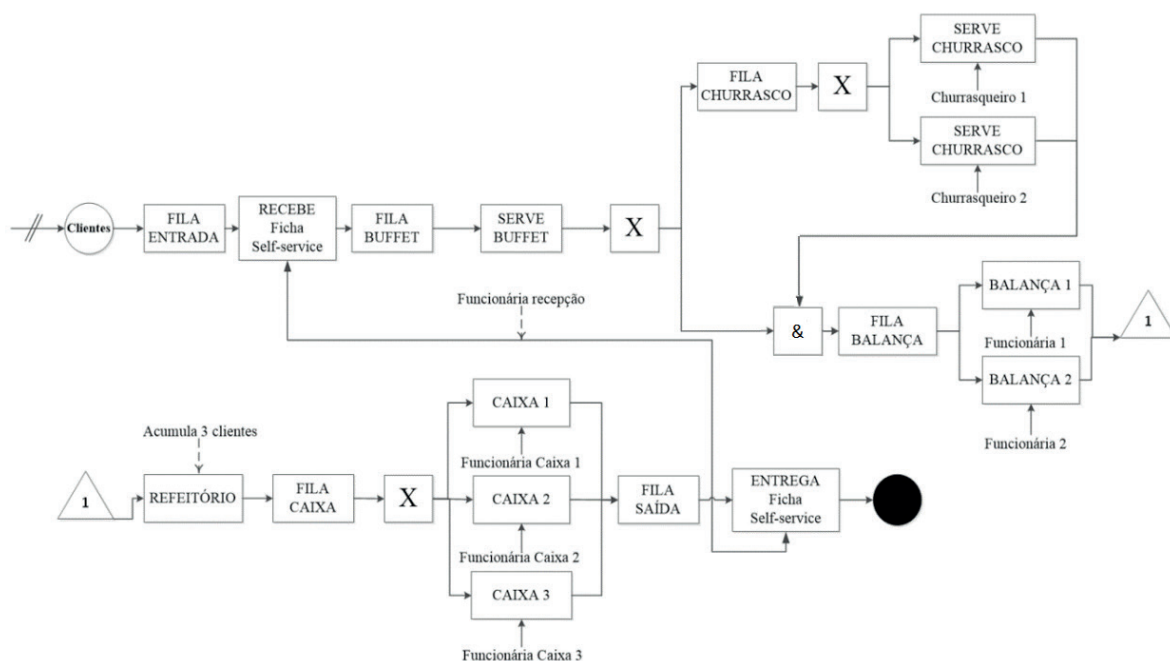
Figura 1 - Fluxograma do cliente dentro do restaurante



Para o projeto de simulação, foram considerados na modelagem os seguintes locais do restaurante: recepção (entrada/saída), fila do buffet, buffet, fila do churrasco, churrasco, fila da balança, balança, refeitório, fila do caixa e caixa. Além disso, os recursos considerados para o presente estudo foram: funcionária da recepção, churrasqueiros (1 e 2), funcionárias da balança (1 e

2) e funcionárias do caixa (1, 2 e 3). A modelagem conceitual utilizando a técnica IDEF-SIM (Figura 2) apresenta toda a jornada do cliente dentro do restaurante. Após a construção do modelo conceitual, este foi analisado e discutido com funcionários e clientes do restaurante, que concordaram com a representação do fluxo desenhado, validando assim o modelo.

Figura 2 - Modelagem conceitual do cliente no restaurante



Os processos envolvendo o cliente dentro do sistema restaurante são os seguintes: os clientes chegam ao restaurante e, na entrada, recebem a ficha do *self-service* da funcionária da recepção. Após isso, eles seguem para o *buffet*, podendo, em seguida, decidir se desejam churrasco ou se vão direto para a balança. Aqueles que permanecem na fila do churrasco aguardam em fila única para serem atendidos por um dos churrasqueiros. Para a balança, tanto os clientes que vieram direto do buffet quanto aqueles que passaram pelo churrasco também aguardam em fila única para serem atendidos pelas funcionárias das balanças. Após a pesagem de seus pratos, os clientes se sentam em alguma das mesas disponíveis no restaurante. Ao final do seu almoço, segue-se para o caixa, em fila única para serem atendidos pela funcionária do caixa que estiver livre. Finalizando no caixa, recebem um comprovante de pagamento e o entregam para a funcionária da recepção, que os libera para saída do sistema.

Os clientes chegam ao restaurante com ritmo de chegadas que segue a distribuição de probabilidade Geométrica (0.275), encontrada no *software Stat::Fit®*. Para a distribuição de tempos entre chegadas utilizou-se a distribuição exponencial que, conforme afirmam Martins e Domingues (2011), apresenta uma estreita relação com a distribuição de Poisson, já que pode descrever o tempo entre dois sucessos de uma variável de Poisson. Os autores ainda citam que o tempo entre chegadas de clientes se comporta conforme a distribuição exponencial. Harrel, Gosh e

Bowden (2012) complementam e dizem que esta distribuição é frequentemente utilizada para representar tempos entre chegadas entre ocorrências aleatórias. Assim, foi definido o parâmetro desta distribuição (17,3 segundos).

Para o processo referente ao tempo de alimentação do cliente no refeitório foi utilizada a distribuição Triangular (17.5, 25, 45.4), pois não se conhecia a forma exata da distribuição, entretanto, eram sabidas as estimativas do menor valor, do valor mais provável de ocorrer e do maior valor (CHWIF; MEDINA, 2015). Além disso, para os processos de atendimento na balança e no caixa a distribuição utilizada foi a normal que, segundo Walpole et al. (2009), descreve vários processos, dentre eles os que ocorrem na indústria, nas pesquisas e na natureza.

3.2. CONSTRUÇÃO DO PROGRAMA COMPUTACIONAL E VERIFICAÇÃO

Para o modelo estudado há uma única entidade no sistema, o cliente. Como mostra o modelo conceitual do IDEF-SIM (Figura 2), após passar pelo *buffet* o cliente pode optar por ir para o churrasco ou para a balança. A lógica da simulação é que 85% dos clientes vão para o churrasco, enquanto que os outros 15% seguem diretamente para a balança. Tais valores foram obtidos por meio de ocorrências observadas. Dentre as lógicas de operação e movimentação utilizadas na elaboração do modelo no *ProModel®* estão: GRAPHIC,

ACCUM, WAIT, USE, ROUTE, MOVE FOR.

O tempo de simulação considerado foi de duas horas, que retrata o intervalo das 11:30h às 13:30h em que o restaurante tem maior quantidade de atendimentos. Verificou-se que 50 replicações foram satisfatórias para o cálculo dos valores médios, considerando um intervalo de confiança de 95% e half-width de até 10% da média amostral (para maior precisão dos resultados obtidos).

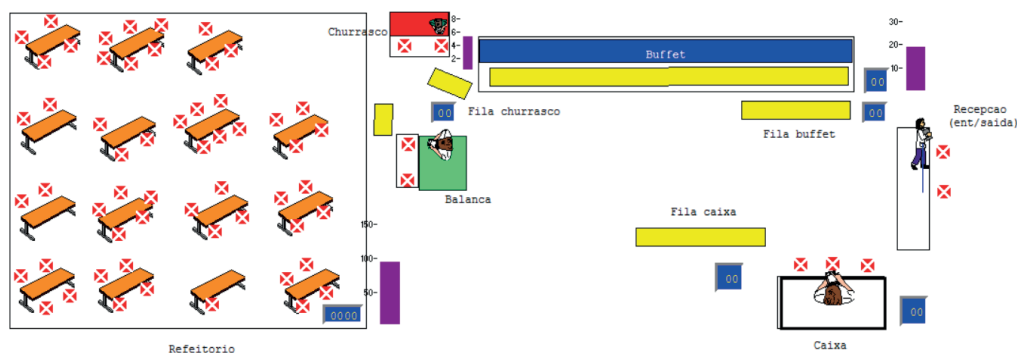
Durante as visitas para coleta de dados dos processos do restaurante *self-service*, foram observados que, durante as duas horas de funcionamento, 327 pessoas entram no sistema neste intervalo de tempo. Para o rastreamento da entidade, foram simulados também duas horas de funcionamento do restaurante, podendo ser comparado os dados observados com os resultados da simulação, verificando da

mesma forma o total de clientes que entram no sistema. Comparando-se o observado in loco com os resultados da simulação, verificou-se que o modelo computacional está coerente com o modelo real.

O estudo foi delimitado na análise do dia e período em que o restaurante recebe a maior quantidade de clientes, aos domingos, não considerando dias e horários em que a demanda atendida é reduzida. Para tanto, foi simulada a operação do restaurante, sem interrupções, avaliando o fluxo de clientes, seus tempos no sistema e a utilização dos funcionários para este período. Analisou-se o efeito de realocações de funcionários, verificando seu impacto sobre o sistema, tanto em relação às entidades quanto aos recursos e sua utilização.

A Figura 3 apresenta o layout do modelo desenvolvido, com seus locais e recursos representados no *ProModel*®.

Figura 3 - Layout do modelo simulado no ProModel®



3.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nesta etapa, realizou-se a análise dos relatórios gerados pelo Output Viewer®, ferramenta integrada ao software ProModel®. Foram

analisados relatórios relacionados à entidade, aos locais e aos recursos. A Tabela 1 apresenta o total de saídas e o tempo médio da entidade no sistema, em seus valores médio, mínimo máximo, desvio padrão e *half-width*. Verificou-se que o

tempo médio dos clientes no restaurante foi de 52,87 minutos e que o total de clientes atendidos foi em média de 155,66 pessoas.

Observa-se que em alguma das replicações, encontrou-se o valor máximo de clientes atendidos de 171 pessoas.

Tabela 1 – Total de saídas e tempo médio do cliente no sistema

Medida de desempenho	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Half-Width
Total de saídas	155,66	143,00	171,00	6,19	1,76
Tempo médio no sistema (min)	52,87	48,06	57,16	2,12	0,60

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados sobre a porcentagem de utilização dos recursos podem ser observados na Tabela 2. Nota-se que os churrasqueiros apresentaram alta taxa de utilização média, de aproximadamente 93%, enquanto os funcionários da balança apre-

sentaram, em média, 19,95% de utilização. A recepcionista, que entrega e recebe as comandas, também apresentou baixa utilização média (20,39%). Já os funcionários que trabalham nos caixas tiveram a utilização média de 67,67%.

Tabela 2 – Utilização dos recursos (%)

Recurso/ Utilização (%)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Half-Width
Churrasqueiros	93,18	88,78	94,04	0,92	0,265
Funcionários balança	19,95	18,26	22,42	0,94	0,270
Funcionários caixa	67,67	62,92	71,80	1,64	0,470
Recepcionista	20,39	19,06	22,06	0,66	0,190

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 3 expõe a porcentagem de utilização dos locais representados no modelo. Os locais com maior utilização média foram Churrasqueira, Fila churrasco e *Buffet*, respectivamente com 93,71%, 91,11% e 84,32%. Salienta-se que a Fila churrasco apresentou o maior valor máximo, (95%) em algum momento das replicações. O

Buffet apresentou o maior desvio padrão, comparado com os outros locais. Os locais Fila balança, Fila caixa e Fila buffet não foram aqui discutidos, uma vez que apresentaram baixíssima utilização (inferior a 1%), por terem sido modelados com capacidade infinita.

Tabela 3 – Utilização dos locais (%)

Local/ Utilização (%)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Half-Width
Recepção entrada	13,71	12,71	14,67	0,50	0,145
<i>Buffet</i>	84,32	70,37	91,95	5,32	1,510
Fila churrasco	91,11	76,48	95,00	3,30	0,940

Local/ Utilização (%)	Média	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Half-Width
Churrasqueira	93,71	91,06	94,93	0,75	0,215
Balança	19,95	18,26	22,42	0,94	0,270
Refeitório	36,19	33,17	41,24	1,76	0,500
Caixas	68,33	63,44	72,51	1,68	0,475
Recepção saída	7,86	7,29	9,12	0,35	0,100

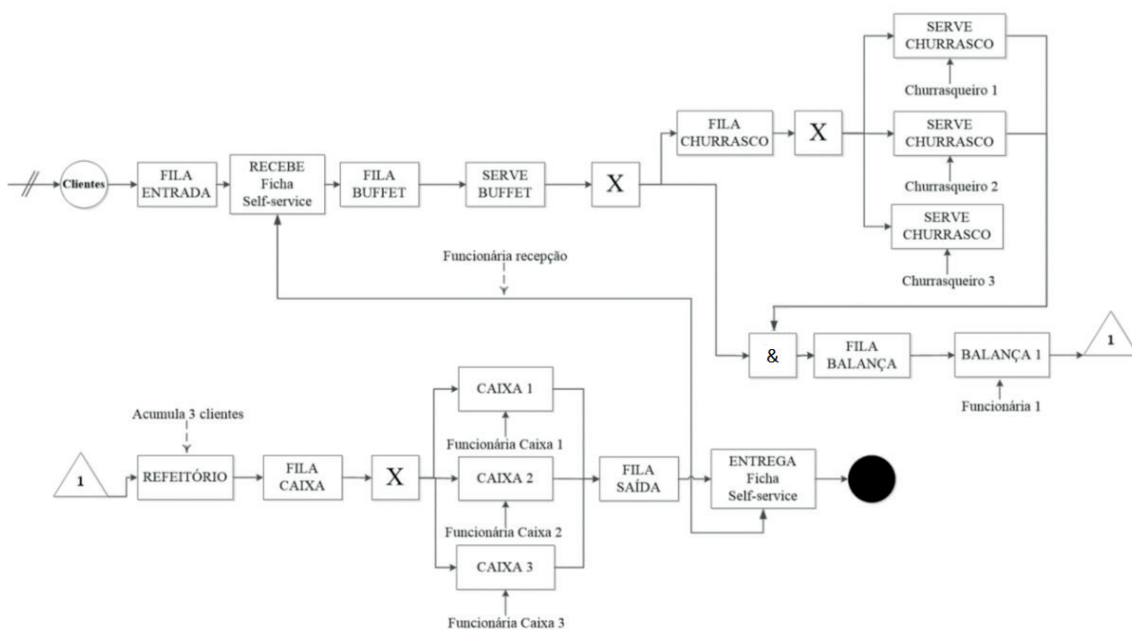
Fonte: Dados da pesquisa.

3.4. PROPOSTA DE MELHORIA

Com base nas altas porcentagens de utilização dos churrasqueiros e do *Buffet*, principalmente devido ao bloqueio do fluxo dos clientes no restaurante, propôs-se a realocação dos funcionários, transferindo

um funcionário da balança para a área da churrasqueira, o que poderia reduzir a taxa de utilização dos churrasqueiros e melhorar o fluxo de clientes no sistema. O novo modelo conceitual do IDEF-SIM é apresentado na Figura 4, contendo um terceiro churrasqueiro.

Figura 4 - Modelo conceitual do sistema melhorado



A partir disto, foi possível comparar o cenário proposto com o atual do restaurante, verificando-se melhorias no sistema. A Tabela 4 apresenta as diferenças nos tempos dos clientes dentro do restaurante, indicando uma interessante mudança entre os dois cenários. Ao se colocar um

terceiro churrasqueiro e tirar um funcionário da balança, o tempo médio do cliente no restaurante se reduz em cerca de 4%. Já o total médio de saídas aumenta aproximadamente 3%.

Tabela 4 - Diferenças nos tempos da entidade

Medida de desempenho	Cenário atual (min)	Cenário melhorado (min)	Diferença percentual (%)
Tempo médio no sistema	52,87	50,84	-3,84
Total de saídas	155,66	160,14	2,88

Fonte: Dados da pesquisa.

Em relação à utilização dos recursos, como mostrado na Tabela 5, o cenário com mais um churrasqueiro traz uma redução de quase 11% em sua taxa de utilização

média, enquanto aumenta em 167,37% a utilização dos funcionários da balança (de 19,95% para 53,34%).

Tabela 5 - Diferenças nas taxas de utilização dos recursos

Recurso/ Utilização (%)	Cenário atual (%)	Cenário melhorado (%)	Diferença percentual (%)
Churrasqueiros	93,34	83,19	-10,87
Funcionários balança	19,95	53,34	167,37
Funcionários caixa	67,67	69,44	2,62
Recepcionista	20,39	20,66	1,32

Fonte: Dados da pesquisa.

Comparando-se também as utilizações dos locais, como traz a Tabela 6, percebe-se uma grande melhoria no *Buffet* e na Fila do churrasco, com reduções de aproximadamente 61% e 46%, respectivamente. Isso demonstra que o sistema proposto

pode melhorar o fluxo dos clientes no sistema, com seus clientes passando pelos processos mais rapidamente e gerando menor tráfego e filas. Tal fato é comprovado pelo aumento da taxa de utilização do refeitório, subindo de 36,2% para 48,2%.

Tabela 6 - Diferenças nas taxas de utilização dos locais

Variável	Cenário atual (%)	Cenário melhorado (%)	Diferença percentual (%)
Recepção entrada	13,71	13,80	0,66
<i>Buffet</i>	84,32	33,29	-60,52
Fila churrasco	91,11	48,89	-46,34
Churrasco	93,71	86,75	-7,43
Balança	19,95	53,34	167,37
Refeitório	36,19	48,16	33,08
Caixa	68,33	70,11	2,61
Recepção saída	7,86	8,06	2,54

Fonte: Dados da pesquisa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou um restaurante *self-service* com uso de simulação de eventos discretos. Com o emprego do software *ProModel*[®], foi observado nas operações do restaurante uma disparidade entre as utilizações dos recursos. Os churrasqueiros, por exemplo, apresentaram uma utilização alta (cerca de 93%). Já os funcionários da balança operaram, em média, com utilização de 20%.

Com o entendimento de que a atividade restritiva do restaurante é o churrasco, foi proposto que se aumentasse em um funcionário no local. A simulação deste cenário melhorado resultou em um menor tempo dos clientes no sistema, uma melhor utilização tanto de recursos, assim como de seus locais, por exemplo, uma redução na taxa de utilização do *buffet* em 61%, atendendo quantidade similar de clientes no mesmo tempo. Tal proposta traz melhoria do fluxo dos clientes no sistema, além de utilizar melhor seu espaço físico e seus recursos humanos, podendo oferecer, assim, um melhor serviço e atendimento aos clientes que almoçam no restaurante.

Esta pesquisa contribui para a área acadêmica ao enriquecer a literatura com mais um estudo prático envolvendo simulação e o setor de operações e serviços que, segundo Sakurada e Miyake (2009), ainda é carente quando comparada a pesquisas envolvendo simulação aplicada à manufatura e logística. Para a área empresarial, este estudo serve de exemplo sobre

os benefícios da aplicação de simulação para melhor entendimento do sistema e operações de empresas, como o restaurante *self-service* analisado, possibilitando um maior conhecimento do seu negócio, que podem levar a uma melhor eficiência, maior satisfação do cliente e até mesmo ao aumento da lucratividade da empresa.

Como futuras pesquisas, sugere-se que sejam analisadas as operações e atividades internas do restaurante, ligadas à cozinha e à lavanderia, por exemplo, avaliando sua relação com o reabastecimento de comidas e carnes no buffet e churrasco, bem como de pratos e bandejas para os clientes. Tais atividades podem ter, também, grande influência no tempo total do cliente no sistema, bem como a verificação da utilização de todos os funcionários, abrindo espaço para mais melhorias.

REFERÊNCIAS

- [1]. ALVES, M. G.; UENO, M. **Restaurantes self-service: segurança e qualidade sanitária dos alimentos servidos.** *Revista de Nutrição*, Campinas, v.23, n.4, p.573-580, 2010. DOI 10.1590/S1415-52732010000400008.
- [2]. ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. H. **Pesquisa Operacional para cursos de engenharia.** Rio de Janeiro: Campos, 2006.
- [3]. BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. G.; GOGG, T. J.; HARRELL, C. R.; MOTT, J. R. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Simulação de Sistemas: Aprimorando Processos de**

Logística, Serviços e Manufatura. Organização: Belge Engenharia. Elsevier Brazil, 2013. ISBN: 978-85-352-7162-1

[4]. CARRIJO NETO, J.; BIANCHINI, V. K; MOTTA, G. A.; BIANCHINI, G. F. **Análise da fila de espera na central de atendimento de uma prefeitura no interior do estado de São Paulo: uma simulação.** In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... Curitiba: ABEPRO, 2014. Disponível em:<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2014_TN_STP_195_108_26277.pdf>. Acesso em: 08 Ago. 2016.

[5]. CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações.** 4ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. ISBN 978-85-352-7932-0

[6]. CURIN, S. A.; VOSKO, J. S.; CHAN, E. W.; TSIMHONI, O. **Reducing service time at a busy fast food restaurant on campus.** In: Proceedings... Winter Simulation Conference, 2005. p. 2628-2635.

[7]. DALFOVO, M. S.; LANA, R. A.; SILVEIRA, A. **Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico.** Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, v.2, n.4, p.01- 13, Sem II. 2008 ISSN 1980-7031

[8]. FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas.** 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

[9]. GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002. ISBN 85-224-3169-8

[10]. GODOY, A. S. **Introdução à**

pesquisa quantitativa e suas possibilidades. Revista de administração de empresas, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

[11]. HARREL, C.; GHOSH, B. K.; BOWDEN, R. O. **Simulation using ProModel.** 3rd edition. New York: McGraw Hill, 2012.

[12]. LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling and Analysis.** McGraw Hill, 3th edition, 2000.

[13]. LEAL, F. **Um diagnóstico do processo de atendimento a clientes em uma agência bancária através de mapeamento do processo e simulação computacional.** 2003. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, 2003.

[14]. LEAL, F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. **Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF.** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Anais... João Pessoa, PB, 2008.

[15]. MARTINS, G. A; DOMINGUES, O. **Estatística Geral de Aplicada.** 4. ed. rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 2011.

[16]. OLIVEIRA, N. M. C.; FAVARETTO, F. **Análise das filas de um sistema de serviços utilizando simulação a eventos discretos.** In: XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Anais... Salvador, BA, 2013.

[17]. PRADO, D. S. **Usando o Arena em Simulação.** 4. ed. Belo Horizonte: INDG, 2010.

[18]. SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. **Apliação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços.** *Gestão & Produção*, v. 16, n. 1, p. 25-43, 2009.

[19]. SANTOS, J. A. A.; ALVES, R. **Modelagem, simulação e otimização da dinâmica operacional de um pequeno restaurante: um estudo de caso.** *Holos*, v. 4, p. 375-386, 2014. DOI: 10.15628/holos.2014.1099.

[20]. WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probabilidade & Estatística para engenharia e ciências.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.



ALGORITMOS GENÉTICOS APLICADOS NA CINEMÁTICA INVERSA DE MANIPULADOR ROBÓTICO



Gabriella Ragazzi Costa
Márcio Mendonça
Bruno Costalonga Leite
Jônatas Favotto Dalmedico
Thalita Lopes Salvadori

RESUMO

O presente trabalho trata-se sobre robôs manipuladores, estes, por sua vez, têm como principal objetivo realizar o deslocamento, solda entre outras interações em uma linha de montagem ou produção. O tipo mais conhecido de um robô manipulador é um braço mecânico, que consiste em corpos rígidos interligados, com mera semelhança ao braço de um humano, porém nem sempre com a mesma capacidade de movimento. O problema tratado por este artigo refere-se à cinemática inversa de um braço robótico didático resolvida por algoritmos genéticos. O método obteve êxito no cumprimento da proposta, com erros relativamente baixos e, portanto, aceitáveis, visto que os resultados são ainda iniciais porém motivam futuras investigações.

Palavras-chave

Algoritmo genético, cinemática inversa, manipulador robótico.

1. INTRODUÇÃO

Robôs são considerados um desenvolvimento relativamente recente. Em 1921, Karl Capeck usou a palavra checa *robota* em um livro e peça chamado R.U.R. A palavra foi traduzida para o inglês como *robot*. Uma série de coisas devem ser consideradas ao determinar a resposta à pergunta "O que é de fato um robô?" (MILLER, 2017). Uma definição de robô muito aceita no mundo é do Instituto de Robótica da América (RIA) (SPONG, 1989), "Um robô é um manipulador multifuncional reprogramável projetado para mover materiais, peças, ferramentas, ou dispositivos especiais através de variáveis de movimento programadas para a realização de uma variedade de tarefas".

Os primeiros robôs manipuladores surgem no ano de 1954, o dispositivo de Transferência Programada de Artigos de George C. Devol e, o dispositivo robótico patenteado pelo britânico Cyrill Walter Fenward. A partir daí muitos projetos se desenvolveram com êxito, como exemplo, o braço manipulador da Universidade de Stanford e o robô PUMA. A Pesquisa Operacional surgiu a partir de tentativas de lidar com problemas de natureza logística, tática e estratégia. Os braços manipuladores na área de sistemas operacionais desempenham um importante papel, uma vez que são programáveis, sendo possível definir trajetórias e outros comandos que podem ser repetidos continuamente. O foco no estudo de braços robóticos se dá para a garantia da segurança do ser humano no quesito economia de tempo e esforço.

Os robôs não têm capacidade para responder em situações de emergência, a menos que a situação seja prevista e a resposta esteja incluída no sistema. Isto divide a robótica em dois campos, a robótica programada como, por exemplo, o robô PUMA citado anteriormente, e robótica autônoma.

A área de robótica autônoma vem atraindo a atenção de um grande número de pesquisadores, devido ao desafio que este novo domínio de pesquisas propõe: dotar sistemas de uma capacidade de raciocínio inteligente e de interação com o meio em que estão inseridos (MEDEIROS 1998, BEKEY 2005). Redes neurais, sistemas fuzzy e algoritmos evolutivos são técnicas computacionais inteligentes que vêm sendo utilizadas mais amplamente na área de robótica autônoma.

Algoritmos Evolutivos têm sido utilizados em Robótica principalmente porque o projeto de robôs autônomos e de seus controladores para ambientes não-estruturados, flexíveis, e/ou parcialmente desconhecidos é uma tarefa muito difícil para um projetista humano (MEYER, 1998). Meyer fazia menção às tarefas que o robô iria executar, como também ao ambiente em que o mesmo iria atuar. Para um projetista humano é praticamente impossível prever todas as situações que o robô estaria exposto, e é aí que entra em ação os algoritmos evolutivos.

Baseados na Teoria da Evolução Natural das Espécies de Darwin, os algoritmos evolutivos, mais conhecidos como algo-

ritmos genéticos, a partir de uma população inicial de soluções denominadas cromossomos que vão sendo evoluídas até uma solução que atenda um critério específico pré-estabelecido. As evoluções são caracterizadas por uma função medidora do nível de aptidão de cada cromossomo, chamada *fitness*. Assim, os cromossomos de melhor *fitness* sofrem operações de mutações ou cruzamentos com outros cromossomos e, são selecionados para compor a próxima geração. A partir disso, a cada geração o conjunto de soluções é melhorado até que se chegue a uma solução ótima.

Este artigo aborda a respeito da utilização de algoritmos genéticos para solucionar um problema muito comum dos manipuladores robóticos, o problema da cinemática inversa. Observa-se que este artigo é inspirado em trabalhos que empregam algoritmos evolutivos na área de robótica como, por exemplo, os trabalhos de Adriane B. S. Serapião e Raphael P. Azzolini, Algoritmos Genéticos para navegação autônoma com múltiplos objetivos em robótica coletiva e, Navegação autônoma de robôs em ambientes aleatórios através de estratégias evolutivas e, a tese de mestrado de Eduardo J. S. Pires – Algoritmos Genéticos: aplicação à robótica, pela similaridade que os mesmos possuem com o problema abordado.

1.1 PROBLEMATIZAÇÃO

O robô manipulador estudado neste artigo também pode ser dito como robô braço articulado pois possui uma configuração similar ao braço humano. O manipulador

consiste em componentes lineares correspondentes ao braço e antebraço humano, uma pinça que pode ser correlacionada a uma mão, montados num pedestal e conectados por juntas rotacionais correspondentes ao ombro, cotovelo e pulso. Este é caracterizado como 4 graus de liberdade GDL com elos rotacionais: robô do tipo manipulador quatro graus-de-liberdade de articulações rotacionais.

Dependendo de sua configuração e do tamanho de suas ligações e articulações, os robôs podem chegar a uma coleção de pontos ao redor deles, que constituem um espaço de trabalho. O espaço de trabalho pode ser definido matematicamente incluindo as limitações do robô, como os alcances dos movimentos de cada articulação. Por simplicidade e estratégia para planejamento de trajetória somente as três juntas planares foram modeladas, para a posteriori, existirem dois tipos distintos de ações de controle, as ações de controle que irão posicionar o modelo explorado nessa pesquisa com 3GDL responsáveis pela movimentação das juntas destacadas em vermelho em um ponto específico no espaço dentro da área de alcance para finalmente uma ação de controle deslocar o plano até a posição desejada no espaço 3D, e uma rotação no elo da base detalhada na figura2. A Figura 4 mostra a nuvem de pontos planares do espaço de trabalho modelado inicialmente nesta pesquisa.

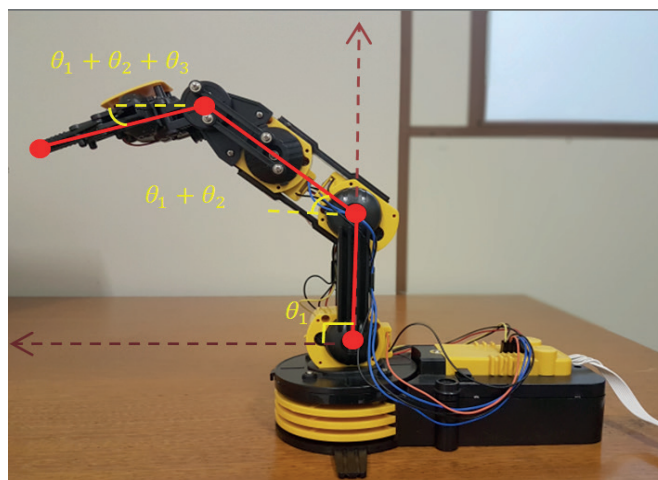
O cálculo da posição e da orientação da mão do robô é chamado de análise cinemática direta. Dada a representação de um manipulador de quatro articulações

no plano xy (Figura 1), pelas equações da cinemática direta tem-se a equação (1), (2). Observa-se que o modelo empregado nesse trabalho foi geométrico, devido a modelagem planar, entretanto o modelo

a ser utilizado na sequência da pesquisa (modelo completo do braço manipulador em 3D) deverá ser o modelo de Denavit-Hartenberg D-H (CRAIG, 2012).

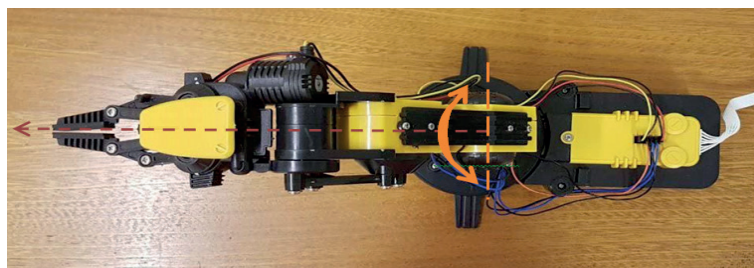
$$\begin{cases} x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \end{cases} \quad (1),(2)$$

Figura 1 - Exemplo de manipulador 4GDL RR no plano xy.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 - Exemplo de manipulador 4GDL RR no plano xy (vista superior).



Fonte: Autoria própria.

No entanto, se quisermos colocar a mão do robô em um local e orientação desejados, precisamos saber quais devem ser os ângulos das articulações do robô. Isso é denominado análise cinemática inversa. De acordo com Guez e Ahmad (1988), uma das problemáticas dos braços robóticos, a qual é tratada neste artigo, é a chamada

cinemática inversa. Trata-se da maneira de encontrar os parâmetros das juntas para uma determinada posição e orientação do efetuador, ou seja, como calcular os ângulos necessários para que o manipulador atinja a posição final desejada.

A cinemática inversa é a base para a movimentação de robôs manipuladores, pois

todas as tarefas realizadas necessitam do cálculo da cinemática inversa para obtenção dos ângulos referentes à posição final pré-determinada. Portanto, o cálculo da cinemática inversa é importante dentro do estudo da cinemática de robôs manipuladores.

Diferente da cinemática direta, para cinemática inversa não existe um procedimento sistemático explícito.

É possível posicionar um ponto no espaço com base em coordenadas cartesianas, cilíndricas, esféricas ou articulares. *A priori*, é necessário o planejamento da trajetória. Esta refere-se à forma como o robô é movido de um ponto para outro de maneira controlada, seguindo a coleção de sequências de configurações de percurso. Na especificação da trajetória devem ser levadas em consideração três tipos de restrições:

- a) Espaciais, ou seja, o ponto inicial e o ponto final do caminho. A presença de obstáculos pode requerer a especificação de eventuais pontos intermediários;
- b) Temporais, ou duração de cada trecho da trajetória;
- c) Mecânicas, melhor dizendo, a trajetória gerada deve corresponder a pontos dentro do espaço de trabalho do manipulador.

A problemática da cinemática inversa pode ser solucionada por intermédio de, além de outras conhecidas, soluções técnicas computacionais inteligentes como, por exemplo, a proposta por este artigo, Algoritmos Genéticos. Inerente a cinemática inversa temos o problema de múltiplas soluções, ou seja, um conjunto de soluções de

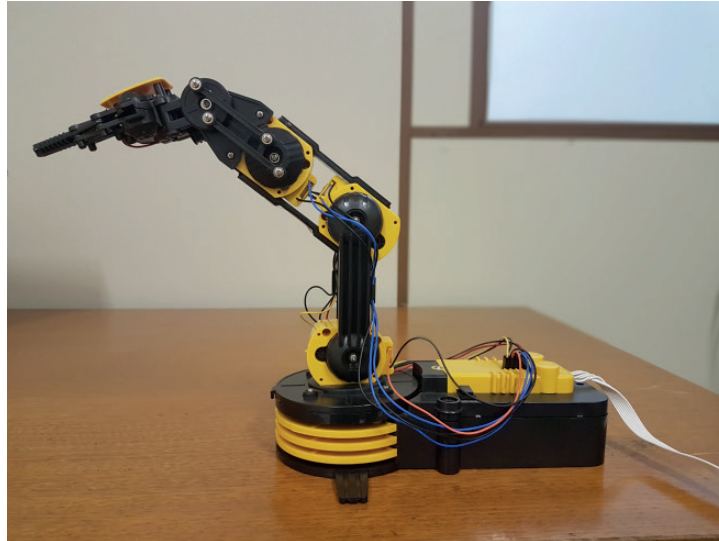
ângulos diferentes que levam a ferramenta final do braço manipulador as mesmas posições iniciais finais e intermediárias de uma determinada trajetória. Além disso, as possíveis soluções aumentam exponencialmente com o aumento dos graus de liberdade. Esse trabalho restringe-se a solução do problema da cinemática inversa, entretanto a proposta desse trabalho é de se utilizar algoritmos genéticos para definir a aptidão de uma solução com a proximidade da solução imediatamente anterior buscando uma possível solução para múltiplas soluções e de trajetórias.

2. METODOLOGIA

Inicialmente o braço mecânico com três graus de liberdade é modelado, no qual o tamanho das articulações 9cm da base, com de 45° até a primeira articulação, 11 cm, com 45° na articulação do meio e 11 cm, com 60° na parte da pinça.

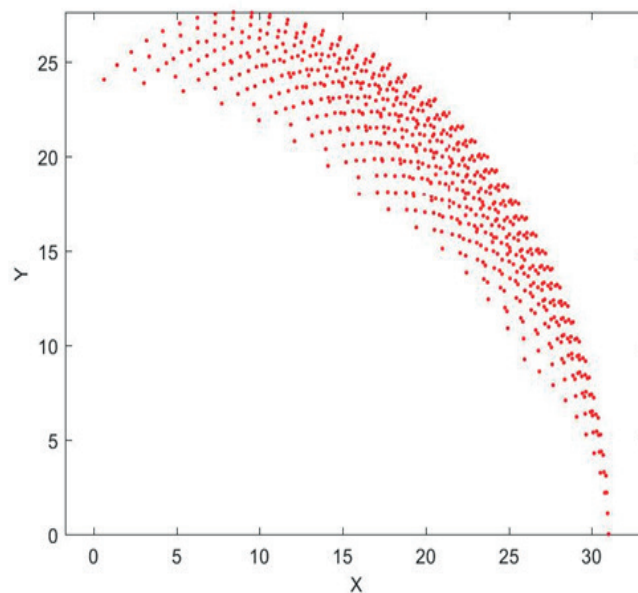
O manipulador da Figura 3 pode ser representado algebricamente por meio de equações da cinemática direta, correspondente aos 3 graus de liberdade a fim de determinar possíveis posições no plano (x,y) para a pinça. Dessa forma, dado os ângulos de cada abertura das articulações, e seus tamanhos, pode-se evidenciar por meio de uma nuvem de pontos, quais posições o manipulador pode adquirir. Abaixo a representação da nuvem de pontos é observada na Figura 4 restringindo-se os ângulos θ_1 de 0 a 90 graus, θ_2 0 a 90 e θ_3 0 a 90. O anexo 1 endereça maiores informações para a geração da nuvem de pontos por meio do script do MatLab.

Figura 3 – Braço mecânico



Fonte: Autoria própria

Figura 4 – Nuvem de Pontos



Fonte: Autoria própria

3. ALGORITMOS GENÉTICOS

O desenvolvimento de simulações computacionais de sistemas genéticos teve início nos anos 50 e 60 através de muitos biólogos, mas foi John Holland que começou a desenvolver as primeiras pesquisas no tema. Em 1975, Holland publicou “Adaptation in Natural and Artifi-

cial Systems”, ponto inicial dos Algoritmos Genéticos (AGs). Segundo Kramer (2017), Algoritmos genéticos são abordagens de pesquisa heurística aplicáveis a uma ampla gama de problemas de otimização, o que os torna atraente para diversos problemas. Nesse contexto, de um modo geral os algoritmos genéticos possuem como objetivo solucionar problemas do mundo real de forma otimizada, uma vez que trabalham

com um conjunto de parâmetros e não com os parâmetros individualmente, utilizando regras de transição probabilística e não determinística, que podem ser aplicadas em diversas áreas. Trabalham com uma população de soluções iniciais, denominados cromossomos que vão sendo evoluídos até que se chegue em uma solução ótima. Porém, para que isto ocorra é preciso que cada geração de cromossomos seja analisada, para se ter conhecimento do nível de aptidão, chamado de função *fitness*.

Os cromossomos com o melhor *fitness* são selecionados para darem origem a próxima geração, através de cruzamento e mutação. O que se espera é que a cada geração o conjunto de soluções seja melhorado, até que se chegue a uma solução que satisfaça as características desejadas.

A *priori* é selecionada uma população inicial constituída por indivíduos aleatórios (se for grande perde eficiência e se for pequena perde a diversidade), *posteriori* é definida a função *fitness* e assim são cruzados e sofrem mutação. Ocorre

também o *crossing over* (troca de material genético). Essas etapas ocorrem até que a melhor solução seja encontrada.

Por conseguinte, o objetivo deste trabalho institui-se pela utilização de um Algoritmo Genético - GA para a obtenção da cinemática inversa, dado um braço manipulador de 4 GDL RR ilustrado na Figura 2, com modelo cinemático apenas 3 GDL no plano, como previamente abordado. Determinando, portanto, os números de iterações utilizados 200, 50, 20 com a finalidade de se comparar os resultados obtidos e o erro ser analisado. As tabelas 1, 2, e 3 abaixo contém soluções encontradas pelo GA juntamente com os dados desejados para vários pontos pertencentes a nuvem de pontos, ou seja, as coordenadas (x,y) e os ângulos correspondentes para a sua trajetória. O erro apresentado foi a distância euclidiana do ponto desejado e da solução encontrada pelo A.G.

A distância euclidiana entre os pontos em um espaço n-dimensional pode ser definida através da seguinte equação (3):

$$\sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sum_{i=1}^n (p_i - q_i) \quad (3)$$

Tabela 1 - Dados correspondentes a utilização do GA para coordenadas iniciais (número de iterações: 200)

Theta ₁	Theta ₂	Theta ₃	X	Y	X _{final}	Y _{final}	Erro
39.642	36.307	57.573	2	24	2.025	x24.388	0.389
26.731	43.330	57.679	5	23	4.488	23.204	0.550
16.258	21.311	62.000	15	20	15.529	20.073	0.534
7.543	9.725	67.012	20	15	20.522	15.392	0.653
5.606	3.886	49.848	25	12	25.415	12.155	0.443
0.873	9.905	2.129	30	5	30.154	4.545	0.479

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Dados correspondentes a utilização do GA para coordenadas iniciais (número de iterações: 50)

Θ_1	Θ_2	Θ_3	X	Y	X_{final}	Y_{final}	Erro
39.929	35.371	58.443	2	24	2.087	24.363	0.374
28.027	41.765	57.474	5	23	5.083	23.306	0.317
13.559	28.461	57.018	15	20	15.193	20.337	0.388
5.008	16.698	59.173	20	15	20.929	15.715	1.172
6.690	0.735	54.869	25	12	24.960	12.209	0.212
2.541	2.442	14.926	30	5	30.292	5.100	0.308

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 - Dados correspondentes a utilização do GA para coordenadas iniciais (número de iterações: 20)

Θ_1	Θ_2	Θ_3	X	Y	X_{final}	Y_{final}	Erro
36.659	42.936	50.800	2	24	2.077	24.570	0.575
41.348	24.564	55.298	5	23	5.545	25.395	2.457
14.028	30.249	51.199	15	20	15.556	20.811	0.983
14.541	2.609	59.328	20	15	21.794	16.198	2.157
2.075	4.548	58.300	25	12	24.582	11.557	0.607
4.444	0.084	13.246	30	5	30.413	4.924	0.420

Fonte: Autoria própria

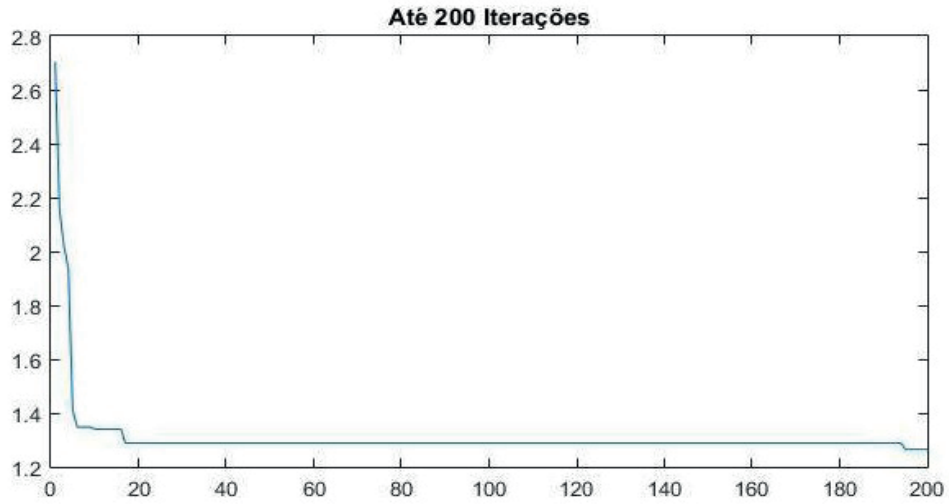
As simulações realizadas nos fornecem os ângulos necessários para se atingir os pontos estipulados inicialmente (X e Y) dessa forma o GA trabalhando com a cinemática inversa pode determinar as informações angulares dentro da faixa pré-estabelecida pelo manipulador e fornece a solução ótima encontrada pelo algoritmo genético, que são X_{final} e Y_{final} . Com o valor estipulado inicialmente e o valor encontrado, pode-se calcular o erro. Com isso nota-se que quanto maior o número de iterações mais precisa será a solução encontrada, uma vez que o erro é diminuído e a função *fitness* é melhorada. O intervalo de tempo para as simulações também deve ser considerado, uma vez que quanto maior o número de iterações o tempo para obter os resultados é maior.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS SIMULADOS

Os resultados ainda são iniciais e, a partir das Tabelas apresentadas no tópico anterior, gerou-se os gráficos apresentados nas Figuras 5, 6, e 7.

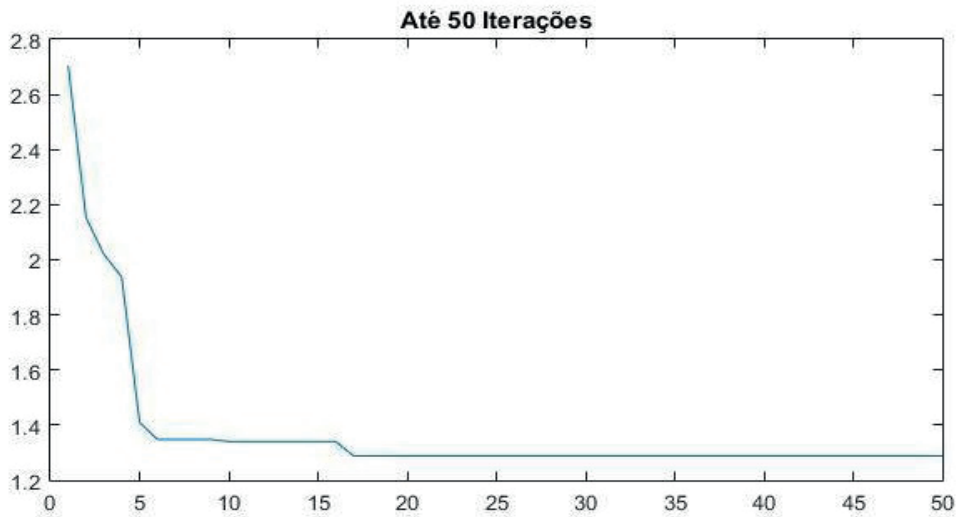
Fonte: Autoria Própria

Figura 5 – Gráfico referente à Tabela 1



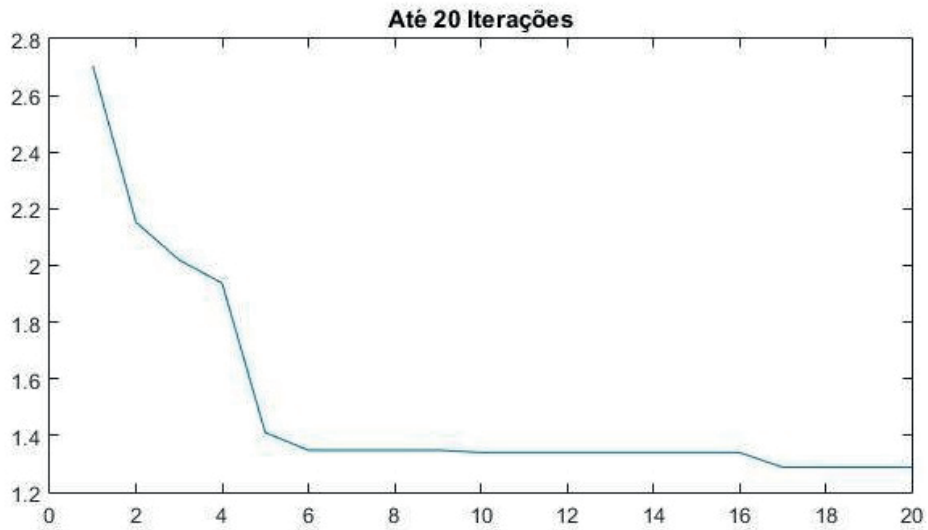
Fonte: Autoria Própria

Figura 6 – Gráfico referente à Tabela 2



Fonte: Autoria Própria

Figura 7 – Gráfico referente à Tabela 3



Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 - Dados sobre ponto fixo (x,y)

Para X=15 e Y=25 Desejado							Erro para o número de iterações de		
Teta ₁	Teta ₂	Teta ₃	X	Y	X _{final}	Y _{final}	200	50	20
25.449	41.301	10.436	15	25	14.908	24.700	0.281	0.283	0.286

Fonte: Autoria própria

Por meio das análises dos gráficos e tabelas acima, pode-se evidenciar que o uso do Algoritmos Genéticos sugere ser satisfatório, entretanto deve-se buscar uma melhor parametrização para diminuir o erro encontrado. A maior vantagem poderá ser na investigação da geração de trajetórias e simultaneamente na atenuação do problema de multiplas soluções. E, finalmente, observou-se que em varios experimentos simulados 20 gerações foi suficiente para o A.G. encontrar uma solução plausível para o problema proposto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados simulados ainda são iniciais, com necessidade de diminuição dos erros encontrados, porem a solução por meio de Algoritmos Genéticos pode ser uma possível solução do problema abordado simultaneamente com a geração de trajetórias com pequenos incrementos nos angulos inicialmente encontrados pela ferramenta. E, conseqüentemente atenuação do clássico problema de multiplas soluções. Futuros trabalhos endeçam evoluir o modelo apresentado para o D-H com os 4 graus de liberdade. Após essa etapa, objetiva-se a conexão e comunicação do ambiente de desenvolvimento

matlab e o prototipo didatico modelado para investigação e tratamento do problema em uma situação real.

6. Agradecimentos

Os autores a Universidade Tecnológica Federal do Paraná Campus Cornélio Procópio pelo apoio e incentivo a produção desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1]. ALSINA, P. J. **Cap. 5 Controle de Manipuladores**. Apostila, Cap. 5, p. 83-124, Centro de Tecnologia, Universidade do Rio Grande do Norte.
- [2]. BEKEY, G. A. **Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control**. MIT Press, Cambridge, MA, 2005.
- [3]. CRAIG, J. J. **Robótica**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2012.
- [4]. GROOVER, M. P. **Robótica: Tecnologia e Programação**. McGraw-Hill, 1998.
- [5]. HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. The University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975.
- [6]. KRAMER, O. **Genetic Algorithm Essentials**. USA: Springer, 2017.

[7]. MEDEIROS, A. **Introdução à robótica.** In Anais do XVII Encontro Nacional de Automática, Vol. 1, p. 56-65, Natal, RN, Brasil, 1998.

[8]. MEYER, J. A. **Evolutionary approaches to neural control in mobile robots.** Proc. of the IEEE Conf. on Syst., Man, and Cyb, 1998.

[9]. MILLER, R. M.; MILLER, R. **Robots and Robotics: Principles, Systems, and Industrial Applications.** USA: Mc Graw Hill Education, 2017.

[10]. NIKU, S. B. **Introdução à robótica: análise, controle, aplicações.** 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2013.

[11]. PIRES, E. J. S. **Algoritmos Genéticos: Aplicação à Robótica.** 1998. 236 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 1998.

[12]. SPONG, M. W; VIDYASAGAR, M. **Robot Dynamics and Control.** New York: John Wiley & Sons, 1989.

[13]. SERAPIÃO, A. B. S.; AZZOLINI, R. P. **Algoritmos genéticos para navegação autônoma com múltiplos objetivos em robótica coletiva.** Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática, CBA, artigo aceito em 2012 para publicação.

[14]. SERAPIÃO, A. B. S.; AZZOLINI, R. P. **Navegação autônoma de robôs em ambientes aleatórios através de estratégias evolutivas.** X SBAI – Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, artigo aceito em 2011 para publicação.

ANEXO

Código (Nuvem de pontos) referente à Figura 3

```
l1 = 9; % length of first arm
```

```
l2 = 11; % length of second arm
```

```
l3 = 11; % length of thirt arm
```

```
%area determinate for arm manipulator
```

```
%within the defined range
```

```
theta1 = 0:0.1:pi/4; % all possible theta1 values
```

```
theta2 = 0:0.1:pi/4; % all possible theta2 values
```

```
theta3 = 0:0.1:pi/3; % all possible theta3 values
```

```
[THETA1,THETA2,THETA3] = meshgrid(theta1,theta2,theta3); % generate a  
grid of theta1, theta2 and theta3 values
```

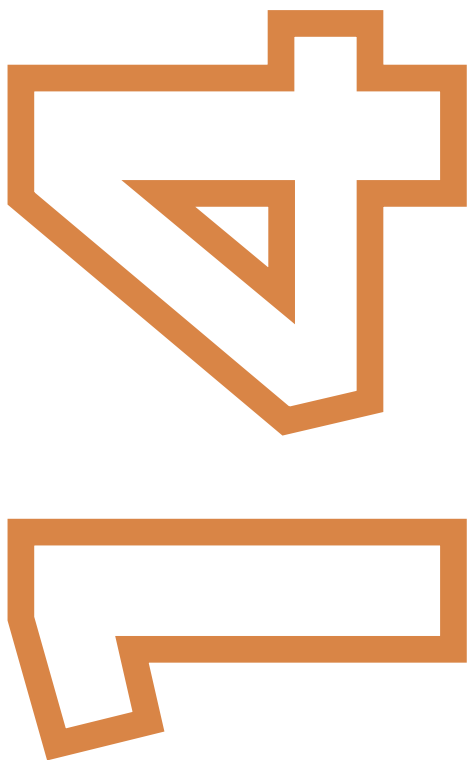
```
X = l1 * cos(THETA1) + l2 * cos(THETA1 + THETA2) + l3 * cos(THETA1 +  
THETA2 + THETA3); % compute x coordinates
```

```
Y = l1 * sin(THETA1) + l2 * sin(THETA1 + THETA2) + l3 * sin(THETA1 +  
THETA2 + THETA3); % compute y coordinates
```

```
data1 = [X(:) Y(:) THETA1(:)]; % create x-y-theta1 dataset
```

```
data2 = [X(:) Y(:) THETA2(:)]; % create x-y-theta2 dataset
```

```
data3 = [X(:) Y(:) THETA3(:)]; % create x-y-theta3 dataset
```



NÍVEL DE SATISFAÇÃO DE CLIENTES DE MEGAEVENTOS ESPORTIVOS NO RIO DE JANEIRO - UM ESTUDO DE FATORES DE QUALIDADE PERCEBIDA UTILIZANDO TEORIA FUZZY E REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS

Priscila da Silva Oliveira
Marcelo Prado Sucena

RESUMO

Este artigo trata do estudo de atributos complexos de qualidade percebida em jogos multiesportivos, na cidade do Rio de Janeiro, no estádio do Maracanã, para determinação do nível de satisfação de clientes acerca dos serviços prestados. O estudo utiliza conceitos de Qualidade percebida, Teoria Fuzzy e Redes Neurais Artificiais (RNA). A sistemática consiste na determinação de fatores relacionados à qualidade percebida pelo cliente acerca de serviços prestados em megaeventos, do estabelecimento de sua conexão com o nível de satisfação do cliente e da decodificação de tal material em variáveis de entrada fuzzy por meio do uso da Teoria Fuzzy e de RNA. A análise do material coletado junto à aplicação das técnicas descritas mostraram-se eficazes para o alcance do objetivo pretendido pela pesquisa.

Palavras-chave

Megaeventos esportivos, Teoria Fuzzy, Redes Neurais Artificiais, Qualidade Percebida, Qualidade em Serviços.

1. INTRODUÇÃO

O Mercado sofre rápidas mudanças, tornando o cliente e suas necessidades de atendimento cada vez mais complexas, exigentes e de difícil gerenciamento. O cliente passa a procurar o melhor produto pelo melhor preço. Dessa forma, organizações veem a necessidade de criação de ferramentas capazes de transmutar tais complexidades em informações mais palpáveis, para facilitar o entendimento e ação sobre as mesmas. Verificam também que precisam investir em suas diversas áreas de atuação, visando o gerenciamento eficaz de seus recursos em busca da excelência. O gerenciamento das necessidades e expectativas do cliente, de sua satisfação, torna-se, então, um fator de diferencial competitivo.

Tal complexidade eleva-se quando em vez do enfoque estar na relação “Cliente e Produto”, passa a estar na de “Cliente e Serviço”, devido à natureza dinâmica e intangível do mesmo.

Nesse contexto, a pesquisa propõe a criação de um modelo matemático, utilizando a teoria *Fuzzy* como base, capaz de transformar dados de natureza complexa sobre o nível de satisfação do cliente em megaeventos esportivos por meio de análise de indicadores de qualidade para:

— Alcançar padrões de excelência na gestão dos fatores influenciadores da satisfação do cliente, em qualidade percebida, para propiciar maior agregação de valor às análises e melhoria contínua da prestação do pacote de valor;

— Contribuir para a literatura em gestão de megaeventos por meio do estudo do entendimento das expectativas e necessidades do cliente à luz da análise de sua percepção de qualidade percebida em relação ao pacote de serviço consumido.

Para tanto, delimitou-se o escopo do estudo por usuários do Estádio do Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro, por meio da realização de 61 entrevistas com tópicos referentes à qualidade dos serviços prestados em megaeventos esportivos. O estádio em questão foi sede dos Jogos Pan Americanos, em 2007, dos Jogos Militares, em 2011, da Copa do Mundo, em 2014 e sediará os Jogos Olímpicos e Paralímpicos, em 2016. O estádio também comportará eventos esportivos nas categorias de Atletismo, Futebol, Voleibol e Tiro ao Arco nos próximos eventos organizados pelo Comitê Olímpico do Jogos Rio 2016.

A pesquisa a seguir visa, portanto, determinar o grau de satisfação do cliente em megaeventos esportivos, na cidade do Rio de Janeiro, a partir do estudo de sua percepção da qualidade do pacote de serviço prestado em tais eventos. E, para tanto, utilizará o estudo de atributos relacionados a qualidade de serviços em megaeventos, sob a premissa de conceito *percebido* pelo cliente e a sua conexão com o nível de satisfação do cliente e decodificará tal material por meio do uso da *Logica Fuzzy* e de Redes Neurais Artificiais.

2. METODOLOGIA

Para atingir o objetivo faz-se necessário o desenvolvimento dos seguintes tópicos:

- a)** Por revisão bibliográfica, identificar os atributos que irão compor a estrutura do modelo matemático de mensuração de nível de satisfação do cliente;
- b)** Realização da pesquisa de satisfação junto ao cliente para coletar os dados dos atributos;
- c)** Transmutação de tais atributos em variáveis de entrada *Fuzzy*;
- d)** Proceder com a submissão dos valores às regras lógicas de inferência;
- e)** Obtenção do grau de satisfação do cliente a partir do processo de *Defuzzyficação* das variáveis advindas das regras lógicas, de forma integrada, atribuindo-lhe um valor a única saída.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Para subsidiar o entendimento da pesquisa foi realizado um estudo sobre os conceitos de qualidade percebida e satisfação do cliente, Teoria *Fuzzy* e Redes Neurais Artificiais.

3.1 QUALIDADE PERCEBIDA E SATISFAÇÃO DO CLIENTE

Estudos sobre o conceito de qualidade datam do século passado, sendo teorizada por Fiegenbaum (1951), Crosby (1984), Peters

(1985), Taylor (1988), Taguchi (1986), Juran (1990), Deming (1990) e Ishikawa (1991).

Para Paquette *et al.* (2012), qualidade é um conceito multifacetado e de diversas definições. Juran (1990) associa qualidade à adequação ao uso; já Crosby (1984), parte da perspectiva da conformidade com as especificações. Deming (1990) atenta ainda que a qualidade pode ser percebida por duas óticas: a do produtor e a do consumidor, relativizando as análises sobre a mesma que, quando feita pelo cliente, o conceito associa-se à utilidade e valor perceptíveis no produto; já pela ótica do produtor, o conceito associa-se à produção e à concepção do produto, que relacionam-se com as necessidades e expectativas do cliente.

Nesse contexto, o conceito de qualidade, na condição de análise à luz da percepção do cliente, tem natureza multivalente. Podendo somente ser concebida pelo estudo de diversificados conceitos interconectados de percepção de agregação de valor ao objeto analisado, ou seja, dos atributos intrinsecamente associados ao objeto.

Do ponto de vista da qualidade em produtos, a mensuração de indicadores e aperfeiçoamento de processos dá-se de forma mais clara e precisa, as regras do jogo são tangíveis e de mais fácil gerenciamento. No entanto, tão logo a relação analisada seja cliente e prestação de serviços, as regras passam a não ser tão claras, o teor subjetivo das análises aumenta, tornando o processo de gestão do empreendimento mais dificultado. A base de mensuração

da qualidade torna-se, portanto, o nível de percepção que o cliente possui em relação ao serviço consumido.

Estudos relevantes que abordam qualidade em serviços como conceito *percebido* pelo cliente podem ser citados nas obras de Hunt (1977), Oliver (1989), Albrecht (1992), Gitlow (1993), Gianesi *et al.* (1994), Lima Junior (1995), Fornell (1996), Barros (1996), Kotler *et al.* (2002), Serrano (2003), Fitzsimmons *et al.* (2004) Bandeira (2005), Grosling (2006) e Cardoso (2006).

Nesse contexto, a presente pesquisa utilizará o conceito de qualidade *percebida* pelo cliente de megaeventos esportivos como instrumento de obtenção do nível de satisfação percebido, por meio do consumo desses serviços prestados em tais eventos, ocorridos no estádio do Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro.

3.2 TEORIA FUZZY

A delimitação de conjuntos, à luz da lógica clássica, definia-se por uma metodologia cartesiana e, portanto, objetiva. Por meio dessa perspectiva, a análise dos elementos de um conjunto dava-se de modo claro, e dessa forma, sem permitir “meio termos”. Um exemplo clássico para ilustração de tal dá-se pelos elementos do conjunto de “Pessoas” em relação às suas “Idades”. Permite-se dizer que uma pessoa de 59 anos pode ser considerada madura, traçando-se, assim, um padrão bem delimitado para as jovens e idosas. Pelo pensamento clássico, temos a seguinte configuração para o conjunto de idades de pessoas, a seguir na figura 1.

Figura 1 – Representação clássica do conjunto Pessoas e suas idades



Fonte: Elaboração própria

Nota-se, pela observação da figura 1, que uma pessoa de 59 anos, pelo olhar da lógica clássica, é considerada como uma pessoa madura. Observa-se, também, que ainda

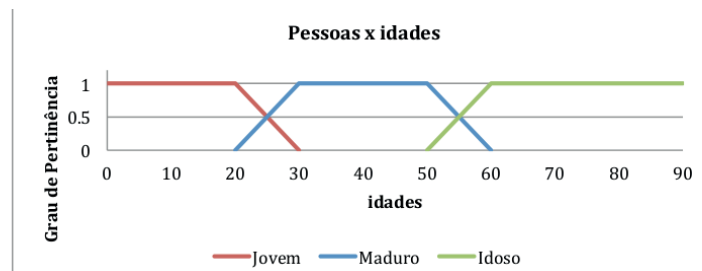
que a idade de 59 anos flutua por ambas as noções de “Pessoas Maduras” e “Pessoas Idosas”, por meio do entendimento provido pela lógica tradicional, tal noção se perde.

E, para resgatar esse teor de significado que a lógica tradicional deixa de considerar nas análises de conjuntos, os estudos sofreram notórias mutações ao longo do tempo para abordar tais questões esquecidas. Autores como Zadeh (1965), Zimmerman (1976), Dubois (1980), Buckley (1984), Bocklish (1987), Altrock (1993), Bandemer (1993), Demant (1993), Hans-Heinrich (1995), Biewer (1997), Lazzari (1998), Kwak, W. *et al* (2003), Dalinghaus (2005) e Huftle

(2005) abordam a questão do tratamento para esse tipo de questão levantada no exemplo da figura 2, indagando-se a possibilidade de trabalhar com a noção de verificação dos “ínterins” da análise, e daí nasce a noção de *grau de pertinência*. Tais ínterins dos conjuntos, repletos de senso comum e subjetividade, passam a ganhar tratamento à luz da Teoria *Fuzzy*.

Ainda no exemplo da figura 2, vista por meio da Teoria *fuzzy*, tem-se o seguinte:

Figura 2 – Representação Fuzzy do conjunto Pessoas e suas idades



Fonte: Elaboração própria, 2016

Logo, a Teoria *Fuzzy* trata de uma das áreas da Pesquisa Operacional, especificamente em Inteligência Artificial, que viabiliza o tratamento de dados imprecisos, de alta complexidade de análise, por meio do uso da noção de graus de pertinência associados aos conjuntos nebulosos. Torna capaz, dessa forma, o tratamento de problemas de cunho complexo do cotidiano do ser humano de maneira a objetivar tais imprecisões, transmutando-as em variáveis numéricas.

A seguir, será abordado o conceito de um modelo computacional baseado em redes de conexões integradas de inspiração em estrutura neural de organismos

inteligentes, detentores de capacidade de aprendizado por meio da experiência: As Redes Neurais Artificiais.

3.3 REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Estudos relevantes que abordam Redes Neurais Artificiais (RNA) como estrutura de conexões integradas podem ser citados nas obras de McCulloch e Pitts (1943), Hirota e Pedrycz (1994), Lin (1995), Bailey e Ye-Hwa (1998), Paiva (1999), Souza (1999), Oliveira *et al.* (1999), Huamani (2003), Medeiros (2003), e Pedrycz (2006),

As RNAs, como citado anteriormente, são

caracterizadas por conexões entre atributos, cuja estruturação tem inspiração no raciocínio humano, dotadas de capacidade de processamento de informações para decodificar eventos complexos do mundo à nossa volta. São compostas por neurônios, unidades menores de processamento e organizadas em camadas, que se relacionam entre si.

Tais neurônios, em sua forma básica, podem ser dispostos em uma sequência de n entradas que representam as variáveis de entrada, resultando em uma única saída correspondente.

Sucena (2016 *apud* Huamani, 2003) atentam para a classificação dos neurônios lógicos *and* e *or*, que contemplam as noções de composições triangulares, de modo a considerar dois vetores de uma única dimensão. Sucena (2016 *apud* Oliveira *et al.*, 1999) complementam ainda sobre a noção de cronologia de etapas de confecção de raciocínio, composta por dimensões denominadas *camadas*. Tais camadas podem ser identificadas como: A camada de variáveis ou de Fuzzyficação, na qual transformam-se variáveis de *input* em variáveis *fuzzy*; a camada Intermediária, na qual as variáveis *fuzzyficadas* passam pelo tratamento de regras de inferência e a camada de Defuzzyficação, processo pelo qual obtém-se a saída.

A próxima seção tratará da implementação do material coletado junto às entrevistas com clientes finais do estádio do Maracanã, parte do objeto de estudo dessa pesquisa, segundo à submissão do mesmo às regras

do tratamento das camadas de Fuzzyficação, Inferência e Defuzzyficação,.

4. A ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Foram consultados, para delimitação dos atributos de qualidade percebida a serem investigados na pesquisa, o Guia de Recomendações de Parâmetros e Dimensionamento para segurança e conforto em estádios de futebol (2016), o Guia de Classificação de Estádios (2003), o *Legacies of sports megaevents* (2008) e identificaram-se os seguintes atributos:

- Comunicabilidade: Presença de Informação visual e sonora; Adequada iluminação de segurança nas instalações e disponibilidade de agentes para prestar informações;
- Conforto: Presença de bem estar térmico e acústicos nas instalações e a presença de serviços e/ou instalações complementares (Fraudário, telefones, banheiros etc);
- Tempo: Quantidade de tempo em filas lanchonetes/restaurantes e em filas de ingresso;
- Condições Sanitárias: Condições de higienização das instalações; Presença de serviços de primeiros socorros e condição da limpeza das adjacências ao estádio;
- Segurança: Confiabilidade em segurança pública e confiabilidade na segurança interna dos estádios;
- Infraestrutura Complementar: Instalações de máquinas lanches; Presença de

lanchonetes/restaurantes dentro e nas adjacências ao estádio e presença de instalações de acomodação nas adjacências do estádio (Hotéis, pousadas, Albergues);

— Preço: Relação custo/benefício do valor pago pelo ingresso, comidas e bebidas e *souvenirs* e;

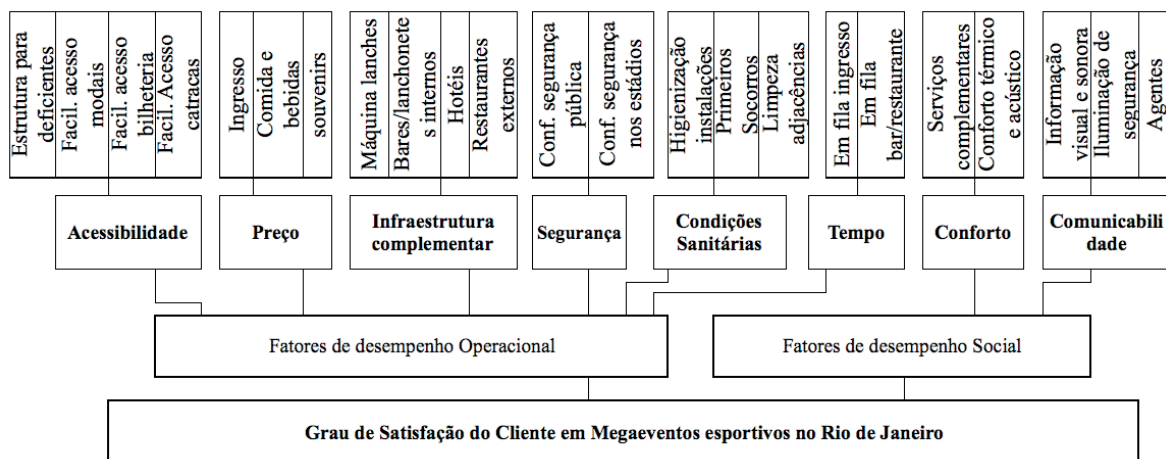
— Acessibilidade: Facilidade de acesso as instalações; facilidade de acesso a modais;

presença de instalações adaptadas a portadores de necessidades especiais.

E, as percepções desses atributos qualitativos foram observadas no conjunto de 61 entrevistas realizadas com usuários dos serviços prestados pelo estádio do Maracanã.

A figura 3 representa o agrupamento dos atributos supracitados na rede neural artificial (RNA) que modela o problema.

Figura 3– Representação da RNA



Fonte: Elaboração própria

4.1 PROCESSAMENTO DE CONVERSÃO DOS ATRIBUTOS EM VARIÁVEIS DE ENTRADA FUZZY

Nessa etapa, convertem-se os atributos da RNA em variáveis de entrada *Fuzzy*, identificando os respectivos universos de

discurso de cada um, seus termos linguísticos e graus de pertinência que regem o quanto cada termo está presente em cada atributo. Os resultados dessa etapa, para o processamento do atributo “Facilidade de Acesso às Bilheterias”, podem ser encontrados na tabela 1.

Tabela 1 – Representação da conversão do atributo Facilidade de Acesso à bilheteria em variável de entrada *Fuzzy*

Atributo	Termos Linguísticos	Grau de pertinência
Facilidade de acesso à bilheteria	Ruim	(1/0;1/30;0/40)
	Regular	(0/30;1/40;1/80;0/90)
	Excelente	(0/80;1/90;1/100)

Fonte: Elaboração própria, 2016

A conversão dos demais atributos da RNA segue o mesmo processamento da tabela 1, com os devidos ajustes em seus respectivos universos de discurso, tal como termos linguísticos e graus de pertinência.

Em seguida, procede-se com a obtenção da frequência absoluta das respostas adquiridas pelo *google forms*, como na tabela 2.

Tabela 2 – Frequência Absoluta para a pergunta 1

Termos Linguísticos	RUIM	REGULAR	EXCELENTE	TOTAL
Pergunta 1	18	30	13	61

Fonte: Elaboração própria, 2016

As demais frequências absolutas, correspondentes ao processamento das perguntas 2 a 23, seguem o modelo da tabela 2.

Em seguida, procede-se com a obtenção das funções de pertinência com as entradas crisp (valores máximos), como no exemplo da tabela 3.

Tabela 3 – Função de Pertinência com entradas CRISP para a pergunta 1

Termos Linguísticos	Função	Universo de discurso				Frequência	Montagem para cada termo linguístico				Valor máximo
Ruim	Rampa Esquerda	0	0	20	30	18	0	0	360	540	180
Regular	Trapézio	20	30	60	70	30	600	900	1800	2100	1350
Excelente	Rampa Direita	60	70	100	100	13	780	910	1300	1300	1105
						61	Valor máximo do trapézio fuzzy				43.20

Fonte: Elaboração própria, 2016

As demais funções de pertinência, correspondentes ao processamento das perguntas 2 a 23, seguem o modelo da tabela 3, com seus respectivos ajustes em

universos de discurso e termos linguísticos e cujos valores máximos do trapézio podem ser conferidos na tabela 4, a seguir:

Tabela 4 – Valores máximos do trapézio das funções de pertinência para as perguntas 2 a 23

Perguntas	Valor máximo do trapézio	Perguntas	Valor máximo do trapézio
P2	53,44	P13	50,66
P3	44,10	P14	46,72
P4	50,41	P15	43,36
P5	46,07	P16	42,76
P6	52,05	P17	49,43
P7	35,82	P18	26,31
P8	47,13	P19	34,59
P9	47,13	P20	50,33
P10	51,72	P21	48,36
P11	58,52	P22	49,10
P12	53,93	P23	40,41

Fonte: Elaboração própria, 2016

Obtem-se, assim, as variáveis de entrada para cada um dos neurônios da RNA.

4.2 O PROCESSO DE FUZZYFICAÇÃO, INFERÊNCIA E DEFUZZYFICAÇÃO

Em seguida, utilizam-se os valores máximos

crisp como entradas agregadas para a composição do neurônio. Prossegue-se com o processamento de fuzzyficação e submissão dos elementos às regras de inferência, afim de gerar os *outputs* advindos da defuzzyficação. O quadro 1, a seguir, representa tal operação para a obtenção da saída do neurônio “Conforto”.

Quadro 1 – Processo de fuzzyficação, inferência e defuzzyficação do neurônio Conforto

Neurônio Conforto										
Entradas CRISP agregadas		Fuzzyficação						Inferência (OU)		De-Fuzzyf. Saída Crisp
Perguntas		Perguntas						Perguntas		
P17	P12	P	P17	E	P	P12	P17	P12		
		0-40	R 30-70	60-100	0-30	R 20-80	E 70-100			
49.43	53.93	0.00	0.97	0.00	0.00	0.87	0.00	0.97	0.87	51.55

Fonte: Elaboração própria, 2016

As demais saídas crisp defuzzificadas dos demais neurônios da RNA, seguem o mesmo

modelo do quadro 1. Tais saídas podem ser encontradas na tabela 5, a seguir.

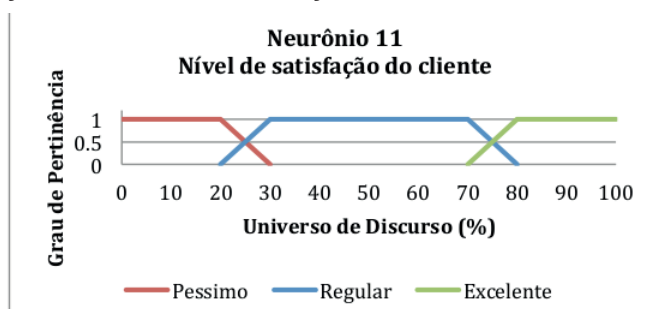
Tabela 5 – Saídas defuzzificadas dos demais neurônios da RNA

Neurônio	Saídas Crisp Defuzzificadas
Condições Sanitárias	51.48
Preço	32.09
Acessibilidade	47.35
Comunicabilidade	49.47
Segurança	49.50
Tempo	43.07
Infraestrutura Complementar	45.66
Fatores de Desempenho Operacional	45.58
Fatores de Desempenho Social	50.48
Nível de Satisfação do Cliente	48.21

Fonte: Elaboração própria, 2016

E, por fim, obtem-se o último neurônio da RNA, “Nível de satisfação do cliente”, representado na figura 4.

Figura 4 – Representação do Nível de satisfação do cliente



Fonte: Elaboração própria, 2016

5. RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação essencial das organizações, em tempos de acirrada concorrência, é a busca de meios de obter vantagem competitiva para tornar seus serviços cada vez mais atraentes e aderentes às necessidades e expectativas do cliente.

O presente trabalho partiu da premissa

que o gerenciamento dos fatores que influenciam a percepção do cliente acerca da qualidade dos serviços prestados, especificamente no caso estudado de megaventos esportivos, realizados no estádio do Maracanã, impactam diretamente em seu nível de satisfação com a prestação do serviço adquirido.

Concluímos, por meio do tratamento de variáveis complexas sobre a percepção do cliente da qualidade dos serviços pres-

tados, transmutando-as em variáveis numéricas, por meio do uso da Teoria *Fuzzy* e de RNA, que o nível de satisfação do cliente é de 48,21%, traduzindo-se em termos linguísticos, em um nível “regular”.

Tal aplicação demonstra que técnicas de Pesquisa Operacional podem auxiliar aos tomadores de decisão junto ao planejamento e compreensão dos processos influenciadores da percepção do cliente dos pacotes de valor adquiridos.

A pesquisa contemplou fatores influenciadores da percepção do cliente de megaventos esportivos, por meio do estudo do conceito de qualidade percebida, da Teoria *fuzzy* e de RNA para a compreensão e conversão de elementos complexos em numéricos, que compuseram o valor final do nível de satisfação do cliente.

6. REFERÊNCIAS

- [1]. ALBRECHT, Karl e BRADFORD, Lawrence J. **Serviços com qualidade: a vantagem competitiva**. São Paulo: Makron Books, 1992.
- [2]. BAILEY, S. A.;Ye-Hwa C. (1998). “**A Two Layer Network using OR/AND Neuron**”, IEEE World Congress on Computational Intelligence, 1998.
- [3]. BANDEIRA, R *et al.*, 2005, “**A Qualidade no Serviço de Transporte Turístico: O Caso da Linha Turismo de Porto Alegre**”. *In: XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte*, ANPET, Recife.
- [4]. BANDEMER, H.; GOTTWALD, S. **Einführung in Fuzzy-Methoden**. 4. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin, 1993.
- [5]. BARROS, C., D`Artagnan, C. **Excelência em serviços, questão de sobrevivência no mercado**. São Paulo: Quality-mark, 1996.
- [6]. BIEWER, B. **Fuzzy-Methoden**, Springer, Berlin, 1997.
- [7]. BOCKLISH, S. **Prozeßanalyse mit unscharfen Verfahren**, Akademie-Verlag, Berlin, 1987.
- [8]. BUCKLEY, J. **The multiple judge, multiple criteria ranking problem: A fuzzy set approach**. *Fuzzy Sets and Systems*, v.13, p.25-37, 1984.
- [9]. CARDOSO, B. C., 2006, **Qualidade de Serviço no setor de transportes sob a ótica da Teoria de Topoi**. Dissertação de M. Sc., Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro, Brasil.
- [10]. CROSBY, P.B. **Quality without tears**. Mc-Graw-Hill, New York, 1984.
- [11]. DALINGHAUS, K. **Realisierung und Optimierung eines Neuro-Fuzzy Systems zur Erkennung rhythmischer Muster**. PICS-Verlag. Osnabrück, 2005.
- [12]. DEMANT, B. **Fuzzy-Theorie oder die Faszination des Vagen**. Vieweg Verlag, Braunschweig, 1993.
- [13]. DEMING, W E **Quality, Productivity and Competitive Position**. MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge

University, 1982.

[14]. DUBOIS, D., PRADE, M. **Fuzzy Sets and Systems**, Academic Press, New York, 1980.

[15]. FIEGENBAUM, A.V. **Quality Control: Principles, Practices and Administration**, McGraw-Hill, 1951.

[16]. FITZSIMMONS, J. A. e FITZSIMMONS, M. J. **Administração de Serviços**. São Paulo: Bookman, 2004.

[17]. FORNELL, C. A **National Customer Satisfaction Barometer: The Swedish Experience**. *Journal of Marketing*, v. 56, p. 6-21, January, 1992.

[18]. FORNELL, C *et al.* **The American Customer Satisfaction Index: Nature, Purpose, and Findings**. *Journal of Marketing*, v. 60, p. 7-18, October, 1996.

[19]. FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **Guia de Recomendações de Parâmetros e Dimensionamento para segurança e conforto em estádios de futebol**. Disponível em: <http://www2.esporte.gov.br/futebolDireitosTorcedor/pdf/guiaRecomendacoesdeestadios.pdf>. Acessado em 17 de abril de 2016.

[20]. GIANESI, I. G. N., CORRÊA, L. H. **Administração estratégica de serviços**. São Paulo: Atlas, 1994.

[21]. GHOBADIAN, A. *et al.* 1994, "Service Quality: Concepts and Models", *International Journal of Quality & Reliability Management*, v. 11 n. 9, pp.43 - 66

[22]. GITLOW, H., S., 1993, **Planejando a qualidade, a produtividade e a competitividade**. Rio de Janeiro, Qualitymatk

[23]. GROSLING, M e Brito, B. **Dimensões da Qualidade de Serviço, Satisfação e Lealdade: Um Modelo Teórico**, 2006. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção ENEGEP, 2006. Fortaleza.

[24]. HELL, M.B., (2006). "Abordagem Neurofuzzy para Modelagem de Sistemas Dinâmicos Não Lineares", Programa de Pós-graduação em Eng. Elétrica. UNICAMP, Cap. 2 p. 7-38, outubro 2006.

[25]. HIROTA, K. and Pedrycz, W., (1994). "OR/AND neuron in modeling fuzzy set connectives", *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 2, pp. 151-161, 1994.

[26]. HUFTLE, M. **Methoden der unscharfen Optimierung**. Vieweg, Wiesbaden. 2005.

[27]. HUNT, H. K. "CS/D-Overview and Future Research Direction". In: *Conceptualization and Measurement of Customer Satisfaction and Dissatisfaction*, H. K. Hunt, ed: Cambridge, MA: Marketing Science Institute, 1977.

[28]. ISHIKAWA, K. **Introduction to Quality Control**. Chapman and Hall, 1991.

[29]. JURAN, J.M. **Juran planejando para a qualidade**. São Paulo: Pioneira. 1990.

[30]. KOTLER, P *et al.* **Marketing de Serviços Profissionais - Estratégias inovadoras para impulsionar sua ativi-**

dade, sua imagem e seus lucros. 2ª Edição. São Paulo: Manole, 2002.

[31]. LAZZARI L. L *et al.* **Teoria de la decisión fuzzy**. Ediciones Macchi, Buenos Aires, 1998.

[32]. LI, Hong Xing; YEN, V. C. **Fuzzy Sets and Fuzzy Decision-making**, ISBN 0-8493-8931- 3, CRC Press, USA, 1995.

[33]. MCCULLOCH, W. S. and PITTS, W. H. (1943). **"A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity"**, Bulletin of Mathematical Biophysics, 5, 115–133, 1943.

[34]. MCGRAW, H. 1997. OLIVER, R. L. **Processing of the satisfaction response in consumption: a suggest framework and research propositions**. Journal of Consumer Satisfaction/Dissatisfaction and Complaining Behavior, vol. 2, 1989, p. 1-16.

[35]. MINISTERIO DO ESPORTE. Guia de Classificação de Estádios. Disponível em: http://www.esporte.gov.br/arquivos/snfut/Sisbrace/SISBRACE_LIVRETO.pdf. Acessado em: 17 de abril de 2016.

[36]. MINISTERIO DO ESPORTE. Legacies of sports mega-events http://www.esporte.gov.br/arquivos/ascom/publicacoes/Legados%20de%20Megaeventos%20Esportivos_Portugus_e_Inglis.pdf. Acessado em: 17 de abril de 2016.

[37]. OLIVEIRA Jr., Hime Aguiar. **Lógica Difusa – Aspectos Práticos e Aplicações**. 192 pgs. Editora Interciência, Rio de Janeiro, 1999.

[38]. OLIVER, R. L. **Satisfaction: a behavioral perspective on the consumer**. New York.

[39]. PAQUETTE, J. *et al.* 2012, **Measuring quality of service in dial-a-ride operations: the case of a Canadian city**. Transportation ,v. 39,pp. 539– 564.

[40]. PEDRYCZ, W; Reformat, M. and Li, K., (2006). **"OR/AND Neurons and the Development of Interpretable Logic Models"**, IEEE Transactions Neural Network, vol. 17, maio, 2006.

[41]. PETERS, T.J. *et al.* **A passion for Excellence**. Random House Inc. New York, 1985.

[42]. SERRANO, D. P., 2003, Percepção e o Processo de Compra. Disponível em: <www.portaldomarketing.com.br>. Acessado em 12 de abril de 2016.

[43]. SHI, Y. and Y. H. Liu. Fuzzy Potential Solutions in Multicriteria and Multi-constraints Levels Linear Programming Problems. **Fuzzy Sets and Systems 60**, 163–179. 1993

[44]. SCHNEIDER, B., WHITE, S.S., 2004, **Service Quality Research Perspectives**. SAGE Publications, Inc.

[45]. SELLITTO, M. A. R., RIBEIRO, J. L. D., 2004, **Construção de indicadores para avaliação de conceitos intangíveis em sistemas produtivos**. Gestão & Produção, v.11, n 1, pp.75-90.

[46]. SUCENA, M. **Métodos Matemáticos Aplicados a Engenharia**. In: Sucena Eng.

Disponível em: http://www.sucena.eng.br/eng_producao/2016/UNESA_M%C3%89T_MAT_APL_ENG_PROD_2016_1.pdf. Acesso em 18 de abril de 2016.

[47]. TAGUCHI, G. **Introduction to Quality Engineering**, Asian Productivity Organization, Tokyo, 1986.

[48]. TANAKA, K., **An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications**. Ed.Springer, Nova York, 1997.

[49]. TAYLOR, JR **Quality Control Systems: Procedures for planning Quality Control Programmes**, McGraw-Hill, 1988

[50]. ZADEH, L.A. (1965). Fuzzy Sets. **Inf. & Control**, 8. 338-353.

[51]. ZADEH, L.A. Similarity relations and fuzzy orderings. **Inform. Sci.**, 3. 177-200.

[52]. ZIMMERMANN, H.J. Unscharfe Entscheidungen und Multi-Criteria Analyse, in: **Proceedings in OR**, Wurzburg 1976, pp. 99-116.

ANEXOS

5/1/2016

Pesquisa de satisfação em Megaeventos Esportivos no Rio de Janeiro

Pesquisa de satisfação em Megaeventos Esportivos no Rio de Janeiro

Sobre o Estádio do Maracanã ...

Como você define o acesso para pessoas com necessidades especiais ao estádio e instalações internas?

- Excelente
 Regular
Ruim

Como você define a proximidade do estádio a meios de transporte (onibus, trens, outros)?

- Perto
Regular
Longe

Como você define a facilidade de acesso às bilheteiras?

- Excelente
Regular
Ruim

Como você define a facilidade de acesso às catracas?

- Excelente
Regular
Ruim

Como você define a estrutura complementar de máquinas de comidas e bebidas dentro do estádio?

- Excelente
Adequado
Péssima

Como você define a estrutura de bares, lanchonetes, restaurantes no entorno dos estádio?

- Excelente
Regular
Péssima

Como você define a estrutura de bares, lanchonetes, restaurantes dentro do estádio?

https://docs.google.com/forms/d/11HTTOqYIXgTQ0Zx2TPaqp5WA1f1mJtaSC_GZVhghk88/viewform

1/4

5/1/2016

Pesquisa de satisfação em Megaeventos Esportivos no Rio de Janeiro

- Excelente
- Regular
- Péssima

Como você define a estrutura para acomodacao no entorno do estádio (pousadas, hotéis, albergues)?

- Excelente
- Regular
- Péssima

Como você define a segurança no entorno do estádio?

- Muito Seguro
- Parcialmente Seguro
- Pouco Seguro

Como você define a segurança dentro do estádio?

- Muito Seguro
- Parcialmente Seguro
- Pouco Seguro

Como você define a limpeza dentro do estádio?

- Muito limpo
- Parcialmente limpo
- Pouco limpo

Como você define o conforto termico e acustico dentro das instalações do estádio?

- Muito Confortável
- Parcialmente Confortável
- Pouco Confortável

Como você define a limpeza no entorno do estádio?

- Muito Limpo
- Parcialmente Limpo
- Pouco Limpo

Como você define a de atendimento de primeiros socorros dentro do estádio?

- Excelente
- Regular
- Pessimo

Como você define o tempo de espera em filas de atendimento em lanchonetes dentro das instalações do estádio?

- Rápido

https://docs.google.com/forms/d/11HTTOqYIXgTQ0Zx2TPaqp5WA1f1mJtaSC_GZVhghk88/viewform

2/4

5/1/2016

Pesquisa de satisfação em Megaeventos Esportivos no Rio de Janeiro

- Adequado
- Lento

Como você define o tempo de espera em filas para compra de ingressos?

- Rápido
- Adequado
- Lento

Como você define o preço das comidas e bebidas dentro do estádio?

- Caro
- Adequado
- Barato

Como você define o preço dos ingressos?

- Caro
- Adequado
- Barato

Como você define o preço dos souvenirs dentro do estádio?

- Caro
- Adequado
- Barato

Como define os serviços complementares dentro do estádio : Banheiros, Telefones, Fraudarios, Etc?

- Excelente
- Adequado
- Pessimo

Como você define presença de agentes para prestar informações dentro do estádio?

- Sempre Presentes
- Parcialmente Presentes
- Nunca Presentes

Como você define a presença de iluminação de segurança dentro do estádio?

- Excelente
- Adequada
- Pessima

Como você define a presença de informação visual e sonora dentro do estádio?

- Excelente
- Adequada
- Pessima

https://docs.google.com/forms/d/1HTTOqYIXgTQ0Zx2TPaqp5WA1f1mJtaSC_GZVhghk88/viewform

3/4

Autares

Otaviano Francisco Neves (organizador)

Doutor em Geografia - Tratamento da Informação Espacial - PUC Minas (2015), Mestre (2001) e Bacharel (1997) em estatística pela UFMG. Professor da Pontifícia Universidade Católica desde 2001/02. Membro do Colegiado do Curso de Administração (2015-2018). Coordenador de Extensão do curso de Ciências Contábeis unidade Barreiro (Desde 2007). Membro da comissão de assessoramento técnico da CPA (2007 - 2015). Representante da unidade Barreiro na Comissão Permanente de Avaliação - CPA (2008-2010). Consultor estatístico com mais de 15 anos de experiência nas áreas de informação, relacionamento com o cliente (Call-Center) e Marketing. Experiência em métodos estatísticos de previsão, modelos de insolvência (credit scoring e behaviour scoring), estatística aplicada, análise multivariada, simulação, planejamento, projetos e finanças. Professor de vários cursos de Graduação e Pós Graduação nas áreas de estatística básica e avançada. Interesse atual em métodos quantitativos aplicados à avaliação institucional e docente, ao turismo, à geografia, informática e ao ensino.

Adriano Mendonça Souza

Graduado em Matemática (Faculdade Imaculada Conceição), Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa (Universidade Federal de Santa Maria) e Mestrado em Engenharia de Produção (UFSM). Doutorado em Engenharia de Produção (Universidade Federal de Santa Catarina - SC) e neste período atuou como pesquisador na Texas A & M University (TX - USA), realizou post-doc no Instituto Superior da Ciência do Trabalho e da Empresa - ISCTE - Business School - Lisbon Institute - Portugal. Atualmente é Professor Titular do Departamento de Estatística (UFSM) atuando nos cursos de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa (UFSM) e no Mestrado em Engenharia de Produção (UFSM) assim como nos demais cursos de graduação da instituição. A partir de 2007 passou a ser avaliador de curso e avaliador institucional do MEC, além de ser *referee* de várias revistas científicas. Faz parte do corpo editorial da Revista Ciência e Natura e membro do comitê editorial da Editora-UFSM. As áreas de interesse são estatística aplicada, controle de qualidade, análise de séries temporais, análise multivariada, pesquisa operacional e gerência de produção e avaliações de políticas públicas por meios de modelos econométricos.

Adson S. Rocha

Adson Silva Rocha é Doutor em Engenharia Elétrica (2013) pela Universidade de Brasília (UnB) e, atualmente, é professor e pesquisador no Instituto Federal Goiano (IFGoiano). Seus interesses de pesquisa incluem computação aplicada, experiência de usuário e inteligência computacional.

Alencar Servat

Tecnólogo em Gestão de produção industrial, Bacharel em Engenharia de produção pela UTFPR, especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, Mestrando em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio UTFPR. Atualmente Professor de Magistério Superior substituto na UTFPR-MD CREA-PR 149971/D.

Aliomar Lino Mattos

ALIOMAR LINO MATTOS é: Professor Adjunto nível II DE na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Graduado em Ciências Contábeis. Pós-graduação *latu sensu* em Marketing Empresarial. Pós-graduação *Strictu Sensu* em Ciências Contábeis pela Fucape Business School. Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Metodista de Piracicaba-Unimep. Sua atuação como docente e de pesquisa volta-se aos usuários internos da Contabilidade. Já atuou no mercado nas áreas de custos e formação de preço de venda.

Bruno Costalonga Leite

Graduação em andamento em Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil

Camila Cielo

Graduanda em Engenharia de Produção na Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cássio L. Ribeiro

Cássio Landim Ribeiro é Mestre em Engenharia da Computação (2017) pela Universidade Federal de Goiás (UFG) e, atualmente, é desenvolvedor de software autônomo. Seus interesses de pesquisa incluem computação aplicada, engenharia de software e inteligência computacional.

Cristiane Melchior

Possui graduação em Administração pela Fundação Educacional Machado de Assis (2016), e é mestranda em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria, início em 2017. Atualmente é pesquisadora da Universidade Federal de Santa Maria. Tem experiência na área de Administração, atuando principalmente nos seguintes temas: capacitação, sustentabilidade, negócio, gestão do conhecimento e tecnologia.

Cristiano Ziegler

Possui graduação em Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (2013) e graduação em Engenharia Mecânica pela Faculdade Horizontina - FAHOR (2014). Experiência profissional adquirida através de três estágios, em uma Propriedade Agrícola, uma Agroindústria Familiar e em uma Indústria Metalúrgica, além de experiência como sócio em uma propriedade familiar. Atualmente é aluno de Pós-graduação no Mestrado em Engenharia de Produção na Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, e Pesquisador Bolsista (CAPES) no Laboratório de Análise e Modelagem Estatística (LAME) na mesma universidade.

Dayse Kellen Ferreira de Oliveira

Estudante de engenharia industrial na Universidade Federal do Pará campus de Abaetetuba e técnica em Segurança no trabalho com experiência profissional em empresas da região do polo industrial de Barcarena/PA.

Denner M. de Carvalho

Denner Monteiro de Carvalho é Mestre em Engenharia Elétrica (2017) pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Suas áreas de interesse englobam sistemas elétricos de potência, distribuição de energia elétrica e otimização de processos.

Diego Marques Cavalcante

Estudante de engenharia industrial na Universidade Federal do Pará campus de Abaetetuba, técnico ambiental formado pelo instituto Federal do Pará, dedicando-se à sistemas de gestão integrada: Qualidade, Segurança e Ergonomia.

Diene Maria Oliveira

Graduada em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Em 2014, participou do projeto de extensão e cultura como bolsista, intitulado "Programa de Educação Socioambiental para a Formação Cidadã e Preservação do Meio Ambiente", realizado pela Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão (UFG). Participou também do 11º Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão (CONPEEX), no ano de 2014 e foi contemplada com o Prêmio Extensão e Cultura/UFG como melhor trabalho da Regional Catalão intitulado "Coleta Seletiva, Reciclagem e Sustentabilidade: Formação de Recursos Humanos em Educação Ambiental. Atualmente trabalha como Supervisora Administrativa em uma empresa de médio porte.

Elias Rocha Gonçalves Júnior

Mestrando em Engenharia de Produção, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Pós-graduado em Docência do Ensino Superior pelo Instituto Brasileiro de Ensino (IBE). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Candido Mendes (UCAM - Campos). Pesquisador no Grupo de Pesquisa Interinstitucional de Desenvolvimento Municipal/Regional - ITEP/UENF/UNIFLU, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro em parceria com o Centro Universitário Fluminense - UNIFLU. Atualmente, é Professor Instrutor I na Universidade Candido Mendes – Campos (UCAM - Campos), ministrando as disciplinas Metrologia Automotiva, Motores Ciclo Otto, Manutenção em sistemas de Suspensão e Manutenção em sistemas de Freios. Tem experiência e pesquisas na área de Engenharia Mecânica e Engenharia de Produção, com ênfase em Energias Renováveis, Manutenção Industrial, Mineração de Dados, Planejamento Estratégico, Motores à Combustão e Gestão Sustentável. É palestrante, autor de livros e membro da Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM).

Fabiana Costa de Araujo Schutz

Possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2001), mestrado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2004) e Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (PB) (2014). Atualmente é professora do ensino superior da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Tem experiência na área de Recursos Hídricos e energéticos, com ênfase em Hidráulica, simulação em redes neurais aplicada a recursos hídricos e ensino.

Fernando Henrique Lermen

Engenheiro de Produção Agroindustrial pela Universidade Estadual do Paraná - Campus de Campo Mourão. Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Têm experiência em Modificação de Amidos (Pré-Gel, Catiônico, Aniônico, Hidrofóbico e Oxidado) com aplicações em indústria de fécula, frutas, papel e celulose. Pesquisador do GMPAgro - Grupo Multidisciplinar de Pesquisas Agroindustriais da UNESPAR. Estudante Pesquisador do GEDEPRO - Grupo de Gestão em Projetos de Produto da UFRGS.

Fernando Nascimento Zatta

Professor do Mestrado Administração - Universidade Metodista de São Paulo (UMESP). Pós-Doutorado em Administração (UMESP). Doutor em Engenharia de Produção (UNIMEP). Mestre em Contabilidade (FUCAPE). Mestre em Finanças (FUCAPE). Pós-MBA em Inteligência Empresarial (FGV). Especialista em Engenharia de Produção (UFES). Especialista em Contabilidade (FGV). Graduado em Ciências Contábeis (UVV). Graduado em Ciências Econômicas (ncUVV)

Gabriela De Nadai Mauri

Graduanda em Engenharia de Produção - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Possui experiência em planejamento, desenvolvimento e condução de projetos e pesquisas científicas.

Gabriella Ragazzi Costa

Graduação em andamento em Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil

Gustavo de Souza Matias

Engenharia de Alimentos pela Universidade Estadual de Maringá. Estudante Pesquisador do GMPAgro - Grupo Multidisciplinar de Pesquisas Agroindustriais. Mestrando em Engenharia de Alimentos Pela Universidade Estadual de Maringá.

Hércules André da Costa e Silva

Mestre em Engenharia de Produção (UFAM), Pós-Graduação em Engenharia de Planejamento (PROMINP/UFAM) e graduação em Engenharia Elétrica (UFAM). Foi subcoordenador do Núcleo de Informação Biotecnológica no Centro de Biotecnologia da Amazônia. Atualmente é Coordenador do curso de Engenharia de Produção (UNINORTE). Foi pesquisador do Instituto Nokia de Tecnologia (INdT), atuando na Engenharia Industrial, desenvolvendo soluções na área da logística, otimização e modelagem & simulação. Foi pesquisador: do Laboratório de Pesquisa Operacional (UFAM), do projeto THECNA (Transporte Hidroviário e Construção Naval na Amazônia)/ UFAM e do NTC /UFAM - onde desenvolveu projetos voltados a logística do transporte aquaviário e construção naval.

Iago Lucas de Oliveira Leão Teixeira

Bacharel em Engenharia de Produção (UNINORTE LAUREATE). Atuou como pesquisador ativo em projeto de pesquisa da Iniciação Científica (IC) do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) pela UNINORTE LAUREATE com o tema sistema operacional, inovação, tecnologia e transporte público. Participa de pesquisas cuja temática se refere ao meio ambiente, sustentabilidade, desenvolvimento e responsabilidade social.

Ícaro Romolo Sousa Agostino

Engenheiro de Produção pela Universidade Ceuma (2016). Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Atualmente é Pesquisador Bolsista (CAPES) no Laboratório de Análise e Modelagem Estatística da UFSM. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Simulação de Eventos Discretos, Métodos Quantitativos para tomada de Decisão e Previsão Aplicada.

Jandrei Sartori Spancerski

Técnico em Segurança do Trabalho e acadêmico de Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e acadêmico de Engenharia da Computação pelo Centro Universitário Internacional UNINTER.

Jônatas Favotto Dalmedico

Mestrando em engenharia mecânica com ênfase em dinâmica.

José Airton Azevedo dos Santos

Possui Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas (1987), Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1994) e Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999). Atualmente é professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Conselheiro Eleito do Conselho Universitário (COUNI). Tem experiência nas áreas de Engenharia Elétrica e Engenharia de Produção, atuando principalmente nos seguintes temas: Energia e Meio Ambiente e Modelagem e Simulação de Sistemas Contínuos e Discretos. É professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio da UTFPR - Câmpus Medianeira.

Julio Cezar Negri Ramos

Possui graduação em Tecnologia em Design Gráfico pelo Instituto Federal Fluminense (2004). Atualmente é professor do Curso Superior em Design Gráfico do Instituto Federal Fluminense e Programador Visual da Reitoria do Instituto Federal Fluminense. Tem experiência na área de Comunicação, com ênfase em Criação de Marcas, Identidades Visuais, Mídias impressas e Digitais, atuando principalmente nos seguintes temas: design gráfico, projeto gráfico, identidade visual, produção gráfica e diagramação. É sócio-proprietário da agência CONTEXTO COMUNICAÇÃO E DESIGN desde 2010

Karoline Yoshiko Gonçalves

Acadêmica do 5º Ano do curso de Engenharia de Produção Agroindustrial da Universidade Estadual do Paraná – Campus de Campo Mourão. Estudante Pesquisadora do GMPAgro - Grupo Multidisciplinar de Pesquisas Agroindustriais da UNESPAR

Leandro Luís Corso

Graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul, mestrado (2006) e doutorado (2010). Pós-doutorado na Monash University (2012-2013) na área de Pesquisa Operacional. Pós-doutorado no setor militar - Naval Postgraduate School Califórnia EUA (2013). Pesquisador/professor de áreas de Otimização de Processos do Mestrado Profissional em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul.

Leonardo da C. Brito

Leonardo da Cunha Brito é Doutor em Engenharia Elétrica (2003) pela Universidade de Brasília (UnB) e professor e pesquisador na Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação (EMC) da Universidade Federal de Goiás (UFG). Seus interesses de pesquisa incluem computação aplicada e inteligência computacional em problemas de Engenharia.

Letícia Marasca

Possui graduação em Administração pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - URI (2006). Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, área de concentração em Gerência de Produção e bolsista Capes - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Atua no projeto de pesquisa Análise de sobrevivência aplicada ao estudo da evasão no ensino superior e no projeto de ensino Relação entre a variação do preço final no pregão eletrônico decorrente da concorrência entre os licitantes da UFSM. Possui experiência profissional na área de administração, em análise de investimento em projetos e marketing. Tem interesse nas áreas de Administração e Engenharia da Produção.

Lucas Duarte

Graduando em Engenharia de Produção na Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Lúcia Helena de Oliveira Leão Teixeira

Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano (UFPA). Bacharel em Administração (UMC) e Fisioterapia (UNINORTE). Tem especialização em Gestão Hospitalar e Serviços de Saúde (UNINORTE), Fisioterapia Dermatofuncional e Realibitação em Ortopedia e Traumatologia (ÁVILA), Marketing e Moda (UNIARA). Estudos complementares em Educação e Desenvolvimento (LUSÓFONA). Docente em educação profissional há mais de vinte anos. Atualmente é professora de ensino superior e coordenadora de curso (CIESA). Possui artigos nas áreas de pesquisa em educação, meio ambiente e saúde.

Marcelo Sucena

Pós-Doutorado pela COPPE/UFRJ/LASUP - Laboratório de Aplicações de Supercondutores - Programa de Engenharia de Elétrica (modelo Neuro-Fuzzy para gerenciamento ambiental da operação do trem de levitação magnética - MagLev-Cobra), Doutor em Engenharia de Transportes pela COPPE/UFRJ (Modelo Neuro-Fuzzy, sistêmico, para subsidiar alocação de recursos), Mestre em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME) (Procedimento para identificação de elementos críticos, com FMECA, para subsidiar alocação de recursos), Graduado em Engenharia Elétrica - Ênfase em Eletrotécnica pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca - CEFET/RJ (Programa em FORTRAN para equilíbrio de rede de energia com alguma contingência).

Márcio Mendonça

Doutor em sistemas computacionais inteligentes aplicados a controle e robótica.

Micheli Ferreira

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná e mestranda no Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais pela mesma Universidade.

Micheli Silva Sousa

Estudante de engenharia industrial na Universidade Federal do Pará campus de Abaetetuba e técnica em informática formada pelo instituto federal do Pará.

Nelson Dias da Costa Junior

Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Goiás, Pós-Graduado no MBA em Gestão Empresarial pela Universidade Cruzeiro do Sul e Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Goiás. Possui experiência como Empreendedor no setor de Serviços Gráficos, além de experiência na área de Planejamento e Controle de Manutenção em Indústria Química.

Pedro H. S. Palhares

Pedro Henrique da Silva Palhares é Bacharel em Engenharia de Computação (2010) e Mestre (2012) pela Universidade Federal de Goiás. Atualmente, é doutorando na mesma Universidade e seus interesses de pesquisa incluem otimização, simulação, computação flexível e computação aplicada em problemas de Engenharia.

Priscila Oliveira

Graduada em Engenharia de Produção. Atualmente investiga os impactos dos Megaeventos esportivos na dinâmica da cidade do Rio de Janeiro, publicando resultados das investigações em artigos científicos, embebidos em técnicas de Pesquisa Operacional, no âmbito da Inteligência Artificial.

Rafaela Boeira Cechin

Possui graduação em Engenharia de Produção e mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade de Caxias do Sul (UCS), com foco em Pesquisa Operacional e Otimização.

Renan Mitsuo Ueda

Engenheiro de Produção formado pela Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). É Membro fundador e Ex-Diretor Jurídico-Financeiro da Sigmax Engenharia Júnior, uma empresa de consultoria que presta serviços para toda a região da grande Dourados. Além disso, já participou de projetos vinculados ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Atualmente é mestrando em Engenharia de Produção (PPGEP - UFSM), atuando em pesquisas nas áreas de Métodos Quantitativos para Tomada de Decisão.

Rodrigo Randow de Freitas

Professor do Mestrado Profissional em Gestão Pública - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES/CEUNES). Professor do Mestrado em Energia - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES/CEUNES). Professor do Curso de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES/CEUNES). Doutor em Aquicultura Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Mestre em Aquicultura Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Especialista em Educação e Gestão Ambiental (Faculdade Saberes). Graduação em Administração de Empresas: ênfase em análise de sistemas (Faculdade de Ciências Humanas de Vitória)

Roselaine Ruviaro Zanini

Possui graduação em Matemática - habilitação em Física pela Faculdade Imaculada Conceição, Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa, Mestrado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria e Doutorado em Epidemiologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atualmente é Professor Associado II na Universidade Federal de Santa Maria, Coordenadora substituta do Curso de Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa e atua no Mestrado em Engenharia de Produção da UFSM. Tem experiência na área de Estatística Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: epidemiologia, modelos de séries temporais e modelos de regressão.

Sara Aparecida da Silva Vaz

No ano de 2013 iniciou o curso de Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Goiás. Entrou para o Grupo de Pesquisa de Modelagem e Simulação (GEMS) como aluna de iniciação científica (2014). Em 2015 se tornou coordenadora Geral de Relações públicas do Núcleo Goiano de Estudantes de Engenharia de Produção (NUGOEEP) onde, em 2016, tornou-se responsável pela Coordenadoria Geral de Desenvolvimento. Foi a vencedora do Concurso Nacional de Simulação Computacional - Prêmio Simula Brasil Robert Bateman, no quesito originalidade (2016). Atualmente é aluna do curso de Engenharia de Produção - UFG, integrante Grupo de Estudos em Modelagem e Simulação e estagiária na Empresa Allianz Infraestruturas do Brasil, atuando na área de planejamento.

Saymon Ricardo de Oliveira Sousa

Mestrando em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Maria 2018. Especialista em Engenharia de Manutenção e Segurança pela Universidade Candido Mendes 2018, Graduado em Engenharia de Produção pela Universidade CEUMA 2017. Possui Especialização Técnica em Geometria de Via 2008 e curso Técnico Profissionalizante em Eletromecânica 2007 ambos pelo Instituto Federal de Educação e Tecnologia do Maranhão - IFMA. Atualmente é pesquisador e membro do Laboratório de Análise e Modelagem Estatística da Universidade Federal de Santa Maria e do Grupo de Pesquisa em Inovação e Sustentabilidade da Universidade CEUMA. Foi membro do Centro de Desenvolvimento em Sistemas de Informação e Decisão (CDSID) um dos mais renomados departamentos de engenharia de produção do Brasil e referência mundial na área de Modelos de Decisão Multicritério da Universidade Federal de Pernambuco. em experiência nos campos de Análise de Regressão e Correlação Aplicadas à Engenharia de Produção, Gestão de Indicadores do Processo Produtivo, Melhoria Contínua no Sistema Organizacional, Análise de desvios Sistêmicos, Gerência da Produção, Métodos Quantitativos para a Tomada de Decisão e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos. Parceria com a empresa Vale S/A, com o projeto de pesquisa baseado em Modelagem e Simulações de Processos Portuários.

Silmar Antonio Lunkes

Técnico em Segurança do Trabalho e acadêmico de Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná .

Stella Jacyszyn Bachega

Possui doutorado e mestrado em Engenharia da Produção na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) e graduação em Administração pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente é docente em regime 40h dedicação exclusiva na Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão. Dentre as áreas de atuação em ensino, pesquisa e extensão, estão: pesquisa operacional, sistemas e tecnologia da informação, gestão de operações, sustentabilidade e administração. Realiza pesquisas que proporcionem abordagens transversais envolvendo duas ou mais das seguintes áreas: administração de setores específicos, engenharia de produção, computação, ambiental, estatística e automação. Ainda, é líder do Grupo de Estudos em Modelagem e Simulação-GEMS.

Tânia Maria Coelho

Graduada em Física pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre e Doutora em Física pela Universidade Estadual de Maringá. Professora Associada da Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR. Líder e Pesquisadora do GMPAgro - Grupo de Pesquisa em Materiais Agroindustriais da UNESPAR.

Thalita Lopes Salvadori

Graduação em andamento em Engenharia de Controle e Automação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, Brasil

Tiago Luiz Strapasson

Acadêmico de Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Virgínia Siqueira Gonçalves

Mestranda em Engenharia de Produção pela Universidade Candido Mendes – Campos, sendo bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes. Pesquisadora no Grupo de Pesquisa Interinstitucional de Desenvolvimento Municipal/Regional – ITEP/UENF/UNIFLU, da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Em fase final da Pós-graduação em Docência do Ensino Superior pelo Instituto Brasileiro de Ensino – IBE. Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Candido Mendes – Campos. Atualmente é professora do Instituto Tecnológico de Campos – ITECAM sediado na Universidade Candido Mendes – Campos, no Curso Técnico em Manutenção Automotiva leciona as disciplinas “Lubrificação, Aditivos e Combustíveis”, “Manutenção em Sistemas de Embreagem” e “Acessórios Automotivos” e no Curso Técnico em Eletrotécnica ministra a disciplina “Tecnologia Mecânica”. Possui experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em processos fabris e manutenção.

Vitor Gomes Afonso

Bacharel em Engenharia de Produção (UNINORTE LAUREATE). Participou de artigo científico na área de pesquisa operacional, inovação, tecnologia e transporte público.

Wagner de Barros Neto

Bacharel em Engenharia da Produção na Universidade Federal de Goiás (UFG), com graduação sanduíche na University of Waterloo (Canadá), especialização em Marketing Digital na Udacity. Durante a universidade participou do projeto Baja SAE, projeto de pesquisa PIBITI/CNPq e Empresa Júnior. Desde sua graduação, dedica-se ao mundo de empreendedorismo e inovação, com sua startup.

Walter Charles Sousa Seiffert Simões

Mestre em Informática (UFAM), possui graduação em Tecnologia em Processamento de Dados pelo Instituto de Tecnologia da Amazônia. Pós-graduado em Gerenciamento de Projetos (UFG). Tem experiência na área de docência em cursos de graduação desde 2008. Também é android sdk specialist e já atuou nas áreas de automação comercial e industrial, desenvolvendo softwares para lojas e indústrias nos ambientes desktop, web, móvel e embarcado. Com conhecimentos de gestão já exerceu por 3 anos a gestão do setor de informática da Secretaria de Planejamento, da Prefeitura de Manaus. Doutorando em Informática pela UFAM, coordenador do curso de pós graduação em Segurança da Informação na UniNorte Laureate e pesquisador na CAPES.

Wellington Gonçalves

Professor do Mestrado Profissional em Gestão Pública - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professor do Curso de Engenharia de Produção - Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Doutor em Engenharia de Produção (UNIMEP). Mestre em Engenharia (IME-RJ)

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-93729-88-1



9 788593 729881